

مدیریت تولید

باجدید نظر و اصلاحات جدید

تألیف

دکتر سید محمد علی کوثری
مدرس نصر اللہ میرٹھ شفیق

الوانی، مهدی، ۱۳۳۳ -
 مدیریت تولید / تألیف مهدی الوانی، نصرالله میرشفیعی. - مشهد: شرکت
 به نشر، ۱۳۷۸.
 بیست، ۵۹۶ ص. : مصور، جدول، نمودار. - (شرکت به نشر (انتشارات آستان
 قدس رضوی)؛ ۲۲).
 شابک: ۰ - ۹۸۹ - ۳۳۳ - ۹۶۴ ISBN 964 - 333 - 989 - 0
 فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیبا (فهرست‌نویسی پیش از انتشار).
 عنوان اصلی: Mahdi Alvani, Nasru-lah Mir Shaffi, Production Management
 این کتاب در سال ۱۳۶۸ توسط معاونت فرهنگی و در سال ۱۳۷۲ توسط
 مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی منتشر شده است.
 کتابنامه: ص. [۵۹۳] ۵۹۶
 چاپ هفدهم / ۱۳۸۲
 ۱. مدیریت تولید. الف. میرشفیعی، نصرالله، ۱۳۳۱ - مترجم. ب. شرکت
 به نشر (انتشارات آستان قدس رضوی). ج. عنوان.
 م ۴ ۱۷ الف / TS ۱۵۵
 ۱۳۷۷
 کتابخانه ملی ایران
 ۶۵۸/۵
 ۱۸۲۰۲ - ۷۷ م



مدیریت تولید

با تجدیدنظر و اصلاحات جدید

دکتر سید مهدی الوانی، مهندس نصرالله میرشفیعی

چاپ هفدهم / ۱۳۸۲

۳۳۰ نسخه / وزیری

چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی

شابک: ۰ - ۹۸۹ - ۳۳۳ - ۹۶۴

حقوق چاپ محفوظ است.

به نشر (انتشارات آستان قدس رضوی)

دفتر مرکزی: مشهد، ص. پ ۹۱۳۷۵/۴۹۶۹، تلفن ۸۵۱۱۱۳۶-۷، ۸۵۱۱۱۷۰، نمابر ۸۵۱۵۵۶۰
 دفتر تهران: ۸۹۶۲۳۰۱، ۸۹۶۰۶۲۰

فهرست مندرجات

پك	مقدمه
۱	فصل اول - تصمیم گیری:
۱	فرایند تصمیم گیری
۳	استفاده از مدل در تصمیم گیری
۴	انواع مدلها
۶	انتخاب مدل مناسب
۶	تصمیم گیری به کمک مدل
۹	ساخت مدل
۱۲	مدل ریاضی تصمیم
۱۵	تلفیق معیارها
۱۶	طبقه بندی تصمیمات
۱۷	مثال تصمیم گیری تحت شرایط اطمینان کامل
۱۸	مثال تصمیم گیری در حالت ریسک
۱۹	مثال تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان
۲۲	طبقه بندی تصمیم ها بر اساس مراحل
۲۲	درخت اخذ تصمیم
۲۳	مثال استفاده از شیوه درخت اخذ تصمیم در تصمیم گیری
۲۴	ترسیم شمای درخت اخذ تصمیم

۲۶	برآورد و محاسبه احتمالات	
۲۷	ارزیابی و انتخاب	
۳۱	تعیین ظرفیت با استفاده از شیوه درخت اخذ تصمیم	
۳۵	مدل نقطه سر به سر	
۳۸	تجزیه و تحلیل ریاضی نقطه سر به سر	
۴۰	رابطه ریاضی نقطه سر به سر با درآمد و هزینه	
۴۲	نقطه سر به سر برای چند محصول	
۴۴	کاربرد نقطه سر به سر برای انتخاب سیستمهای تولیدی	
۴۷	کاربرد نقطه سر به سر برای تصمیم گیری در مورد ساخت یا خرید قطعات	
۵۰	نقطه سر به سر با درآمدها و هزینههای متفاوت	
۵۶	تجزیه و تحلیل غیر خطی نقطه سر به سر	
۵۹	مسائل و تمرینات فصل اول	
۶۷	پیش بینی:	فصل دوم =
۶۹	انواع شیوههای پیش بینی	
۶۹	پیش بینی قضاوتی	
۷۰	پیش بینی بر مبنای گذشته	
۷۰	پیش بینی علت و معلولی	
۷۰	پیش بینی قضاوتی-روش انقی	
۷۱	پیش بینی قضاوتی-روش توافق جمعی	
۷۱	پیش بینی بر مبنای گذشته-روش میانگین متحرك	
۷۳	محاسبه خطای پیش بینی در روش میانگین متحرك	
۷۴	پیش بینی بر مبنای گذشته-روش میانگین متحرك وزنی	
۷۶	پیش بینی بر مبنای گذشته-روش نمو هموار	
۸۱	تجزیه و تحلیل حساسیت ضریب نمو هموار (α)	
۸۳	پیش بینی بر مبنای گذشته-روش باکس-جنکینز	
۸۴	پیش بینی بر مبنای گذشته-روشهای تعیین روند	
۸۴	پیش بینی بر مبنای گذشته-روش نمو هموار دوبل	
۸۹	پیش بینی بر مبنای گذشته-روش کمترین مجذورات	
۹۴	پیش بینی علت و معلول-روش رگرسیون	
۹۵۰	ضریب همبستگی	

۱۵۱	سایر مدل‌های پیش‌بینی علت و معلولی	
۱۵۱	مدل اقتصادسنجی	
۱۵۱	مدل داده-سناده	
۱۵۱	مدل شاخص راهنما	
۱۵۲	مدل طول عمر	
۱۵۲	پیش‌بینی به وسیله تجزیه و تحلیل سریهای زمانی	
۱۵۴	تغییرات فصلی-روشهای تعیین شاخص فصلی	
۱۵۴	روش میانگین درصد	
۱۵۷	روش میانگین متحرك مرکزی	
۱۵۹	روش رگرسیون	
۱۱۱	مدلهای پیش‌بینی درسریهای زمانی	
۱۱۳	مسائل و تمرینات فصل دوم	
۱۱۷	طراحی نحوه استقرار ماشین آلات و کارگاهها	فصل سوم -
۱۲۵	انواع روشهای نحوه استقرار	
۱۲۱	سیستم پیوسته	
۱۲۱	سیستم ناپیوسته	
۱۲۱	نحوه استقرار براساس فرآیند تولید	
۱۲۳	نحوه استقرار براساس نوع تولید یا خدمات	
۱۲۶	نحوه استقرار درحالت ثابت	
۱۲۷	مدلهای نحوه استقرار براساس فرایند تولید	
۱۳۷	نمودار ارتباط فعالیتها	
۱۴۱	مدلهای نحوه استقرار کامپیوتری	
۱۴۶	مسائل رفتاری مدلهای استقرار براساس فرایند تولید	
۱۴۷	مدلهای استقرار براساس نوع تولید	
۱۴۷	مدلهای ترسیمی	
۱۴۷	مدلهای کلی، اکتشافی	
۱۴۸	طراحی خط مونتاژ	
۱۵۲	متوازن ساختن خط تولید	
۱۵۳	شیوه متوازن ساختن خط مونتاژ	
۱۶۶	مسائل و تمرینات فصل سوم	

۱۷۵	فصل چهارم - جایابی سیستمهای عملیاتی (تعیین محل کارخانه)
۱۷۶	عوامل موثر در تعیین محل سیستم عملیاتی
۱۷۷	مراحل مطالعات جایابی سیستمهای عملیاتی
۱۷۷	مرحله اول - انتخاب منطقه
۱۷۸	مرحله دوم - انتخاب محدوده
۱۷۸	مرحله سوم - انتخاب محل
۱۷۹	مدلهای جایابی سیستمهای عملیاتی
۱۸۹	مسائل و تمرینات فصل چهارم
۱۹۱	فصل پنجم - مطالعه کار
۱۹۲	هدفهای روش سنجی
۱۹۲	هدفهای کار سنجی
۱۹۲	مراحل انجام روش سنجی
۱۹۲	تکنیکهای تجزیه و تحلیل روشهای انجام کار
۱۹۲	نمودار جریان کار
۱۹۲	انواع نمودارهای جریان کار
۱۹۸	روش تجزیه و تحلیل عملیات
۲۰۲	نمودار فعالیت
۲۰۲	نمودار چند فعالیتی
۲۰۷	روش تجزیه و تحلیل تربلیگت
۲۰۷	نمودار سیمو
۲۰۹	تکنیکهای تجزیه و تحلیل کار سنجی (زمان سنجی)
۲۱۳	روش زمان سنجی با استفاده از اطلاعات استاندارد
۲۱۴	روش زمان سنجی با استفاده از نمونه گیری
۲۲۰	مسائل و تمرینات فصل پنجم
۲۲۳	فصل ششم - کنترل موجودی
۲۲۳	تقاضای مستقل و تقاضای وابسته
۲۲۴	وظایف مدیریت مواد
۲۲۴	سیستم کنترل موجودی
۲۲۶	سیستم کنترل موجودی ABC
۲۲۷	سیستم کنترل موجودی EOQ (میزان اقتصادی سفارش)

۲۲۹	هزینه نگهداری کالا در انبار
۲۳۰	هزینه کل سیستم موجودی انبار
۲۳۲	اثر زمان دریافت کالا در مدل EOQ
۲۳۵	حساسیت مدل EOQ
۲۳۷	محاسبه میزان اقتصادی سفارش
۲۴۰	نقطه سفارش مجدد
۲۴۰	زمان انتظار
۲۴۰	تقاضا در طول زمان انتظار
۲۴۱	خالی شدن از موجودی
۲۴۳	ذخیره ایمنی
	تعیین سطح ذخیره ایمنی زمانی که هزینه‌های ناشی از کمبود مشخص است
۲۴۳	ذخیره ایمنی ۵۰ عددی
۲۴۵	ذخیره ایمنی ۱۰۰ عددی
۲۴۶	ذخیره ایمنی ۱۵۰ عددی
۲۴۸	محاسبه ذخیره ایمنی در مواردی که هزینه کمبود مشخص نباشد
۲۴۹	تعیین ذخیره ایمنی برای سطح قابل قبول موجودی
۲۵۱	سفارش مجدد با کمبود برنامه‌ریزی شده
۲۵۱	هزینه انبارداری در مدل سفارش تحویل نشده
۲۵۳	هزینه سفارش در مدل سفارش تحویل نشده
۲۵۳	هزینه سفارش تحویل نشده
۲۵۵	مسائل و تمرینات فصل ششم
۲۵۷	برنامه‌ریزی درمیستمهای تولید پیوسته - برنامه‌ریزی کلی
۲۵۸	چارچوب برنامه‌ریزی کلی
۲۵۹	اهداف برنامه‌ریزی کلی
۲۵۹	تشخیص و تعیین منابع
۲۵۹	انتخاب دوره زمانی برنامه
۲۶۲	پیش‌بینی تقاضای کلی
۲۶۲	روشهای مختلف برنامه‌ریزی کلی
۲۶۵	استراتژی ۱ - تغییر نیروی انسانی

فصل هفتم -

۲۶۶	استراتژی ۲- تغییر ساعت کاری
۲۶۶	استراتژی ۳- افزایش یا کاهش موجودی انبار
۲۶۷	روش ترسیمی در برنامه ریزی کلی
۲۷۰	اولین برنامه - براساس تولید ثابت
۲۷۳	دومین برنامه - برنامه ریزی براساس تولید متغیر
۲۷۷	سومین برنامه - برنامه ریزی ترکیبی
۲۷۷	ارزیابی و مقایسه برنامه ها
۲۷۷	حدود متغیرهای برنامه
۲۸۳	محاسبه مسیرپیش رو
۲۸۴	محاسبه مسیرپس رو
۲۸۴	طراحی برنامه مطلوب
۲۸۸	برنامه ریزی کلی در سازمانهای خدماتی
۲۹۲	سایر مدل های برنامه ریزی
۲۹۵	مدل های ریاضی برنامه ریزی کلی
۲۹۶	مدل حمل و نقل در برنامه ریزی کلی
۳۰۳	مدل برنامه ریزی خطی
۳۰۳	مدل تصمیم گیری خطی
۳۰۴	مدل ضریب همبستگی
۳۰۵	مدل برنامه ریزی پارامتری
۳۰۵	مدل تصمیم گیری از طریق جستجو
۳۰۵	تجزیه و تحلیل برنامه ریزی کلی
۳۰۷	مسائل و تمرینات فصل هفتم
۳۱۵	برنامه ریزی در سیستم های تولید غیر پیوسته
۳۱۶	انواع برنامه ریزی در سیستم های غیر پیوسته و روش های آن
۳۱۸	طراحی برنامه ریزی کلی
۳۱۸	برنامه ریزی بار ماشین آلات
۳۱۸	برنامه ریزی بار ماشین آلات با استفاده از نمودار گانت
۳۲۰	برنامه ریزی بار ماشین آلات با استفاده از روش تخصیص منابع
۳۲۳	محدودیت های روش تخصیص منابع
۳۲۳	تعیین ترتیب اولویت انجام سفارش ها

۳۲۲	انجام سفارش‌ها به ترتیب دریافت آنها	
۳۲۵	روش کوتاهترین زمان انجام سفارش	
۳۲۷	ترتیب انجام سفارش‌ها با توجه به هزینه راه‌اندازی ماشین‌آلات	
۳۲۹	ترتیب انجام سفارش‌ها در دوکارگاه	
۳۳۱	ترتیب انجام سفارش‌ها در دوکارگاه یا بیشتر	
۳۳۳	برنامه‌ریزی تفصیلی (زمان‌بندی تقویمی)	
۳۳۴	نمودار گانت	
۳۴۰	مسائل و تمرینات فصل هشتم	
۳۴۳	برنامه‌ریزی تفصیلی در سیستم‌های تولیدی	فصل نهم -
۳۴۹	محاسبه میزان اقتصادی تولید برای چندین کالا از یک خانواده	
۳۴۹	زمان‌بندی تولید کالاهای همخانواده	
۳۵۲	زمان‌بندی تولیدی کالاهای از خانواده‌های مختلف	
۳۵۸	اختلاف بین تقاضای واقعی و تقاضای پیش‌بینی‌شده	
۳۶۲	مسائل و تمرینات فصل نهم	
۳۶۷	برنامه‌ریزی مواد	فصل دهم -
۳۶۸	تقاضای مستقل و تقاضای وابسته	
۳۶۸	اهداف سیستم برنامه‌ریزی مواد	
۳۶۹	اجزاء تشکیل‌دهنده سیستم برنامه‌ریزی مواد	
۳۶۹	برنامه تفصیلی تولید	
۳۶۹	لیست مواد و قطعات	
۳۷۰	صورت موجودی انبار	
۳۷۱	محاسبه میزان تقاضای اجزاء متشکله محصول	
۳۸۰	انواع سیستم‌های برنامه‌ریزی مواد و موارد استفاده آنها	
۳۸۱	روشهای تعیین میزان سفارش یا ساخت	
۳۸۱	روش سفارش براساس نیاز هر دوره	
۳۸۳	روش سفارش دوره‌ای	
۳۸۵	برنامه‌ریزی ظرفیت	
۳۹۰	مسائل و تمرینات فصل دهم	
۳۹۵	برنامه‌ریزی پروژه	فصل یازدهم -
۳۹۶	مدلهای برنامه‌ریزی پروژه	

۳۹۷	نمودار گانت
۳۹۹	مدلهای شبکه‌ای
۴۰۱	مراحل برنامه‌ریزی شبکه
۴۰۲	طرح‌ریزی
۴۰۲	تعیین فعالیتها و ارتباط آنها با هم
۴۰۵	ترسیم شبکه
۴۰۹	برآورد طول زمان انجام فعالیتها
۴۱۰	تعیین زمان انجام پروژه
۴۱۱	محاسبه مسیر پیشرو
۴۱۳	محاسبه مسیر پسرو
۴۱۵	مسیر بحرانی
۴۱۵	فرجه آزاد
۴۱۶	فرجه کلی
۴۱۸	زمان‌بندی پروژه
۴۲۱	تعیین ریسک ناشی از تاخیر در پروژه
۴۲۷	سربه‌سری هزینه‌زمان
۴۳۴	مسائل و تمرینات فصل یازدهم
۴۴۰	فصل دوازدهم - کنترل کیفیت
۴۴۰	مشخصات کالا
۴۴۰	توانایی و امکانات جریان تولید
۴۴۱	برنامه‌ریزی
۴۴۱	طراحی
۴۴۲	قابلیت اطمینان
۴۴۴	تضمین کیفیت
۴۴۴	سازماندهی
۴۴۴	کنترل
۴۴۵	اندازه‌گیری
۴۴۵	مدلهای کنترل کیفیت
۴۴۶	بازرسی
۴۴۷	نمونه‌برداری

۲۲۸	روش نمونه‌گیری مورد قبول
۲۲۹	منحنی مشخصات عملیاتی
۲۵۱	آثار کلی مقادیر n و C در منحنی مشخصات عملیاتی
۲۵۳	تعیین نمونه
۲۶۲	نمونه‌گیری دومرحله‌ای
۲۶۵	تجزیه و تحلیل نمونه‌گیری دومرحله‌ای
۲۷۱	نمونه‌گیری چند مرحله‌ای
۲۷۳	نمونه اول
۲۷۳	نمونه دوم
۲۷۲	نمونه سوم
۲۷۶	نمونه‌گیری مستمر
۲۷۹	شرایط انتخاب نمونه با استفاده از روش حداقل هزینه
۲۸۱	روش متوسط کیفیت خروجی (AOQ) در سیستم نمونه‌گیری تک‌تکی
۲۸۲	متوسط کیفیت خروجی در سیستم نمونه‌گیری تک‌تکی
۲۸۵	انتخاب نمونه بر اساس حداقل تعداد اقلام مورد بازرسی
۲۸۸	متوسط کیفیت خروجی در سیستم‌های نمونه‌گیری دومرحله‌ای
۲۸۸	متوسط کل اقلام بازرسی شده در سیستم‌های نمونه‌گیری دومرحله‌ای
۲۸۹	متوسط کیفیت خروجی در سیستم‌های نمونه‌گیری دومرحله‌ای
۲۸۹	متوسط تعداد اقلام در نمونه‌گیری چند مرحله‌ای
۲۸۹	متوسط کیفیت خروجی در سیستم‌های نمونه‌گیری چند مرحله‌ای
۲۹۰	مقایسه روش‌های متوسط کیفیت خروجی
۲۹۰	نمودارهای کنترل
۲۹۱	نمودارهای کنترل متغیر
۲۹۲	رسم نمودار دامنه‌ها
۲۹۹	نمودار کنترل انحراف استاندارد
۵۰۱	نمودارهای کنترل برای مقادیر استاندارد شده
۵۰۳	نمودار کنترل وصفی
۵۰۳	نمودار کنترل نسبت اقلام معیوب به کل مجموعه
۵۰۷	نمودار تعداد نقص‌ها در هر واحد تولید
۵۰۸	مسائل و تمرینات فصل دوازدهم

مقدمه

در دنیای امروز مسأله تولیدات و خدمات مسأله عمده‌ای است که هیچ جامعه‌ای خود را برکنار از آن نمی‌بیند. جوامع مختلف هر کدام با مسأله‌ی ارائه خدمات و تولیدات برای بقای خود درگیرند و تلاش آنها بر آنست که با توجه به شرایط و امکانات موجود، خدمات و تولیدات را در حد مطلوب فراهم آورند. خدمات اداری و بانکی، خدمات رفاهی و درمانی، خدمات آموزشی و فرهنگی، تولید مواد غذایی، تولید محصولات کشاورزی، تولید مواد و ابزار صنعتی، ... جزئی از سیاهه‌ی انتهای خدمات و تولیدات در جوامع امروزی است. و بدین ترتیب بسادگی می‌توان دریافت که مدیریت برای ارائه این خدمات و تولیدات از ضروریات هر جامعه‌ای به‌شمار می‌آید.

«مدیریت عملیات» مدیریت ارائه خدمات و تولیدات است و هدف آن هماهنگی کردن کوششها و تلاشها و به‌کارگیری منابع و امکانات برای ارائه وصول خدمات و تولیدات به بهترین وجه ممکن می‌باشد. کوشش در اینست که از منابع موجود نهایت استفاده مطلوب به عمل آید و از اتلاف و اسراف منابع و امکانات پرهیز شود. «مدیریت عملیات» عنوانی کلی است که هم مدیر تولید در یک مؤسسه تولید و هم مدیر خدماتی در یک سازمان خدماتی را در بر می‌گیرد، چه هر دوی این مدیران «عملیاتی» را برای وصول به هدف سازمانهایشان که ارائه تولیدات و خدمات است، انجام می‌دهند و هر دو صرف نظر از نوع خدمت یا محصولشان «مدیر عملیاتی» می‌باشند.

در این کتاب کوشش شده است با توجه به نیازی که در جامعه نسبت به ارائه هر چه مطلوبتر خدمات و تولیدات وجود دارد، روشها، اصول و موازینی که در زمینه مدیریت

عملیات یا تولید مطرح است به‌زبانی بسیار ساده بیان شود و امید است از طریق آموزش مدیران و آگاه ساختن دانشجویان این رشته، در آینده شاهد سازمانهای تولیدی و خدماتی کارآمدی در جامعه خود باشیم.

سیر تحولات مدیریت

«مدیریت عملیات» یا «مدیریت تولید» هم نوعی مدیریت است و قبل از آنکه به توصیف و تشریح تفصیلی آن پردازش لازم است مختصری درباره سیر تحولات مدیریت از آغاز تا کنون بیان کنیم. برای کسانی که با مدیریت آشنا هستند این قسمت جنبه بازنگری و مرور خواهد داشت. اگرچه رشته‌ای به نام مدیریت در میان سایر رشته‌های علمی، رشته جدیدی به شمار می‌آید اما با نگاهی به تاریخ زندگی ملل و اقوام مختلف می‌توان دریافت که مدیریت پریژه جدیدی نیست و از دوران کهن وجود داشته است. ابنیه و آثار باستانی در هر گوشه این جهان پهناور نشانگر کوششها و تلاشهای هماهنگی است که بدون وجود مدیران و سرپرستان قابل و کار آزموده احداث آنها میسر نبوده است. قشونهای منظم، سازمان دولتهای بزرگ باستانی، لشگرکشیها و کشورگشاییها و کشورداریها همه و همه مظاهر و نمودهای مدیریت در سطح گسترده‌ای در گذشته می‌باشند^۱.

مدیریت علمی

زمینه پیدایش مدیریت به عنوان رشته‌ای در میان سایر رشته‌های علمی از اواخر قرن هیجدهم مهیا شد. با نظریه تقسیم کار آدام اسمیت^۲ که بر تخصصی شدن مشاغل تأکید داشت، کار نظریه پردازی در مدیریت آغاز شد و در اوایل قرن بیستم فردریک تیلور^۳ با استفاده از نظریه اسمیت و ادعای یافتن روشهای علمی برای انجام کار، مکتب مدیریت علمی را که اولین مکتب مدیریت می‌باشد پایه گذاری کرد، در مدیریت علمی تأکید بر آن بود که با استفاده از روشهای علمی در مدیریت می‌توان بازدهی اقتصادی منابع سازمان را به حداکثر ممکن افزایش داد. در این مکتب سازمان به صورت سیستم بسته‌ای در نظر گرفته شده بود و انسانها با انگیزه‌های مادی به کار تشویق می‌شدند. بازدهی اقتصادی، توجه به شرایط فیزیکی

۱. برای آگاهی از تحولات مدیریت، ر.ک. علیرضا بشارت، سیر اندیشه اداری تهران، انتشارات دانشکده علوم اداری و مدیریت بازرگانی ۱۳۵۲.

2. Adam Smith

3. Frederick Taylor

محیط کار، تجزیه و تحلیل وظایف، به کارگیری روشهای انجام کار و ایجاد استاندارد برای انجام وظایف از خصوصیات این مکتب مدیریت است. در مدیریت علمی کارآیی^۱ مسأله اساسی هر سازمانی است و آن را از تقسیم ستاده‌ها^۲ به داده‌ها^۳ می‌توان به دست آورد. در اغلب سازمانها ستاده‌ها به صورت خدمت یا کالای خاصی می‌باشند و داده‌ها غالباً عبارت از زمین، سرمایه، نیروی انسانی و مواد هستند.

$$\text{راندمان یا کارآیی} = \frac{\text{ستاده‌ها}}{\text{داده‌ها}} \times 100\% \quad (\%)$$

اگرچه مدیریت علمی را نمی‌توان مکتب از همه جهت کاملی قلمداد کرد ولی آثار آن در عملیات اغلب سازمانهای امروزی مشاهده می‌شود. تلاش برای افزایش کارآیی کارکنان نه تنها در زمینه عملیات تولیدی بلکه در بخش خدماتی نیز به چشم می‌خورد و استفاده از روشهای مدیریت علمی در موارد بسیاری هنوز مؤثرترین طریق به شمار می‌آید. در مدیریت علمی به مسأله برنامه‌ریزی توجه فراوان شده است و وظایف اساسی مدیر، برنامه‌ریزی، سازماندهی، کنترل و نظارت عنوان گردیده است.

روابط انسانی - مکتب رفتاری سازمان

مکتب رفتاری سازمان که بیشتر به روابط انسانی شهرت دارد با تحقیقاتی آغاز شد که پژوهشگران ضمن آن متوجه شدند کارکنان تحت آزمایش برخلاف نظرات ابراز شده در مکتب مدیریت علمی تنها به شرایط فیزیکی محیط کار حساس نبوده بلکه نسبت به شرایط روانی و روحی کار نیز واکنش نشان می‌دهند. کارگری کسه احساس نمی‌کند در محیط کار دارای ارزش و احترام است، نسبت به وی صمیمیت و محبت ابراز می‌شود و برای او ارزش قائل هستند، با علاقه بیشتری کار می‌کند و بازدهی بالاتری دارد. بدین ترتیب مکتب روابط انسانی نظریه انسان ماشینی سازمان را که در مدیریت علمی مطرح شده بود مورد تردید قرار داد و نیازهای غیرمادی انسان را مؤثر در کارآیی دانست. روان‌شناسان سازمانی در نضج گرفتن مکتب رفتاری سازمان نقش عمده‌ای داشتند و با بررسی جنبه‌های مختلف، رفتارهای انسان در سازمان و گروههای کوچک نظریات مفیدی را در این زمینه‌ها ارائه دادند.

1. Efficiency

2. Outputs

3. Inputs

گاهی این شبهه پیش می‌آید که در مدیریت عملیات، موازین مدیریت علمی اسامی کار است و اصول مکتب روابط انسانی در این رشته از مدیریت جایی ندارد، درحالی‌که مدیریت عملیات از مسائل انسانی جدا نیست و بدون توجه به چگونگی رفتارهای آدمی در سازمان، نمی‌تواند نتایج سازنده‌ای را عاید سازمان کند. در این کتاب اگر چه مدیریت عملیات با توجه به ابعاد فنی و تکنیکی مطرح شده است اما باید در نظر داشت که ابعاد روانی و انسانی در مدیریت نقش عمده‌ای داشته و همواره باید در مد نظر قرار داشته باشند.

مدیریت در قالب سیستم - مدل سازی

درسیر تحولات مدیریت، مکتب مدیریت در قالب سیستم، مکتبی است که می‌کوشد تا به کمک تئوری سیستمها با دیدی کلی‌نگر، سازمان را مورد بررسی قرار دهد. در این مکتب، سازمان، به صورت سیستمی باز که مجموعه‌ای از اجزاء مرتبط به هم می‌باشد در نظر گرفته شده است. مدیر در این مکتب مدیریت، باید در عملکردها و تصمیمات خود به تمامی اجزاء و عوامل مؤثر در سازمان عطف توجه نموده و از جزئی گزائی پرهیز کند. او باید آگاه باشد سازمان به عنوان یک سیستم باز تحت تأثیر عوامل بیرونی و درونی قرارداد و هر تغییری در یک جزء بر سایر اجزاء مرتبط بدان، اثر می‌گذارد. به عنوان مثال، تغییر در روش بازاریابی را نمی‌توان صرفاً یک تغییر داخلی در واحد بازاریابی تلقی کرد، بلکه این تغییر در سایر واحدها مثل امور مالی، تولید، کارگزینی و آموزش هم مؤثر است و تغییراتی را در آنها ایجاد خواهد کرد.

تحت عنوان این مکتب می‌توان از تئوریهای تصمیم‌گیری و مدل‌سازی کمی نیز، نام برد. در مدل‌سازی کمی متغیرهای موجود در سازمان به صورت کمی بیان می‌شوند و به صورت یک مدل، رابطه بین اجزاء و عوامل سازمان را نشان می‌دهند. کمی کردن عوامل و بیان آنها در قالب یک مدل، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در سازمان را ساده کرده قدرت پیش‌بینی فراوانی به مدیر می‌دهد. پس از آنکه مدلی ایجاد شد می‌توان نتایج احتمالی حاصل از تصمیمات را در آن به کمک آزمون نهاد و از میزان اثربخشی آن آگاه شد. به کمک مدلها می‌توان پیش‌بینی‌هایی انجام داد و عواملی را که برای تحقق هدف سازمان ضروری است مورد کنترل قرارداد، مدل‌سازی روابط بین اجزاء و عوامل مؤثر در سازمان را روشن می‌سازد، الگویی از دنیای واقعی را در اختیار مدیر قرار می‌دهد، ریسک حاصل از تصمیم‌گیری را به حداقل کاهش می‌دهد، و بالاخره مدیر را به تجزیه و تحلیل واقعی از وضعیت و شرایط سازمان، قادر می‌کند.

البته ضمن آنکه مدل‌سازی کمی در موارد بسیاری می‌تواند ابزار کارآمدی در دست مدیر باشد اما نباید از یاد برد که مسائل انسانی و رفتاری در سازمان، روحیات، عواطف و احساسات انسانها، قابل تبیین در قالب مدل‌های کمی نیست و مدیر باید در کاربرد مدل‌ها این نکته مهم را در نظر داشته باشد.

سیستم مدیریت عملیاتی

به منظور شناخت بهتر عملیات در سازمان و آگاهی از چگونگی ارتباط عوامل و اجزائی که در شکل‌دادن به عملیات مؤثرند، نگرش سیستمی، شیوه مؤثر و کارآمدی است. به مدد نگرش سیستمی مدیر عملیاتی قادر می‌شود تا اجزاء مؤثر در عملیات را بشناسد و با دیدی کلی و مجموعه‌نگر مسائل تولید و ارائه خدمات را حل کند.

برای روشن‌شدن موضوع لازم است ابتدا تعریف ساده‌ای از سیستم به دست دهیم. سیستم را به گونه‌های مختلف توصیف کرده‌اند اما در تعریف ساده‌ای از سیستم آن را مجموعه اجزاء و عوامل مرتبط به هم که دارای هدفی کلی می‌باشد دانسته‌اند. سیستم دارای مرزبندی مشخصی است که آن را از سایر سیستم‌ها قابل تمیز می‌سازد و در همان حال هر سیستمی جزئی از یک سیستم بزرگتر به شمار می‌آید و با آن در ارتباط است. مجموعه اجزاء هر سیستم با هم در ارتباط و تعامل بوده و ترکیب اجزاء در قالب سیستم متفاوت با مجموع ساده اجزاء آن می‌باشد، سیستم برای بقای خود با محیطش در ارتباط است و ضمن تأثیرپذیری از آن بر آن تأثیر می‌گذارد^۱.

مثال سیستم را می‌توان در یک سازمان مشاهده کرد. این سازمان که ممکن است تولیدکننده کالا یا ارائه‌دهنده خدمات باشد واردها یا داده‌هایی را به صورت کار، سرمایه، زمین و مدیریت دریافت می‌کند و پس از آنکه «عملیاتی» را در مورد آنها انجام داد، ستاده‌ها و صادره‌هایی را به صورت کالا یا خدمات ارائه می‌دهد.

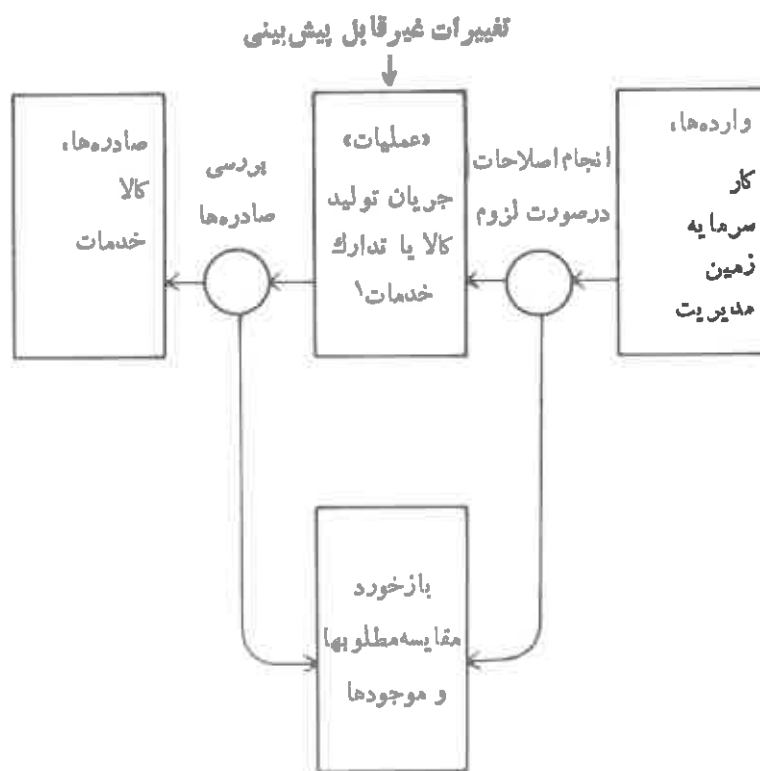
در جریان تولید یا تدارک خدمات لازم است که نتایج حاصله با آنچه در ابتدا مورد نظر بوده است مقایسه شود و در صورتی که اصلاحاتی ضرورت داشته باشد انجام پذیرد. این جریان که بازخورد^۲ یا برگشت اطلاعات نامیده می‌شود از اساسی‌ترین تدابیر برای

۱. برای آگاهی بیشتر در زمینه سیستم‌ها، ر. ک دکتر مهدی فرشاد، نگرش سیستمی تهران: موسسه انتشارات امیرکبیر، ۱۳۶۲.

2. Feedback

ارتباط سیستم با محیطش می باشد و بقای سیستم تا حدود زیادی در گروی کارآمد بودن این مکانیسم اطلاعاتی است.

تغییرات و رویدادهای غیرقابل پیش بینی نیز بر «عملیات» و جریان تولید و تدارک خدمات تأثیر می گذارند و مدیر عملیاتی باید برای واکنش در مقابل چنین وقایعی نیز آمادگی داشته باشد مثلاً کمبود ناگهانی مواد اولیه، خرابی غیر مترقبه دستگاهها، و کمبود نیروی انسانی پیش بینی نشده از عواملی است که بر سازمان و سیستم عملیاتی اثر می گذارد و در صورتی که واکنش درستی در مقابل آنها نشان داده نشود مشکلات اساسی ایجاد می کند. شکل شماره ۱ جریان تغییر داده ها را به صورت کالا یا خدمات در قالب سیستم نشان می دهد.



شکل ۱
سیستم عملیات

۱. Conversion Process جریان تغییر و تبدیل وارددها به صورت صادره ها که همان عملیات تولید یا ارائه خدمات می باشد.

شماره

به طور کلی «عملیات» در سازمان به فعالیتهایی اطلاق می‌شود که برای تولید کالا یا تدارک خدمات انجام می‌پذیرد و از این رو تمامی سازمانها را اعم از خدماتی یا تولیدی می‌توان بر اساس الگوی سیستمی مورد بررسی و مطالعه قرارداد و عملیات آنها را در قالب سیستم تجزیه و تحلیل کرد. مدیر عملیاتی در هر سازمانی چه خدماتی، چه تولیدی می‌تواند عملیات را به صورت سیستمی در نظر گیرد و با بینشی وسیعتر مسائل تولید و خدمات را حل و فصل کند.

مدیر عملیاتی باید سیستم عملیات را شناخته و به طریقی آن را به کار گیرد که حداکثر نتیجه از منابع و امکانات سازمان حاصل شود. مدیریت عملیاتی مسؤولیت عملیات تغییر و تبدیل داده‌ها یا به عبارت ساده‌تر تولید کالا و تدارک خدمات را عهده‌دار است. او باید بکوشد تا واردها را به نحو مؤثری به کار گرفته صادره‌های مطلوب سازمان را به دست دهد. مدیر عملیاتی با برنامه‌ریزی، هدفهای آینده را مشخص می‌کند و پیش‌بینیهای لازم را برای نیل به آن هدفها به عمل می‌آورد. مدیر عملیاتی در این بخش از وظایف خود با برنامه‌ریزی تولید یا خدمات، طراحی تجهیزات و ماشین‌آلات و برنامه‌ریزی اجرایی عملیات سروکار دارد.

وظیفه دیگر مدیر عملیاتی سازماندهی است که در کار ضمن آن، مدیر، مسؤولیتهایی در زمینه طراحی شغل، تعیین استانداردهای عملیاتی، و سنجش کار را عهده‌دار است. کنترل و نظارت به منظور اطمینان یافتن از تحقق هدفها وظیفه مهم دیگر مدیر عملیاتی است. او باید بازدهی سیستم عملیات را مورد سنجش و ارزیابی قرار دهد و میزان تطابق آن را با آنچه پیش‌بینی شده در یابد. اگر بازدهی در همان سطح کمیت و کیفیتی است که برنامه‌ریزی شده، عملیات پیش‌رفته و نیازی به اصلاح و تغییر نیست. اما اگر اطلاعات حاصل، نشان‌دهنده تفاوت‌هایی بین بازدهی برنامه‌ریزی شده و بازدهی واقعی بود می‌باید اصلاحاتی در سیستم عملیات صورت گیرد.

همچنین مدیر عملیاتی باید نقش استراتژیکی عملیات را همواره در مد نظر داشته باشد. در سازمان سیستم عملیات باید دارای نقشی استراتژیک باشد بدین معنی که فعالیتها و امور عملیاتی نهایتاً تحقق هدفهای اصلی سازمان را میسر سازد. بسیاری از اوقات مدیر عملیاتی آنچنان مستغرق در عملیات فنی و تکنیکی تولید و ارائه خدمات می‌شود که از هدفهای کلی سازمان غافل می‌ماند. در چنین وضعیتی هدف سیستم عملیات از هدفهای کلی سازمان جدا مانده و کمکی به حصول آنها نمی‌کند. در حالی که مدیر عملیاتی باید هدفهای واحد خود را در قالب هدفهای کلی سازمان مورد توجه قرار دهد و آگاه باشد که سیستم عملیات باید نقشی استراتژیک در تحقق هدفهای اصلی سازمان ایفا کند. جریان عملیات تولید یا ارائه خدمات همه به خاطر

آنست که رسیدن به هدف کلی سازمان عملی شود و هر گاه هدفهای جزئی عملیاتی هدف کلی را تحت الشعاع قرار دهند عوارضی در سازمان بروز می کند که بقای آن را به مخاطره می افکند. به عبارت دیگر هدف سیستم عملیات و مدیر عملیاتی فراهم آوردن شرایطی است که هدف اصلی سازمان تحت آن شرایط قابل وصول باشد. نگرش سیستمی و توجه به تمامی عوامل مؤثر در سیستم عملیات کسه خود جزئی از سیستم کلی سازمان می باشد مدیر عملیاتی را در ایفای نقش خود یاری می دهد.

به عنوان مثال اگر مدیر عملیاتی می خواهد در مورد میزان موجودی انبار، نوع تولید، نحوه ارائه خدمات و سایر موارد مشابه که جنبه عملیاتی دارند تصمیم گیری کند باید این هدفهای جزئی را در رابطه با هدفهای کلی مؤسسه در نظر گیرد و ضمن توجه به شرایط سیستم عملیات، موقعیت و انتظارات سازمان را نیز مدنظر داشته باشد. مدیر عملیاتی باید هدفهای سیستم عملیات را در محدوده کثرتی که هدفهای سازمان معین می کنند در نظر گیرد و کارآیی و اثربخشی^۱ را به همراه هم منظور نظر خود قرار دهد.

با توجه به نکاتی که بدانها اشاره شد مدیر عملیاتی برای نیل به اهداف سازمان باید از تکنیکها و شیوههای برنامه ریزی، سازماندهی و کنترل در زمینه های عملیاتی بخوبی آگاه بوده و قدرت استفاده از آنها را دارا باشد. به منظور تحقق این هدف در کتاب حاضر طی دوازده فصل اهم موضوعاتی که راهگشا و راهنمای مدیران عملیاتی در انجام وظایفشان می باشد مطرح گردیده است که ضمن ارزش کاربردی آنها برای مدیران، دارای ارزش آموزشی برای دانشجویان و علاقمندان رشته مدیریت عملیات نیز می باشد.

از آنجائی که فرایند تصمیم گیری در تمامی فعالیتهای مدیریت حضور دارد در فصل اول فرایند تصمیم گیری مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مدل های مختلف تصمیم گیری مطرح شده است.

فصل دوم به تجزیه و تحلیل مدل های مختلف پیش بینی که در حیطه برنامه ریزی عملیاتی قرار دارد اختصاص یافته است. در این فصل روش های مختلف پیش بینی مانند روش دلفی، روش میانگین متحرک، روش نمو هموار و سربهای زمانی بررسی گردیده است.

در فصل سوم طراحی نحوه استقرار ماشین آلات و کارگاهها به تفصیل ارائه گردیده و ضمن آن انواع روشهای استقرار، مدل های استقرار، طراحی خط مونتاژ و متوازن ساختن خط مونتاژ به بحث کشیده شده است.

فصل چهارم موضوع جایابی سیستمهای عملیاتی یا به عبارت دیگر تعیین محل

1. Effectiveness

کارخانه را دنبال کرده و موضوعاتی از قبیل عوامل مؤثر در تعیین محل، مراحل مطالعات جایابی و مدل‌های جایابی سیستم‌های عملیاتی را مورد بحث و بررسی قرار داده است.

فصل پنجم به موضوع مطالعات کار اختصاص یافته و موضوعاتی چون روش‌سنجی و کارسنجی و نمودارهای جریان کار و تکنیک‌های مربوطه بررسی گردیده است.

در فصل ششم کنترل موجودی با عناوین فرعی از قبیل تقاضای مستقل و تقاضای وابسته، وظایف مدیریت مواد، سیستم کنترل موجودی، ذخیره ایمنی، سفارش مجدد، کمبود برنامه‌ریزی شده، هزینه انبارداری در مدل سفارش تحویل نشده، هزینه سفارش در مدل سفارش تحویل نشده و هزینه سفارش تحویل نشده، مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل هفتم برنامه‌ریزی کلی در سیستم‌های پیوسته را مطرح ساخته و موضوعاتی چون اهداف برنامه‌ریزی کلی، روش‌های مختلف برنامه‌ریزی کلی، روش ترسیمی در برنامه‌ریزی کلی، طراحی برنامه مطلوب و مدل‌های مختلف را دنبال کرده است.

فصل هشتم به برنامه‌ریزی در سیستم‌های تولید غیر پیوسته پرداخته است. در این فصل مطالبی در زمینه انواع برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات، برنامه‌ریزی تفصیلی، و ترتیب انجام سفارشات ارائه گردیده است.

فصل نهم برنامه‌ریزی تفصیلی در سیستم‌های تولیدی را مطرح ساخته و ضمن آن موضوعاتی چون محاسبه میزان اقتصادی تولید برای چندین کالا، زمان‌بندی تولید کالاهای همخانواده و غیرهمخانواده و اختلاف بین تقاضای واقعی و تقاضای پیش‌بینی شده به بررسی گذاشته شده است.

فصل دهم برنامه‌ریزی مواد را مورد بررسی قرار داده و اهداف سیستم برنامه‌ریزی مواد، محاسبه میزان تقاضای اجزاء متشکله محصول و انواع سیستم‌های برنامه‌ریزی مواد و موارد استفاده آنها را بیان داشته است.

در فصل یازدهم برنامه‌ریزی پروژه و مدل‌های مربوطه بررسی گردیده و مراحل برنامه‌ریزی شبکه، تعیین زمان انجام پروژه، تعیین ریسک ناشی از تأخیر در پروژه و سر به سری هزینه-زمان مطرح گردیده‌اند.

در فصل آخر کنترل کیفیت به طور مفصل تشریح گردیده و مطالبی در زمینه‌های مشخصات کالا، قابلیت اطمینان، تضمین کیفیت، مدل‌های کنترل کیفیت، روش‌های نمونه‌گیری، شرایط انتخاب نمونه و نمودارهای کنترل ارائه شده است.

در ضمیمه انتهایی کتاب بترتیب موضوعاتی در زمینه برنامه‌ریزی خطی، تعیین ظرفیت سیستم‌های خدماتی و جداول مورد نیاز مطرح گردیده است.

لازم به یادآوری است که مؤلفان این اثر طی سه سال که سرگرم گردآوری، تدوین

و تنظیم مطالب کتاب حاضر بودند نهایت تلاش خود را به عمل آوردند تا مجموعه‌ای کامل و بدون نقص به مدیران، دانشجویان و علاقه‌مندان این رشته تقدیم کنند اما باید اذعان کرد که با وجود همه تلاش‌ها هنوز این کتاب عاری از کاستی نیست و نیاز به تکمیل و اصلاح فراوان دارد. از این رو مؤلفان از کلیه مخاطبان کتاب استدعا دارند از اظهار نظر و نقد دریغ نورزند و پیشنهادات خود را به هر گونه که مصلحت می‌دانند به ما ارزانی دارند. درخاتمه بر خود فرض می‌دانیم که از کلیه کسانی که ما را در انجام این مهم یساری داده‌اند سپاسگزاری نمائیم. به‌خصوص از جناب آقای علی محمد برادران رفیعی معاونت محترم فرهنگی آستان قدس رضوی و سایر مسؤولان و مدیران محترم آن سازمان و جناب آقای دکتر محمد مستاجر حقیقی که امکان نشر این اثر را فراهم ساختند نهایت تشکر را به عمل می‌آوریم. همچنین از آقای هوشیار حسینی ویراستار گرامی که در تنقیح این اثر کوشیدند و آقایان بیوک رضائی و مجید گوهری که در امر حروفچینی و طراحی اشکال کتاب بیش از حد تلاش کردند سپاسگزاری می‌کنیم. خداوند به همه ما توفیق دهد.

دکتر سید مهدی انوانی - مهندس نصرالله میرشفیعی

اعضاء هیأت علمی دانشکاه علامه طباطبائی

مهرماه ۱۳۶۸



تصمیم‌گیری

اگر فعالیت‌های مختلف مدیریت را در نظر آورید بوضوح مشاهده می‌شود که جوهر تمامی فعالیت‌های مدیریت «تصمیم‌گیری» است. تصمیم‌گیری از اجزاء لایتنج‌زای مدیریت به‌شمار می‌آید و در هر وظیفه مدیریت به نحوی جلوه‌گر است. در تعیین خط‌مشی‌های سازمان و برنامه‌ریزی، در تدوین هدفها، طراحی سازمان، کنترل، ارزیابی، و در تمامی افعال و اعمال مدیریت تصمیم‌گیری جزء اصلی و رکن اساسی است. مدیریت عملیاتی همواره مواجهه با مواردی است که اخذ تصمیم از جانب او را طلب می‌کند و کیفیت و چگونگی این تصمیمها است که میزان توفیق و تحقق هدفهای سازمان را معین می‌سازد.

از این رو آشنایی با شیوه‌ها و روشهای تصمیم‌گیری و آگاهی از تکنیکهای اخذ تصمیم برای مدیران واجد اهمیت بسیار بوده، با بهره‌گیری از این شیوه‌ها و ابزارهاست که توانایی مدیران در اخذ تصمیمات کارسازتر و مؤثرتر افزایش می‌یابد.

فرآیند تصمیم‌گیری

در تعریفی بسیار ساده تصمیم‌گیری عبارتست از انتخاب یک راه، میان راههای مختلف. همان‌طور که از این تعریف مستفاد می‌شود کار اصلی تصمیم‌گیرنده دریافت راههای ممکن

و نتایج ناشی از آنها و انتخاب اصلح از میان آنهاست و اگر روی بتواند این انتخاب را به نحو درست و مطلوبی انجام دهد تصمیمهای او مؤثر و سازنده خواهند بود. تصمیم گیرنده ممکن است با توسل به قدرتهای ماوراء الطبیعه؛ تجربه؛ اشراق، یا اتفاق و تصادف تصمیم گیری را انجام دهد اما هدف اصلی در اینجا اشاره‌ای اجمالی به شیوه‌ها و تکنیکهایی از تصمیم گیری است که کار اخذ تصمیم عملی را برای مدیر میسر می‌کند و او را در اخذ تصمیماتی سریع و صحیح یاری می‌دهد.

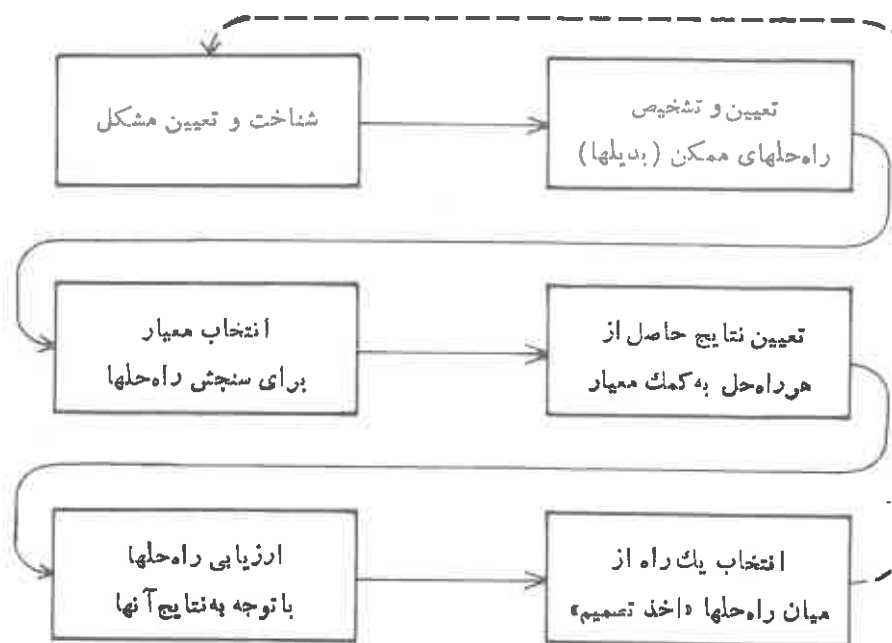
به طور کلی فرایند تصمیم گیری را می‌توان شامل مراحل ششگانه زیر دانست. مرحله اول شامل تشخیص و تعیین مشکل و مسأله‌ای است که در راه تحقق هدف مانع ایجاد کرده است. در این مرحله باید کوشش شود مشکل اصلی و واقعی شناسایی و بدرستی تعریف شود. مرحله بعدی یافتن راه‌های ممکن برای رفع مشکل مذکور است. احصاء راه‌ها با توجه به تجربه‌های علمی و عملی مدیر و اطلاعات و آمار در دسترس او انجام می‌گیرد. هرچه راه‌های بیشتری برای حل مشکل پیدا و معین شوند انتخاب بهتری در تصمیم گیری صورت خواهد گرفت.

مرحله سوم انتخاب معیار برای سنجش و ارزیابی راه‌های ممکن است. برای آنکه راه‌ها نسبت به هم مورد سنجش واقع شوند لازمست آنها را به وسیله معیاری مورد بررسی قرار دهیم. به عنوان مثال می‌توان هزینه یا سود را معیار ارزیابی شقوق ممکن قرارداد و سپس سنجید که کدام یک از راه‌ها هزینه کمتر یا سود بیشتری عاید سازمان می‌کند. مرحله چهارم تعیین نتایج حاصل از هر یک از راه‌های ممکن است. در این مرحله به عنوان مثال هزینه‌هایی که به کارگیری هر یک از راه‌ها به بار می‌آورد محاسبه می‌شود و اساس ارزیابی بعدی قرار می‌گیرد. بر اساس معیارهای انتخاب شده نتایج مثبت و منفی هر یک از راه‌ها در این مرحله مشخص می‌شوند.

مرحله پنجم ارزیابی راه‌ها از طریق بررسی نتایج حاصل از آنهاست. هر راه حل یا توجه به نتایجی که از آن نصیب سازمان خواهد شد با سایر راه‌ها مقایسه و اولویت راه‌ها معین می‌شوند. گاهی اوقات ارزیابی راه‌ها و تعیین اولویت آنها مشکل می‌شود زیرا بر اساس یک معیار راه‌ها در اولویت قرار می‌گیرد در حالیکه از جهت معیار دیگری چنین اولیوی را نخواهد داشت. در چنین حالاتی مدیر باید بکوشد معیاری تلفیقی به وجود آورد و ارزیابی را بر اساس آن انجام دهد. در قسمتهای بعدی راجع به این مسأله مطالبی عنوان خواهد شد.

مرحله نهایی در فرایند تصمیم گیری انتخاب یک راه از میان راههای مختلف و ارائه بیانیه تصمیم است. این مرحله در انتهای مرحله ارزیابی و تعیین اولویتها خود بخود تحقق

می‌یابد و راه‌حلی که بهترین نتیجه را خواهد داد و بالاترین درجه اولویت را در سافت داشته راه‌حل انتخابی است. اما منظور ما در اینجا بیان راه‌حل مذکور به صورت تصمیم متخذه از جانب مدیر است که می‌تواند به صورت گامی مستقل در فرایند تصمیم‌گیری به شمار آید. نمودار شماره ۱-۱ مراحل مختلف فرایند تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.



نمودار شماره ۱-۱

مراحل اساسی فرایند تصمیم‌گیری

استفاده از مدل در تصمیم‌گیری

مدل عبارتست از الگویی که از واقعیت گرفته شده و روابط بین متغیرها را نشان می‌دهد و می‌توان از آن برای پیش‌بینی و تصمیم‌گیری استفاده کرد. تصمیم‌گیرنده می‌تواند مدلی از سیستم مورد نظر خود ایجاد کند و سپس به کمک آن نتایج مختلفی را که از تصمیمات گوناگون حاصل می‌شود مورد مذاقه قرار دهد. با به کارگیری مدل بدون آنکه مخاطره تصمیم‌گیری در دنیای واقعی را داشته باشیم می‌توانیم مطلوب‌ترین تصمیم را اتخاذ کنیم. در اغلب اوقات غیرممکن یا مشکل است که شقوق مختلف تصمیم را عملاً مورد آزمایش

قرارداد و از میان آنها بهترین را انتخاب کرد، درحالی‌که با استفاده از مدل این امر بسادگی امکان‌پذیر می‌باشد. بدوسیله یک مدل آثار تغییرات مختلف را می‌توان به سرعت و با دقت منجید و تصمیم‌گیرنده بدون مخاطره و ریسک از نتایج آنها مطلع می‌شود.

مشکل اصلی در مدل‌سازی این است که گاهی مدل‌گویای واقعیات نیست و سیستم اصلی را بدرستی نشان نمی‌دهد. درچنین حالتی نتیجه‌گیری و اتکاء به مدل نادرست و گمراه‌کننده خواهد بود. هنگام طراحی مدل باید به این پرسش پاسخ داد که آیا مدل تمامی اجزای سیستم واقعی را داراست، و آیا اجزای مذکور نشان‌دهنده واقعیات موجود می‌باشند. شناخت سازنده مدل از سیستم و نظرجویی از افراد مطلع و آگاه می‌تواند طراح را در ساخت مدلی صحیح و مقرون به واقعیت یاری دهد. همچنین طراح مدل می‌تواند نتایج حاصل از آن را با عملکردهای واقعی تطبیق‌کند و در مرحله آزمایش از صحت و درستی و قدرت پیش‌بینی آن مطمئن شود. البته باید در نظر داشت که تمامی مقوله‌های مورد تصمیم‌گیری را نمی‌توان در قالب مدل نشان داد و تنها در مواردی که شناخت اجزای یک سیستم و روابط آنها قابل بیان باشد می‌توان به طراحی مدل پرداخت.

مدلها برداشت و شمایی از واقعیت هستند ولی عین واقعیت نمی‌باشند و از این رو نشان‌دهنده دقیق سیستم‌های واقعی نیستند. البته این خصوصیتی منفی برای مدل به‌شمار نمی‌آید زیرا یکی از هدفهای مدل ساده کردن و نشان دادن اجزاء اصلی و مورد نظر سیستم می‌باشد و گاهی اوقات در مدل‌سازی عوامل اضافی و مخل عمداً کنار نهاده می‌شوند تا مدلی به‌دست آید که ضمن نشان دادن اجزای اصلی و ارتباط بین آنها به اندازه کافی ساده باشد و سهولت مورد استفاده قرار گیرد. مدل مطلوب مدلی است که اجزای اصلی مورد نظر در تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری را دارا باشد و اگرچه درست همانند واقعیت نیست ولی با نشان دادن روابط بین اجزاء وسیله‌ای ساده و مناسب در اختیار تحلیلگر و تصمیم‌گیرنده قرار دهد.

انواع مدلها

مدلهای مختلفی برای پیش‌بینی، اخذ تصمیم و تجزیه و تحلیل فعالیتهای مدیریت به‌کار می‌روند که هر یک دارای درجه‌دقت خاصی هستند و در زمینه ویژه‌ای کار آیی دارند.

۱- مدل‌های کلامی^۱ - مدل‌های کلامی که به صورت نوشتار و در قالب عبارات و جملات بیان می‌شوند، مدل‌های تشریحی به‌شمار می‌آیند. در این نوع مدلها روابط بین متغیرها به کمک جملات و عبارات تشریح می‌شود. اگر فردی از شما آدرس محلی را پرسد

1. Verbal models

۵ □ تصمیم‌گیری

و شما برای او توضیح دهید که باید از چه مسیرها و خیابان‌هایی بگذرد تا به محل مقصود برسد از مدل کلامی استفاده کرده‌اید. همین‌طور اگر آنچه را شفاهاً گفته‌اید به صورت نوشته در آورید مدل کلامی به صورت نوشتار را به کار برده‌اید.

۲- مدل‌های ترسیمی^۱ - مدل‌های ترسیمی روابط بین متغیرها را در قالب نمودار یا اشکال مختلف نشان می‌دهند.

در مثال قبل اگر نقشه شهر را به فردی که آدرس محلی را از شما پرسید، بدهید و در آن مسیر او را مشخص کنید؛ مدل ترسیمی را به کار برده‌اید. مدل‌های ترسیمی مثل نمودارها، نقشه‌ها، دیاگرام‌ها و جدول‌ها برای نشان دادن روابط بین متغیرها وسیله بسیار ساده و سودمندی می‌باشند که در آنها روابط به صورت واضح و روشنی بیان می‌شود. نمودار تجزیه و تحلیل نقطه سر به سر که در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تولید بسیار کاربرد دارد از زمره مدل‌های ترسیمی است که در قسمتهای بعد با آن آشنا خواهیم شد.

۳- مدل‌های تجسمی (سه بعدی)^۲ - مدل‌های تجسمی یا سه بعدی وضعیت فیزیکی موضوع مورد بررسی را در مقیاس معینی مجسم می‌سازند. ماکت يك ساختمان یا یکی از ماشین‌آلات، نسوعی مدل تجسمی می‌باشند. در بررسی‌های مربوط به نحوه استقرار ماشین‌آلات، گاهی از مدل‌های تجسمی استفاده می‌کنند بدین ترتیب که ماکتی از ماشین‌آلات تهیه کرده، آنها را در صفحه‌ای که نشان دهنده سالن کار مورد نظر است جایجا می‌کنند تا بهترین آرایش سالن کار را به دست آورند.

۴- مدل‌های ریاضی^۳ - مدل‌های ریاضی روابط ریاضی بین متغیرها را نشان می‌دهند. نمونه ساده مدل ریاضی معادلاتی هستند که روابط تابعی بین متغیرها را بیان می‌کنند. فرمول تعیین تعداد کالا در نقطه سر به سر نوعی مدل ریاضی به شمار می‌آید.

در تصمیم‌گیری کوشش می‌شود تا با استفاده از مدل‌های مختلف و دقیق به راه حل بهینه^۴ برای مسائل دست یافت.

اما گاهی اوقات برای موقعیتهایی که مدل دقیق علمی برای آنها وجود ندارند تصمیم‌گیری می‌تواند از روش اکتشافی، ابتکاری^۵ یا جستجویی بهره‌گیرد.

در این روش فرد به کمک تجربیات و تواناییهای ذهنی خود می‌کوشد تا راه‌حلی که در آن وضعیت، پاسخگوی مشکل می‌باشد به دست آورد، اگرچه اکتشافی ابتکاری بدقت مدل‌های پیش گفته نیست ولی به کمک آن می‌توان به سرعت راه‌حلی را که

1. schematic models

2. Iconic models

3. Mathematical models

4. Optimum

5. Heuristic approach

در وضعیت موجود رضایتبخش^۱ می باشد پیدا کرد. در این روش هدف آن نیست که به راه حل بهینه دست یابیم بلکه می خواهیم به مسدود نجر به ها و اطلاعات خود، با کمک تواناییهای ذهنی و به دلخواه خویش از طریق نوعی آزمایش و خطا راه حلی خاص مسأله مورد نظر پیدا کنیم.

انتخاب مدل مناسب

مدل مناسب برای تصمیم گیرنده چیست؟ پاسخ به این سؤال بستگی به نوع مشکل و هدف تصمیم گیرنده و موقعیت و شرایط وی دارد. انتخاب يك مدل و میزان تفصیلی یا ساده بودن آن در رابطه با نیاز تصمیم گیرنده به عواملی که در تصمیم گیری مورد نظر است انجام می پذیرد. گاهی در تصمیم گیری عوامل متعددی مؤثر است و توجه به تمامی آنها در اخذ تصمیم مورد نظر ما می باشد در چنین حالتی مدل باید حتی المقدور در بر گیرنده عوامل مذکور باشد. اما در مواردی نیاز به در نظر گرفتن عوامل بسیاری در تصمیم گیری نیست و در این صورت می توان از مدل ساده ای که به طور خلاصه رابطه بین عوامل محدودی را نشان می دهد، استفاده کرد. از جهت به کار گیری انواع مدلها باید مدلی را انتخاب کرد که ۱۰ را سریعتر، ساده تر، و با دقت بیشتر به هدف برسانند. به عنوان مثال در مورد استقرار ماشین آلات در یک کارگاه می توان از مدل ترسیمی استفاده کرد یا مدل تجسمی را به کار برد. در صورتی که مدل ترسیمی در این مورد خاص دقت کافی را دارا باشد می توان از این مدل بهره گرفت اما اگر در تصمیم گیری مسأله ابعاد ماشین آلات نقش مهمی داشته باشند از مدل تجسمی که دقت لازم را دارد استفاده می کنیم. گاهی اوقات برای اخذ تصمیم باید از دو مدل همراه هم استفاده کرد. به عنوان نمونه در مثال گذشته می توان ابتدا از يك مدل ریاضی برای اندازه گیری میزان جریان کار، بین ماشینهای مختلف استفاده کرد و در مورد جا به جایی ماشین آلات برای از میان بردن کار اضافی تصمیم گرفت. سپس مدل ترسیمی یا تجسمی را برای تعیین دقیق محل استقرار ماشینها به کار گرفت.

تصمیم گیری به کمک مدل

تصمیم گیری با استفاده از مدل را می توان در دو مرحله بیان کرد. مرحله تشخیص مشکل^۲ و مرحله حل مشکل^۳

1. satisfactory
3. problem solution

2. problem finding

حال به شرح فعالیت‌های هر يك از این مراحل می‌پردازیم:

فعالیت‌های تشخیصی— در مرحله تشخیص طراح مدل باید کلیه شقوق ممکن برای حل مشکل را معین کند. همچنین او می‌باید عواملی را که تحت کنترل وی نمی‌باشند و در تصمیم مؤثر نیستند مشخص کند. عواملی را که تحت کنترل مدیر نیستند شرایط محیطی^۱ می‌نامند. در حقیقت نتیجه هر تصمیم تابعی از شقوق ممکن و شرایط محیطی می‌باشد یعنی ترکیب خاصی از يك شق ممکن و شرایط محیطی خاص آن، نتیجه آن تصمیم را معین می‌کند. ارزیابی نتیجه حاصل از انتخاب هر شق، با توجه به شرایط محیطی سومین فعالیت در فرایند تشخیص است. به‌طور خلاصه فرایند تشخیص را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

— فهرست کردن تمامی شقوق ممکن.

— فهرست کردن تمامی شرایط محیطی.

— تعیین نتایج حاصل از انتخاب هر شق با توجه به شرایط محیطی.

برای روشن شدن فرایند تشخیص به مثال‌های زیر توجه کنید:

مثال

وزارت نفت، پروژه حفاری يك منطقه بخصوصی را مورد بررسی قرار می‌دهد. عمل حفاری دارای هزینه گزاف است، ولی اگر نفت پیدا شود سود آن چندین برابر هزینه حفاری می‌باشد. وزارت نفت با شقوق مختلفی مواجه است که عمده‌ترین آنها حفاری یا عدم حفاری می‌باشد بنا بر این شقوق ممکن به‌صورت زیر است:

۱— حفاری

۲— عدم حفاری

عواملی که خارج از کنترل وزارت نفت هستند بسیار است که مهمترین آنها وجود یا عدم نفت در منطقه می‌باشد بنا بر این شرایط محیطی ممکن عبارتند از:

۱— وجود نفت در منطقه

۲— نبودن نفت در منطقه

پس از تعیین شقوق ممکن و شرایط محیطی می‌توان نتایج يك تصمیم در مقابل شرایط محیطی تعیین شده را ارزیابی کرد. برای مثال فرض کنید که تصمیم به حفاری گرفته شود ولی پس از حفاری معلوم شود که نفتی در منطقه وجود ندارد. در این صورت وزارت نفت ضرری معادل هزینه حفاری متحمل خواهد شد.

تمامی شقوق ممکن در رابطه با شرایط محیطی در جدول شماره ۱-۱ نشان داده شده است.

شرایط محیطی	شقوق ممکن	
	وجود نفت در منطقه	عدم نفت در منطقه
حفاری	سود قابل توجهی حاصل می شود	ضرری معادل هزینه حفاری حاصل می شود
عدم حفاری	از دست دادن سود بالقوه	جلوگیری از هزینه حفاری زائد

جدول ۱-۱

نتایج حاصل از شقوق ممکن و شرایط محیطی در تصمیم گیری وزارت نفت

مثال

يك فروشگاه پوشاك نسوع بخصوصی از يك كت جیر را می تواند به بهای ۴۰۰۰ ریال بخرد و در فصل بهار به مبلغ ۷۰۰۰ ریال بفروشد ولی پس از فصل بهار قیمت كت را به ۲۰۰۰ ریال کاهش دهد تا بتواند آن را در حراج به فروش رساند. این فروشگاه مسأله سفارش تعداد كتها را مورد مطالعه قرار می دهد. شقوق ممکن عبارتند از:

۱- سفارش داده نشود.

۲- يك عدد كت سفارش داده شود.

۳- دو عدد كت سفارش داده شود.

شرایط محیطی که خارج از کنترل فروشگاه است و در حقیقت مؤثرترین عامل در تصمیم گیری فروشگاه می باشد مقدار تقاضای كت در فصل بهار است بنابراین شرایط محیطی ممکن عبارتند از:

۱- عدم تقاضا برای كت

۲- تقاضا برای يك كت

۳- تقاضا برای دو كت

حال اجازه دهید نتایج انتخاب تصمیم، با توجه به شرایط محیطی را ارزیابی کنیم، می‌دانیم که مغازه از فروش هرکت در فصل بهار مبلغ ۳۰۰۰ ریال سود میبرد ولی برای هرکت باقیمانده که در فصل بهار فروش نرفته باید ۲۰۰۰ ریال ضرر بدهد. مقدار کل سود (یا ضرر) به صورت تابعی از تعداد سفارشات و تعداد تقاضا در فصل بهار در جدول شماره ۱-۲ نشان داده شده است.

تعداد تقاضا:			شرایط محیطی شقوق ممکن: (تعداد سفارشات)
۲	۱	۰	
۰	۰	۰	۰
۳۰۰۰	۳۰۰۰	-۲۰۰۰	۱
۶۰۰۰	۱۰۰۰	-۲۰۰۰	۲

جدول ۱-۲

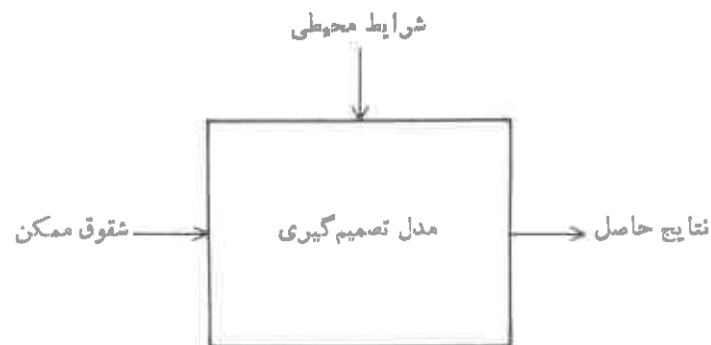
نتایج حاصل از شقوق ممکن و شرایط محیطی در تصمیم‌گیری فروشگاه پوشاک

نتایج حاصل از شقوق ممکن و شرایط محیطی مندرج در جدول شماره ۱-۲ بدون در نظر گرفتن عدم‌النفع محاسبه شده است. مثلاً اگر فروشگاه تصمیم بگیرد که کتی سفارش ندهد در مقابل تقاضاهای مختلف سودی عاید فروشگاه نخواهد شد. همچنین اگر فروشگاه سفارش يك كت بدهد در صورتی که تقاضا صفر باشد مبلغ ۲۰۰۰ ریال ضرر خواهد داشت زیرا مجبور است كت را در حراج بفروشد. سایر ارقام مندرج در جدول نیز به همین صورت محاسبه شده است.

ساخت مدل

همچنان‌که اشاره شد برای طراحی يك مدل، به دانستن راه‌حلهای ممکن، شرایط محیطی و نتایج حاصل از هر شق نیاز است. به عبارت دیگر مدل تصمیم‌گیری ما نندجبه‌ای

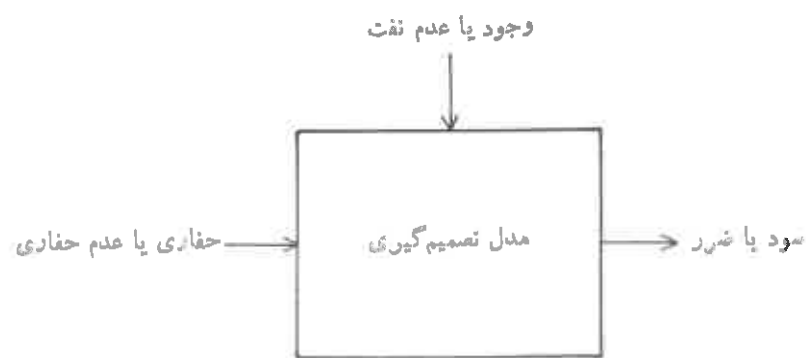
است که يك سری شرایط محیطی و يك سری شقوق ممکن در آن ریخته می‌شوند و حاصل آن نتایج را نشان می‌دهد. مدل تصمیم‌گیری مشخص‌کننده معادله‌ای است که برای هر يك از ترکیبات شرایط محیطی و شقوق ممکن نتیجه جداگانه‌ای به دست دهد. در نمودار شماره ۱-۲ شمای کلی مدل تصمیم‌گیری نشان داده شده است.



نمودار شماره ۱-۲

شمای کلی مدل تصمیم‌گیری

در مورد مثال حفاری وزارت نفت مدل تصمیم‌گیری را می‌توان به صورت نمودار ۱-۳ نشان داد:



نمودار ۱-۳

مدل تصمیم‌گیری وزارت نفت

برای هر شق با توجه به شرایط محیطی يك نتیجه شخاص حاصل می‌شود. این نتایج در مورد

مثال وزارت نفت به صورت جدول ۱-۳ می باشد:

نتایج	شرایط محیطی	شقوق ممکن
سود کلان	وجود نفت	حفاری
ضرر معادل هزینه حفاری	عدم نفت	حفاری
از دست دادن سود	وجود نفت	عدم حفاری
جلوگیری از هزینه حفاری زائد	عدم نفت	عدم حفاری

جدول شماره ۱-۳

نتایج حاصل از شقوق مختلف تصمیم وزارت نفت

همچنین در مورد مثال ۲ نتایج حاصل از شقوق مختلف تصمیم در شرایط محیطی مطابق جدول شماره ۱-۴ می باشند.

نتایج (سود)	شرایط محیطی (تقاضا)	شقوق ممکن (سفارش)
۰	۰	۰
-۲۰۰۰	۰	۱
-۴۰۰۰	۰	۲
۰	۱	۰
۳۰۰۰	۱	۱
۱۰۰۰	۱	۲
۰	۲	۰
۳۰۰۰	۲	۱
۶۰۰۰	۲	۲

جدول شماره ۱-۴

نتایج حاصل از شقوق مختلف تصمیم در فروشگاه پوشاک

مدل ریاضی تصمیم

اگر شرایط محیطی را به E و شقوق ممکن را به D و نتایج حاصل را به C نشان دهیم، از آنجایی که نتایج يك تصمیم تابعی از شرایط محیطی و شقوق ممکن می باشد، می توان مدل ریاضی تصمیم را به صورت زیر نشان داد:

$$C = f(E, D)$$

مثلاً در مثال حفاری وزارت نفت بر طبق این مدل سود تابعی از دو عامل حفاری و وجود نفت می باشد.

$$\text{سود} = f(\text{نفت، حفاری})$$

در مورد مثال فروشگاه پوشاك تمامی متغیرها می توانند به صورت کمی بیان شوند. مدلی که تصمیم را بر حسب متغیرهای کمی معین کند مدل کمی نامیده می شود، بنابراین مدل تصمیم در فروشگاه پوشاك يك مدل کمی است در صورتی که مدل تصمیم در مثال حفاری وزارت نفت يك مدل غیر کمی است. در موارد ضروری می توان مدل غیر کمی را به مدل کمی تبدیل کرد. مثال حفاری برای نفت را در نظر می گیریم در این مثال E به صورت يك متغیر غیر کمی معرفی شده ولی می توان E را به صورت کمی نیز نشان داد:

$$E = 1 \quad \text{اگر زمین دارای نفت باشد.}$$

$$E = 0 \quad \text{اگر زمین فاقد نفت باشد.}$$

که در این صورت E يك متغیر کمی می شود. D نیز در تعریف اولیه مسأله يك متغیر غیر کمی است ولی آن را نیز می توان به صورت متغیر کمی در آورد.

$$D = 1 \quad \text{اگر تصمیم حفاری باشد.}$$

$$D = 0 \quad \text{اگر تصمیم عدم حفاری باشد.}$$

همچنان که ملاحظه شد E و D با اعداد اختیاری به متغیرهای کمی تبدیل شدند. این تبدیلهای ممکن است در مطالعات بعدی ما زیاد مهم نباشند اما تبدیل C به يك متغیر کمی موضوع متفاوتی است. C ممکن است يك سود کسلان، هزینه حفاری بالا و غیره باشد بنابراین اگر بنا باشد که C به يك متغیر کمی تبدیل شود باید مقدار دقیق سود حاصل از حفاری موفقیت آمیز و یا میزان دقیق زیانی که از حفاری ناموفق به شرکت وارد می شود مشخص شود. در عمل، تعیین این کمیتهای بسیار مشکل است. از طرفی تصور این که وزارت نفت بدون تعیین این کمیتهای بتواند به يك تصمیم مطلوب حفاری برسد نیز مشکل است. حال فرض کنیم که از يك حفاری موفق سودی معادل ۱۰۰ میلیون ریال حاصل می شود، و يك حفاری ناموفق زیانی معادل ۱۰ میلیون ریال در بر دارد. بنابراین می توان هر يك از نتایج حاصل از شقوق

ممکن در شرایط محیطی را به شرح جدول ۱-۵ نشان داد:

شرایط محیطی	شقوق ممکن	
	وجود نفت	عدم نفت
حفاری	۱۰۰	۱۰-
عدم حفاری	۰	۰

جدول شماره ۱-۵*

اطلاعات مندرج در جدول شماره ۱-۵ را می‌توان به صورت کمی در جدول ۱-۶ نشان داد

شقوق ممکن	شرایط محیطی	نتایج حاصل
۱	۱	۱۰۰
۰	۰	۱۰-
۱	۰	۰
۰	۰	۰

جدول شماره ۱-۶

در مثال فروشگاه پوشاک اگر:

d = تعداد کت‌های مورد تقاضا در طول فصل

q = تعداد کت‌های سفارش داده شده

p = مقدار سود

با فرض اینکه تقاضا در طول فصل مساوی یا بزرگتر از تعداد کت‌های سفارش داده شده باشد ($d \geq q$) سود فروشگاه عبارتست از:

$$p = 3000q$$

* ارقام به میلیون ریال

همچنین اگر میزان تقاضا کمتر از تعداد کت‌های سفارش داده شده باشد ($d < q$) فروشگاه برای حرکت که می‌فروشد ۳۰۰۰ ریال سود خواهد برد و برای حرکت باقیمانده مازاد بر تقاضا ۲۰۰۰ ریال ضرر متحمل خواهد شد در این صورت سود فروشگاه عبارتست از:

$$p = 3000d - 2000(q - d)$$

بنابراین به صورت خلاصه معادله سود برای فروشگاه پوشاک را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$p = 3000d \quad \text{اگر } d \geq q$$

$$p = 3000d - 2000(q - d) \quad \text{اگر } d < q$$

فعالیت‌های حل - فعالیت‌های حل شامل فعالیت‌هایی است که انتخاب يك شق از میان شقوق ممكن را میسر کنند. به عبارت دیگر فرایند حل نهایتاً شامل انتخاب يك شق از میان شقوق مختلف می‌باشد. حال باید دید معیار انتخاب ما چیست. براساس چه چیزی می‌گوییم این راه مطلوب‌ست یا مطلوب نیست و برچه اساسی يك راه را بر دیگری ترجیح می‌شمریم و آن را انتخاب می‌کنیم. پاسخ به این سؤال در اغلب موارد روشن نیست. راه الف ممکنست از يك نظر خوب تلقی شود ولی از دید دیگری چندان خوب نباشد، بدین جهت ما باید معیار و ملاکی در دست داشته باشیم تا کار انتخاب را براساس آن انجام دهیم.

معیارهایی که مدیران برای اخذ تصمیم و انتخاب به کار می‌برند عواملی است که در راه رسیدن به هدف سازمان دارای اهمیت است. از طریق تجزیه و تحلیل‌های علمی و بررسی هدفها و خط مشی‌های سازمان می‌توان این معیارها را شناخت و عملیات را به کمک آنها مورد سنجش قرارداد. به عنوان مثال هزینه یا سود می‌تواند معیاری برای سنجش راههای مختلف و انتخاب يك راه از بین راههای گوناگون باشد. در تصمیم‌گیری یکی از اساسیترین گامها یافتن معیار و ارزیابی راهها به وسیله آن است.

مثال.

رئیس يك مؤسسه بازرگانی اعتباری برای بهبود ارائه خدمات به مشتریان در اختیار دارد. هدف این است که اصلاحات با حداقل هزینه ممکن انجام پذیرد. دوراهی که برای بهبود ارائه خدمات و ایجاد تسهیلات وجود دارد عبارتند از:

الف - استخدام يك کارمند جدید برای ارائه خدمت به مشتریان در ساعات پرازدحام روز.

ب - اضافه کردن يك ساعت به ساعات کار به طوری که ساعات کار از ۸ تا ۳ به ۸ تا ۴ افزایش یابد.

۱۵ □ تصمیم‌گیری

به کمک دو معیار «متوسط کاهش زمان انتظار مشتریان» و «هزینه اضافی عملیات اصلاحی در سال» این دو راه مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌گیرند. نتیجه سنجش بدین قرار است:

طرق ممکن	متوسط کاهش زمان انتظار	هزینه اضافی عملیات در سال
الف	۲۷۳ دقیقه	۱۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال
ب	۶۷ دقیقه	۱۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال

از آنجایی که هر دو راه جهت معیار «هزینه اضافی عملیات» یکسان می‌باشند راه حل الف که زمان انتظار مشتریان را بیشتر کاهش می‌دهد انتخاب می‌شود. نکته مهم این است که این دو راه را می‌توان با معیارهای دیگری نیز محک زد. مثلاً اینکه هر یک از دو راه فوق تا چه حد باعث جلب مشتریان جدید خواهد شد، می‌تواند مدیر را در انتخاب و اخذ تصمیم یاری دهد. اما نباید فراموش کرد که معیارهایی را باید برگزید که ارزیابی به وسیله آنها ساده، عملی، نتیجه بخش و مقرون به صرفه باشد.

تلفیق معیارها^۱

در ارزیابی راه‌حلها به وسیله معیار همیشه کار بسادگی مثال گذشته نیست. گاهی نتایج حاصل از به کارگیری معیارهای مختلف به گونه‌ای است که امر انتخاب را مشکل می‌سازد. به عنوان مثال فرض کنید در مثال گذشته نتایج زیر حاصل شده باشد.

طرق ممکن	متوسط کاهش زمان انتظار	هزینه اضافی عملیات در سال
الف	۲۷۳ دقیقه	۱۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال
ب	۶۷ دقیقه	۲۰۰۰۰۰۰ ریال

1. combine the criteria

راه حل الف از جهت یکی از معیارها که «کاهش زمان انتظار» مشتریان است بسیار مطلوب است ولی از جهت «هزینه اضافی عملیات»، در مقابل راه حل ب چندان مطلوب نیست. از سوی دیگر راه حل ب کاهش زمان کمتری را به بار می آورد ولی از جهت هزینه قابل قبولتر است. در چنین حالتی مدیر کدامیک از راه حلها را برگزیند، راه حل الف را یا راه حل ب را؟ تلفیق معیارها و ایجاد یک معیار واحد مطلوب بودن به مدیر در تصمیم گیری کمک خواهد کرد. در این مثال از تقسیم هزینه بر زمان انتظار، معیار واحدی به دست می آید که «هزینه هر دقیقه کاهش زمان انتظار» را نشان می دهد. بدین ترتیب با کمک این معیار راههای الف و ب را می توان مقایسه و یکی از آنها را انتخاب کرد.

طرق ممکن	هزینه هر دقیقه کاهش زمان انتظار
الف	$\frac{1000000}{273} = 366300$
ب	$\frac{200000}{068} = 292117$

همان طور که مشاهده می شود راه حل ب راه حل مطلوبتری است زیرا به ازای هزینه کمتری زمان انتظار را کاهش می دهد.

طبقه بندی تصمیمات

طبقه بندی تصمیمات کار مدیر و تحلیلگر را در انتخاب مدلها و معیارهای تصمیم گیری و شیوه های اخذ تصمیم ساده می کند. طرق مختلفی برای طبقه بندی تصمیمات به کار رفته و از جنبه های مختلف مسائل مورد نظر در تصمیم گیری را طبقه بندی کرده اند. در اینجا به دو نوع طبقه بندی اشاره خواهد شد. یکی طبقه بندی تصمیمات از نظر میزان اطمینان به نتایج حاصل از شقوق مختلف اخذ تصمیم و دیگری طبقه بندی تصمیمات از نظر مراحل آنها است. در طبقه بندی اول تصمیمات را می توان در سه گروه قرار داد:

۱- تصمیم گیری تحت شرایط اطمینان کامل^۲.

1. Single measure of desirability

2. Certainty

۲- تصمیم‌گیری در شرایط ریسک^۱.

۳- تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان^۲.

زمانی که تصمیم‌گیرنده با اطمینان کامل می‌داند که نتیجه یا نتایج حاصل از هر شق ممکن چیست و در چه شرایطی اتفاق خواهد افتاد او از نظر تصمیم‌گیری در شرایط اطمینان کامل قرار دارد. وقتی تصمیم‌گیرنده با اطمینان کامل نمی‌داند که نتایج حاصل از هر شق چیست ولی احتمال وقوع (شانس نسبی وقوع^۳ نتایج) آنها را می‌داند او تحت شرایط ریسک و یا مخاطره اتخاذ تصمیم می‌کند. و بالاخره هنگامی که تصمیم‌گیرنده احتمال وقوع نتایج حاصل از شقوق ممکن را نمی‌داند او در شرایط عدم اطمینان تصمیم‌گیری می‌کند. با ذکر مثالهایی این سه نوع تصمیم‌گیری روشنتر بیان می‌شود.

مثال تصمیم‌گیری تحت شرایط اطمینان کامل

يك مؤسسه توزیعی که دارای فروشگاههای زنجیره‌ای است در نظر دارد فروشگاه جدیدی را تأسیس کند. این فروشگاه می‌تواند دریکی از چهار محل شماره ۱-۲-۳ و ۴ ایجاد شود. مدیریت مؤسسه می‌خواهد محلی را انتخاب کند که سود دهسال آینده را به‌حداکثر برساند. براساس تجزیه و تحلیلها و بررسیهای انجام شده، هزینه و درآمدها برای هریک از محل‌های چهارگانه محاسبه و سوددهی آنها در دهسال آینده به‌شرح جدول شماره ۷-۱ معین شده است.

محل فروشگاه (طرق ممکن)	سود در دهسال آینده (به میلیون)
۱	۷۰
۲	۹۵
۳	۶۰
۴	۸۲

جدول شماره ۷-۱

میزان سوددهی محلهای چهارگانه برای ایجاد فروشگاه

1. risk
2. Uncertainty
3. Relative Chance of Occurrence

به طوری که جدول نشان می‌دهد محل شماره ۲ بیشترین سود را در دهسال آینده نصیب سازمان خواهد کرد و از آنجایی که مدیریت نسبت به وقوع این نتایج اطمینان کامل دارد و معیار تصمیم‌گیری هم سوددهی حداکثر است مدیر محل شماره ۲ را انتخاب خواهد کرد. در چنین شرایطی تصمیم‌گیری با اطمینان کامل انجام گرفته است.

مثال تصمیم‌گیری در حالت ریسک

فرض کنید در مثال قبل، مدیریت منوجه این موضوع شود که سوددهی فروشگاه جدید در دهسال آینده در رابطه با افزایش جمعیت در محلهای مورد نظر می‌باشد و این عاملی است که تعیین و تحدید آن از حیطه قدرت سازمان خارج است. در چنین حالتی مدیر باید به احتمالات متوسل شود و احتمال این را که افزایش جمعیت در دهسال آینده چگونه است تعیین کند. مثلاً می‌توان سه سطح از رشد جمعیت (رشد کم - رشد متوسط - و رشد زیاد) را در نظر گرفت و سوددهی هر راه را در رابطه با این سه سطح رشد برآورد کرد و احتمالات مربوط به هر سطح از رشد را پیش‌بینی کرد. جدول شماره ۸-۱ این اطلاعات را نشان می‌دهد.

محل فروشگاه	میزان سود* در رشد کم جمعیت	میزان سود در رشد متوسط جمعیت	میزان سود در رشد زیاد جمعیت
۱	۳	۸	۹
۲	۲	۶	۱۱
۳	۴	۵	۶
۴	۶	۷	۸
احتمال وقوع:	۲٪	۳٪	۵٪

جدول شماره ۸-۱

ماتریس تصمیم‌گیری

در شرایط اطمینان کامل تصمیم‌گیری بسیار ساده بود اما در این حالت تصمیم‌گیری مشکلتر است زیرا دقیقاً نمی‌توان اطمینان یافت که چه حالتی اتفاق خواهد افتاد همان‌طور

* میزان سود به میلیون می‌باشد.

که در جدول ۸-۱ آمده است در صورتی که رشد جمعیت کم باشد محل شماره ۴ با ۶ میلیون سود در ده سال آینده بهترین انتخاب خواهد بود. اگر رشد جمعیت متوسط باشد محل شماره ۱ و اگر رشد جمعیت زیاد باشد محل شماره ۲ مطلوب‌ترین محل برای ایجاد فروشگاه خواهد بود. اصطلاحاً این سه سطح رشد جمعیت را شرایط محیطی تصمیم‌گیری می‌نامند همچنان که اشاره شد شرایط محیطی عبارتند از موقعیتهای مختلفی که نتایج حاصل از شقوق ممکن در تصمیم‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهند و به کمک احتمالات می‌توان شانس وقوع آنها را برآورد کرد.

برای اخذ تصمیم در چنین حالتی باید احتمال وقوع هر يك از سطوح رشد جمعیت را در میزان سوددهی هر محل تأثیر دهیم. نتیجه به دست آمده ارزش مورد انتظار^۱ نام دارد و می‌تواند شاخصی برای اخذ تصمیم در دست مدیر باشد.

به طور خلاصه روش اخذ تصمیم در شرایط ریسک شامل مراحل زیر است:

- ۱- يك راه از میان راههای ممکن انتخاب کنید.
 - ۲- تمامی نتایج حاصل از آن را مشخص کنید. این نتایج در شرایط محیطی مختلف معین می‌شود.
 - ۳- هر يك از نتایج را در احتمال وقوع موقعیت محیطی آن ضرب کنید.
 - ۴- نتایج حاصل از مرحله ۳ را جمع کنید تا ارزش مورد انتظار برای راه حل انتخابی در مرحله ۱ به دست آید.
 - ۵- مراحل ۱ تا ۴ را برای بقیه راههای ممکن تکرار کنید.
 - ۶- اکنون راه حلی را که بالاترین ارزش مورد انتظار (برای سود) و یا پایینترین ارزش مورد انتظار (برای هزینه) را داراست به عنوان راه حل انتخابی برگزینید.
- جدول شماره ۹-۱ از طریق به کارگیری این روش تکمیل شده است.
- به طوری که جدول ارزشهای مورد انتظار نشان می‌دهد، ارزش مورد انتظار برای راه حل شماره ۲ بالاترین میزان سود را نشان می‌دهد و باید راه حل مذکور را به عنوان شق مطلوب پذیرفت.

مثال تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان

در صورتی که مدیریت مؤسسه در مثال گذشته نتواند احتمال وقوع رشد جمعیت را در سطوح سه گانه پیش‌بینی کند، تصمیم‌گیری وی در شرایط عدم اطمینان انجام می‌پذیرد.

محل فروشگاه (طرق ممکن)	حاصل ضرب نتایج حاصل از راه حلها در احتمال وقوع شرایط محیطی آنها			ارزش مورد انتظار (سود) ^۲
	(رشد کم جمعیت)	(رشد متوسط جمعیت)	(رشد بالای جمعیت)	
۱	$۳ \times ۵۲ = ۱۵۶$	$۸ \times ۵۳ = ۴۲۴$	$۹ \times ۵۵ = ۴۹۵$	$۵۶ + ۲۲۴ + ۴۹۵ = ۷۷۵$
۲	$۲ \times ۵۲ = ۱۰۴$	$۶ \times ۵۳ = ۳۱۸$	$۱۱ \times ۵۵ = ۶۰۵$	$۱۰۴ + ۳۱۸ + ۶۰۵ = ۱۰۲۷$
۳	$۴ \times ۵۲ = ۲۰۸$	$۵ \times ۵۳ = ۲۶۵$	$۶ \times ۵۵ = ۳۳۰$	$۲۰۸ + ۲۶۵ + ۳۳۰ = ۸۰۳$
۴	$۶ \times ۵۲ = ۳۱۲$	$۷ \times ۵۳ = ۳۷۱$	$۸ \times ۵۵ = ۴۴۰$	$۳۱۲ + ۳۷۱ + ۴۴۰ = ۱۱۲۳$

جدول شماره ۹-۱
ارزشهای مورد انتظار

*ارقام سود به میلیون ریال

در چنین حالتی تصمیم‌گیری از محالات پیشین مشکلتر و میزان مخاطره آن بیشتر است. چنانکه دیدیم در حالت اول تصمیم‌گیری با یقین کامل و بسادگی انجام می‌پذیرفت. در حالت دوم با اتکاء به احتمالات تصمیم‌گیری می‌شد و به علت احتمالی بودن نتایج قطعیت حالت اول وجود نداشت و تصمیم‌گیری توأم با ریسک بود. اما در حالت سوم به علت نداشتن احتمال وقوع نتایج در شرایط مختلف انتخاب به‌سہولت و دقت حالات گذشته نیست. در شرایط عدم اطمینان تصمیم‌گیرنده سه شیوه را می‌تواند به‌کار گیرد.

اولین شیوه انتخاب «حداکثر حداکثرها»^۱ می‌باشد. در این شیوه بهترین نتیجه از بین بهترین نتایج شقوق ممکن در شرایط محیطی مورد نظر انتخاب می‌شود. این شیوه خوشبینانه‌ای است که در آن تصمیم‌گیرنده فرض می‌کند برای هر شق ممکن بهترین نتیجه رخ می‌دهد و او بهترین آنها را به‌عنوان تصمیم برمی‌گزیند. در جدول شماره ۸-۱، «ماتریس تصمیم‌گیری» بهترین نتیجه برای راه حل اول ۹ میلیون ریال، برای راه حل دوم ۱۱ میلیون ریال، برای راه حل سوم ۶ میلیون ریال، برای راه حل چهارم ۸ میلیون ریال می‌باشد. از میان این بهترینها تصمیم‌گیرنده راه حل دوم را که بالاترین سود و بهترین از میان بهترینها یا حداکثر حداکثرهاست انتخاب می‌کند.

دومین شیوه انتخاب «حداکثر حداقلها»^۲ می‌باشد. در این شیوه با بدبینی این‌طور فرض می‌شود که برای راه‌های ممکن بدترین نتیجه در شرایط محیطی مورد نظر حاصل خواهد شد و بنابراین باید بعنوان تصمیم اصلح بهترین را از میان این بدترینها انتخاب کرد. در ماتریس تصمیم‌گیری، جدول شماره ۸-۱ کمترین نتیجه برای راه حل اول ۳ میلیون ریال، برای راه حل دوم ۲ میلیون ریال، برای راه حل سوم ۴ میلیون ریال، و برای راه حل چهارم ۶ میلیون ریال می‌باشد. از میان این کمترین سودها بهترین انتخاب راه حل چهارم با ۶ میلیون ریال سود می‌باشد که بهترین نتیجه در میان این بدترین نتیجه‌هاست.

در شیوه سوم با توجه به این‌که در تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان هیچگونه احتمالی برای شرایط محیطی در دست نیست و به‌علت فقدان دلیل کافی^۳، احتمال برای شرایط مختلف یکسان فرض و براساس ارزش مورد انتظار تصمیم‌گیری می‌شود.

با مراجعه به جدول شماره ۸-۱ در صورتی که احتمال وقوع رشد جمعیت در هر سه حالت یکی فرض شود پس از محاسبه ارزشهای مورد انتظار طرق ممکن مشاهده می‌شود بالاترین ارزش مورد انتظار متعلق به راه حل چهارم است و بهترین انتخاب راه حل مذکور می‌باشد.

1. Maximax

2. Maximin

3. Insufficient Reason

طبقه‌بندی تصمیمها بر اساس مراحل

همچنان‌که قبلاً اشاره شد طریق دیگری که برای طبقه‌بندی تصمیمات به کار می‌رود طبقه‌بندی بر اساس مراحل است که در تصمیم‌گیری ملاک عمل می‌باشد. در این طبقه‌بندی در یک سو تصمیمها تک‌مرحله‌ای^۱ یا ایستا^۲ قرار دارد و در سوی دیگر تصمیمها چندمرحله‌ای^۳ یا دنباله‌دار^۴ قرار دارند. البته در عالم واقع تصمیمات دقیقاً در این دو حد قرار نمی‌گیرند ولی از جهت تشریح مطالب تصمیمها را در این دو حد بیان داشته‌ایم.

تصمیمهای تک‌مرحله‌ای یا ایستا تصمیمهایی یکباره هستند که فقط به نتایج یک مرحله در آنها توجه می‌شود. در تصمیمهای تک‌مرحله‌ای تصمیم‌گیرنده مراحل بعدی و نتایج حاصل از آنها را در نظر ندارد و قصدش اخذ تصمیم در مورد یک مسأله است که آن را ثابت فرض کرده است.

در تصمیمهای چندمرحله‌ای و دنباله‌دار نظر تصمیم‌گیرنده معطوف به مراحل بعدی و نتایج ناشی از تصمیم اخذ شده می‌باشد. در اینگونه تصمیمها هدف آن نیست که فقط در یک مرحله نتیجه خوبی حاصل شود بلکه نظر آن است که یک سلسله انتخابها به‌طوری انجام گیرد که نتیجه کلی خوبی از مجموع آنها به‌دست آید. تصمیمهای چندمرحله‌ای در واقع مجموعه‌ای از تصمیمها هستند که ارتباط آنها باهم در نظر گرفته شده و اثرات هر تصمیم بعدی مورد توجه می‌باشد.

نمونه‌ای از این نوع تصمیم‌گیری را در برنامه‌ریزیهای کلی^۵ می‌توان مشاهده کرد، در مثال ایجاد یک فروشگاه جدید که ازماتریس تصمیم‌گیری استفاده شد تصمیم‌گیری تقریباً تک‌مرحله‌ای به‌شمار می‌رفت. درخت اخذ تصمیم که روشی برای تصمیم‌گیریهای چندمرحله‌ای است در قسمت بعد تشریح خواهد شد.

درخت اخذ تصمیم

یکی از شیوه‌هایی که برای تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای به کار می‌رود درخت اخذ تصمیم است.

در این شیوه مسأله مورد نظر به طور منظم و طی مراحل متوالی تجزیه و تحلیل و یک سلسله تصمیمها در رابطه با هم و به صورت یک مجموعه بیان می‌شوند. برای استفاده

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 1. Single-stage | 3. Multistage |
| 2. Static | 4. Sequential |
| 5. One-time only | 6. Aggregate Planning |

از این شیوه، تصمیم‌گیرنده باید شقوق ممکن را مشخص کند، وقایع و نتایج احتمالی از انتخاب هر یک از شقوق را معین و احتمال وقوع هر یک از نتایج را برآورد کند. طی این مراحل در شیوه درخت اخذ تصمیم کار تصمیم‌گیری را ساده و روشن می‌سازد و حتی اگر این شیوه به‌طور کامل مورد استفاده قرار نگیرد انجام همین مراحل خود کمک بزرگی به تصمیم‌گیرنده می‌باشد. پس از برآورد احتمالات می‌توان ارزش مورد انتظار را محاسبه کرد و مطلوب‌ترین طریق را تشخیص داد.

از این شیوه تصمیم‌گیری برای اغلب تصمیم‌ها می‌توان استفاده کرد ولی در تصمیم‌های چند مرحله‌ای که کار تصمیم‌گیری در گروی اخذ مجموعه‌ای از تصمیم‌های متوالی است شیوه مذکور، روش بسیار مفید و مؤثری است.

مراحل اصلی در شیوه درخت اخذ تصمیم به‌قرار زیر است:

۱- ترسیم درخت اخذ تصمیم.

الف- مشخص کردن تمامی تصمیم‌ها و طرق ممکن.

ب- مشخص کردن حصول نتایج احتمالی هر تصمیم.

ج- ترسیم شمایی درخت مانند، که نشان‌دهنده توالی تصمیم‌ها و نتایج حاصل از آنها باشد.

۲- برآورد.

الف- برآورد احتمال وقوع نتایج هر یک از انتخاب‌ها.

ب- برآورد پیآمدهای مالی هر یک از نتایج (به‌عنوان یک معیار).

۳- ارزیابی و انتخاب.

الف- احتساب ارزش مورد انتظار نتایج ممکن الوقوع.

ب- انتخاب نتیجه‌ای که ارزش مورد انتظار قابل قبول‌تری دارد.

مثال استفاده از شیوه درخت اخذ تصمیم در تصمیم‌گیری

شرکت اتوبوسرانی شهری سالانه ۴۰۰۰۰۰۰۰ ریال ضرر می‌دهد. مسؤولان شهر تصمیم دارند با افزایش قیمت بلیط جلوی این ضرر را بگیرند. رئیس شرکت معتقد است افزایش بهای بلیط باعث کاهش مسافران خواهد شد مگر آنکه همزمان با آن خدمات شرکت نیز توسعه یافته و اصلاحاتی صورت گیرد. به‌نظر او اگر افزایش قیمت بلیط همزمان با توسعه خدمات انجام شود تا حدودی از ایجاد نظر مخالف و منفی مردم شهر نسبت به شرکت جلوگیری خواهد کرد. او پیش‌بینی می‌کند افزایش بهای بلیط همزمان با

توسعه خدمات، احتمالاً یکی از سه نتیجه زیر را در بر خواهد داشت:

- عمل مذکور باعث افزایش مسافران و استفاده بیشتر از اتوبوس خواهد شد.
- عمل مذکور باعث ثابت ماندن تعداد مسافران اتوبوس خواهد شد.
- عمل مذکور موجب کاهش مسافران و استفاده کمتر از اتوبوس خواهد شد.

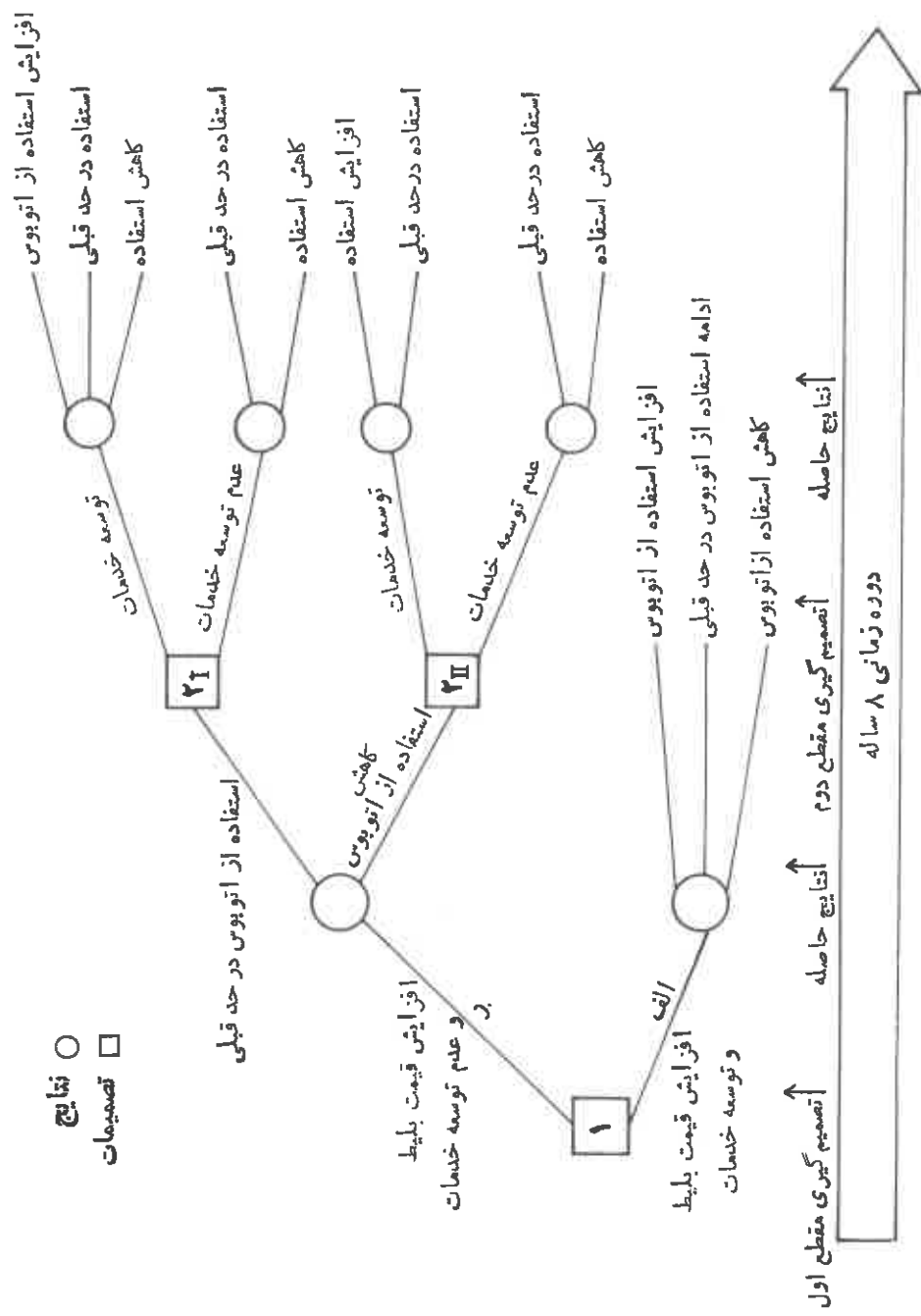
یکی از مسؤولان شهر، راه دیگری را پیشنهاد می‌کند. او معتقد است فعلاً قیمت بلیط افزایش یابد ولی توسعه خدمات اتوبوسرانی به دو سال بعد موکول شود. رئیس شرکت اتوبوسرانی معتقد است اگر این نظر عملی شود در عرض دو سال آینده مسلماً تعداد مسافران افزایش نخواهد یافت، بلکه ممکن است کاهش یابد و یا حداکثر اگر خیلی خوش بین باشند در همان حد باقی خواهد ماند. پس از دو سال نیز با توسعه خدمات اتوبوسرانی ممکن است تعداد مسافران افزایش یا کاهش داشته باشد و یا ثابت باقی بماند. رئیس شرکت اتوبوسرانی برای اخذ تصمیم و تجزیه و تحلیل این مشکل شیوه درخت اخذ تصمیم را به کار گرفته است و آن را برای یک دوره زمانی ۸ ساله که به نظر او زمان مناسبی است تنظیم کرده است.

ترسیم شمای درخت اخذ تصمیم

در مرحله اول تجزیه و تحلیل، درخت اخذ تصمیم براساس پیش بینیه‌ها و شقوق ممکن در نمودار شماره ۴-۱ ترسیم شده است، نمودار مذکور تصمیمهای مورد نظر و نتایج حاصل از آنها را نشان می‌دهد. در سمت چپ نمودار تصمیم‌گیری مقطع اول که حاوی دو شق می‌باشد، نشان داده شده است.

شقوق مذکور عبارتند از:

- الف- افزایش بهای بلیط همراه توسعه خدمات اتوبوسرانی در حال حاضر.
 - ب- افزایش بهای بلیط بدون توسعه خدمات اتوبوسرانی در حال حاضر.
- اگر شق اول یعنی الف انتخاب شود نتایج حاصل از آن در ۸ سال آینده یکی از سه مورد افزایش، کاهش، یا ثابت میزان استفاده از اتوبوس خواهد بود. اگر شق ب یعنی عدم توسعه و افزایش قیمت بلیط در نظر گرفته شود و در ۲ سال آینده نتایج حاصل، استفاده از اتوبوس در حد قبلی یا کاهش استفاده از آن خواهد بود. پس از دو سال تصمیم دوم (تصمیم‌گیری مقطع دوم) باید انجام شود. شقوق این تصمیم توسعه خدمات اتوبوسرانی (ج) یا عدم توسعه خدمات اتوبوسرانی (د) خواهد بود. اگر خدمات توسعه نیابند در عرض ۶ سال آینده استفاده از اتوبوس ثابت می‌ماند یا کاهش خواهد یافت و اگر خدمات



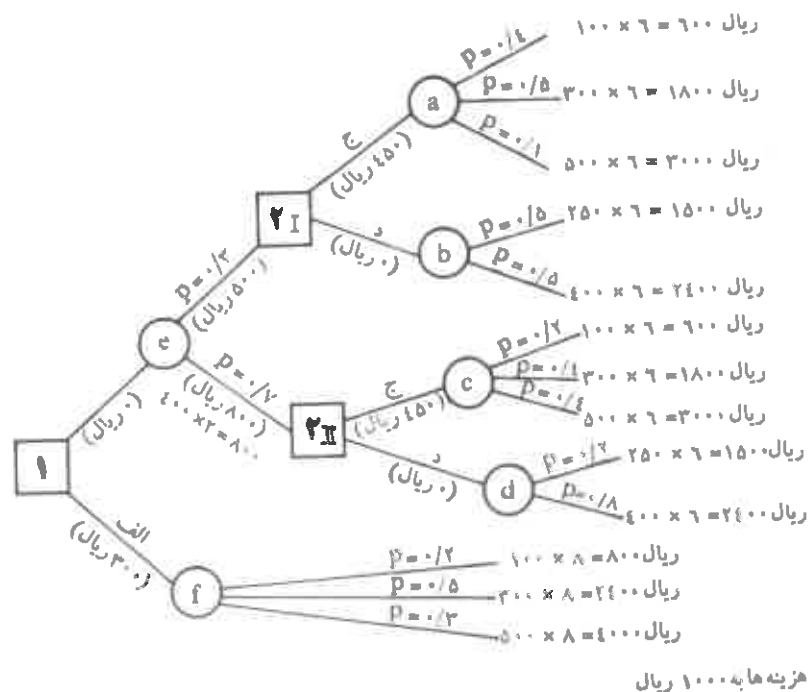
شمای درخت اخذ تصهیم

توسعه یابد ممکن است علاوه بر نتایج حاصل از شق (د) استفاده از اتوبوس افزایش نیز پیدا کند.

برآورد و محاسبه احتمالات

مرحله بعدی در تجزیه و تحلیل درخت اتخاذ تصمیم شامل برآورد و محاسبه احتمال نتایج حاصل از شقوق مختلف تصمیمها می باشد. برآورد و محاسبه احتمالات در این شیوه تصمیم گیری گامی ضروری است و امر انتخاب و اتخاذ تصمیم بدون آن میسر نمی باشد. با توجه به این نکته که مجموع احتمالات نتایج حاصل از هر شق برابر یک می باشد، احتمالات نتایج شقوق مختلف در این مثال به شرح مندرج در نمودار ۵-۱ محاسبه شده است. همان

هزینه های حاصل از شقوق مختلف برای دوره های ۶ و ۸ ساله.



نمودار شماره ۵-۱

شمای درخت اتخاذ تصمیم با احتمالات و هزینه های مربوط به شقوق مختلف

طور که مشاهده می‌شود احتمال وقوع نتایج حاصل از شق الف به ترتیب ۲، ۵، ۵، ۵ و ۳ می‌باشد و به همین ترتیب احتمالات نتایج حاصل از شقوق دیگر نیز محاسبه و در شکل درج شده است. در شکل مذکور هزینه‌های حاصل از تصمیمهای مختلف نیز نشان داده شده است. مثلاً هزینه توسعه خدمات در شق اول ۳۰۰ هزار ریال می‌باشد و در صورتی که توسعه بعد از دو سال صورت پذیرد در شق ج هزینه ۴۵۰ هزار ریال خواهد بود. هزینه شق ب یعنی عدم توسعه خدمات هیچ‌گونه هزینه‌ای در بر ندارد ولی نتایج حاصل از این شق یعنی کاهش استفاده از اتوبوس منجر به ۸۰۰ هزار ریال کسر بودجه و در نتیجه هزینه برای شرکت در عرض ۲ سال خواهد شد، و در صورتی که استفاده از اتوبوس در حد قبلی ثابت بماند هزینه این امر برای شرکت ۵۰۰ هزار ریال برآورد شده است. به همین ترتیب در نمودار شماره ۵-۳ کلیه هزینه‌های حاصل از نتایج ناشی از شقوق «الف»، «ب»، «ج» و «د» برای دوره‌های ۸ ساله، ۲ ساله، و ۶ ساله نشان داده شده است.

ارزیابی و انتخاب

آخرین مرحله در تجزیه و تحلیل درخت اخذ تصمیم محاسبه ارزش مورد انتظار کلیه شقوق ممکن می‌باشد. تصمیم‌گیرنده می‌تواند هزینه مورد انتظار هر تصمیم و نتایج ناشی از آن را محاسبه کند و براساس محاسبات مذکور کمترین هزینه را که بهترین نتیجه مورد انتظار در این حالت است برای دوره ۸ ساله به دست آورد و تصمیم نهایی را اتخاذ کند.

در این مثال باید هزینه مورد انتظار تصمیمها و نتایج ناشی از آنها در درخت اخذ تصمیم محاسبه شود، محاسبه را از سمت راست درخت اخذ تصمیم شروع می‌کنیم به نمودار شماره ۵-۱ نگاه کنید. فرض کنید شرکت اتوبوسرانی تصمیم ج را گرفته است یعنی قیمت بلیط را افزایش داده اما خدمات را در ابتدا توسعه نداده است. از این رو استفاده از اتوبوس در دو سال اول ثابت مانده و خدمات پس از دو سال توسعه یافته است. حال باید دید استفاده از اتوبوس از سال سوم تا هشتم با توجه به احتمالات و هزینه‌های پیش‌بینی شده چه وضعیتی به خود خواهد گرفت. ما با اطمینان کامل نمی‌توانیم وضعیت را پیش‌بینی کنیم اما با اطلاعات و احتمالات موجود می‌توانیم هزینه مورد انتظار نتایج حاصل از شق ج را که از نقطه B به سه صورت پیش‌بینی شده حساب کنیم.

1. Expected cost

$$\begin{aligned}
 EC_a &= (0.02)(600) + (0.05)(1800) + (0.01)(3000) \\
 &= 220 + 900 + 300 \\
 &= 1420 \text{ ریال}
 \end{aligned}$$

بنابراین هزینه مورد انتظار نتایج ممکن الوقوع تصمیم ج در نقطه با توجه به احتمالات و هزینه‌های پیش‌بینی شده ۱۴۲۰ هزار ریال است. به همین طریق هزینه‌های مورد انتظار نقاط b، c و d را حساب می‌کنیم.

$$EC_b = (0.05)(1500) + (0.05)(2200) = 1950 \text{ ریال}$$

$$EC_c = (0.02)(600) + (0.02)(1800) + (0.02)(3000) = 2020 \text{ ریال}$$

$$EC_d = (0.02)(1500) + (0.08)(2200) = 2220 \text{ ریال}$$

حال که هزینه‌های مورد انتظار نقاط a، b، c و d به دست آمد می‌توانیم به کمک آنها هزینه‌های مورد انتظار تصمیم‌ها 2_I و 2_{II} را محاسبه کنیم. در نمودار شماره ۶-۱ هزینه‌های مورد انتظار درج شده است. با توجه به نمودار مذکور بررسی خود را به سمت چپ شمای درخت اخذ تصمیم ادامه می‌دهیم. در شاخه‌ای که به نقطه b ختم شده، شق ج قرار دارد هزینه این شق ۴۵۰ هزار ریال است که با هزینه مورد انتظار نقطه b یعنی ۱۴۲۰ هزار ریال جمع شده و هزینه مورد انتظار این شق را به دست می‌دهد:

$$1420 + 450 = 1870$$

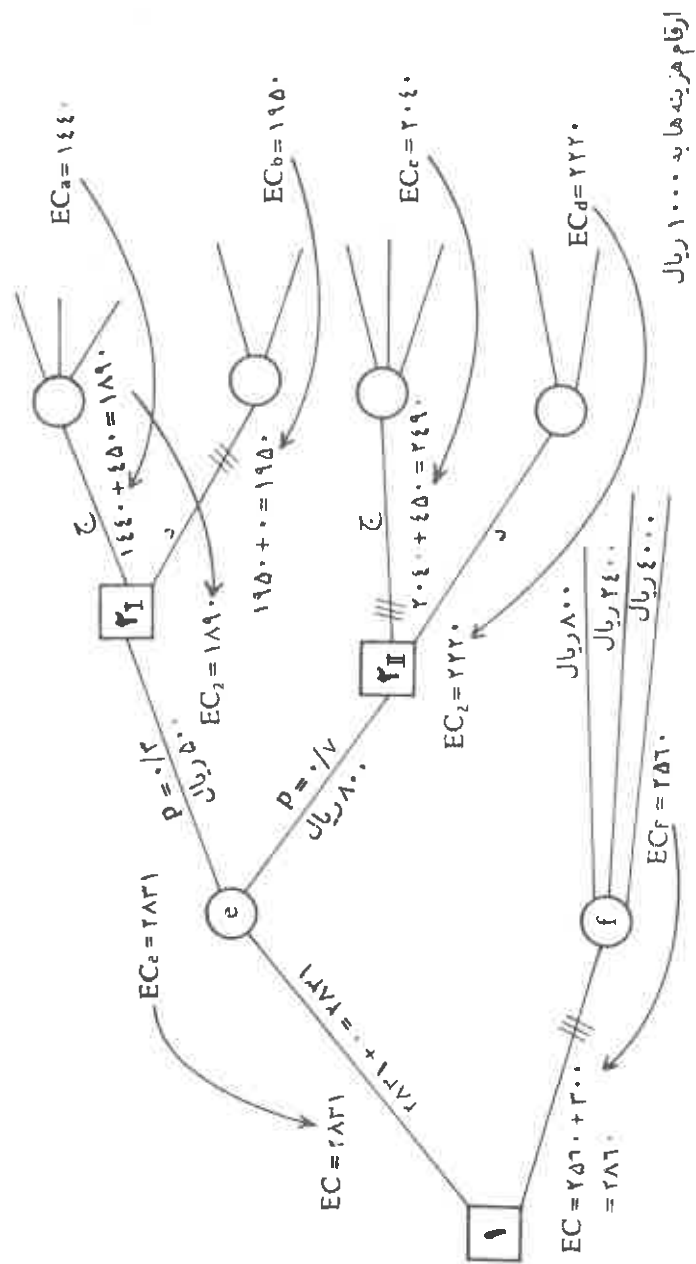
در شاخه‌ای که به نقطه b ختم شده شق د خود هزینه‌ای نداشته و هزینه مورد انتظار آن همان هزینه نقطه b خواهد شد:

$$1950 + 0 = 1950$$

اکنون با مقایسه هزینه‌های مورد انتظار دو شق ج و د در تصمیم 2_I می‌توان به سادگی شق ج را که مستلزم هزینه کمتری است انتخاب و شق د را با این علامت (///) از انتخابها حذف کرد.

با انتخاب شق ج هزینه مورد انتظار آن را در قسمت زیر تصمیم 2_I نوشته و ۱۸۹۰ را هزینه مورد انتظار تصمیم 2_I به شمار می‌آوریم. تا اینجا نتیجه‌ای که حاصل شده حکایت از این دارد که در مرحله تصمیم 2_I شق ج بهترین انتخاب است.

به همین ترتیب برای تصمیم 2_{II} که شامل دو شق ج و د می‌باشد هزینه‌های مورد انتظار را محاسبه می‌کنیم. هزینه مورد انتظار شق د ۲۲۲۰ ریال و هزینه مورد انتظار



نمودار شماره ۱-۶

شمای اخذ تصمیم و هزینه‌های مورد انتظار

شق ج ۲۴۹۰ هزار ریال می باشد.

از این رو باید شق د را که هزینه مورد انتظار کمتری دارد بپذیریم و شق ج را حذف کنیم. با انتخاب شق د هزینه مورد انتظار آن یعنی ۲۴۲۰ را در قسمت زیر تصمیم 2_{II} می نویسیم و آن را هزینه مورد انتظار تصمیم 2_{II} به حساب می آوریم.

اکنون در محاسبات خود به سمت چپ شمای درخت اخذ تصمیم به نقطه e می رسم که در آنجا دو نتیجه امکان حصول دارد، یکی استفاده از اتوبوس در همان حد قبلی با احتمال ۰۳ و هزینه ۵۰۰ هزار ریال و دیگری کاهش استفاده از اتوبوس با احتمال ۰۷ و هزینه ۸۰۰ هزار ریال. با توجه به محاسبات قبلی، نتیجه اول، یعنی ثابت ماندن میزان استفاده از اتوبوس می باید با تصمیم توسعه خدمات (شق ج) به هزینه مورد انتظار ۱۸۹۰ کامل شود، و نتیجه دوم نیز باید با تصمیم عدم توسعه خدمات (شق د) به هزینه مورد انتظار ۲۴۲۰ کامل شود.

برای احتساب هزینه مورد انتظار نقطه e به ترتیب زیر عمل می کنیم:

$$EC_e = (0.3)(500 + 1890) + (0.7)(800 + 2420) \\ = 717 + 2112 = 2831$$

هزینه مورد انتظار نقطه f نیز به همین ترتیب به دست می آید:

$$EC_f = (0.2)(800) + (0.5)(2400) + (0.3)(4000) \\ = 160 + 1200 + 1200 = 2560$$

اکنون با استفاده از هزینه های مورد انتظار نقاط e و f هزینه های مورد انتظار شقوق الف و ب را محاسبه می کنیم. هزینه شق الف در تصمیم يك ۳۰۰ هزار ریال می باشد که به اضافه ۲۵۶۰ هزار ریال هزینه مورد انتظار شق الف را به دست می دهد.

$$2560 + 300 = 2860$$

هزینه مورد انتظار شق ب نیز به همین ترتیب عبارت است از:

$$2831 + 0 = 2831$$

در این مرحله به سادگی می توان تشخیص داد که شق الف با هزینه مورد انتظار بالاتری که دارد باید از انتخابهای ما حذف شود و شق ب را به عنوان تصمیم بپذیریم. این شق عبارتست از افزایش قیمت بلیط و عدم توسعه خدمات. با استفاده از محاسبات خود همچنین نتیجه گرفتیم که با انتخاب این شق اگر میزان استفاده از اتوبوس در دو سال بعد ثابت

ماند باید خدمات را توسعه بدهیم، و اگر میزان استفاده از اتوبوس کاهش پیدا کرد خدمات را برای سالهای بعد (سوم تا هشتم) نباید توسعه دهیم. همچنان که در ابتدا اشاره شد، شیوه درخت اخذ تصمیم شقوق مختلف تصمیمات و نتایج حاصل از آنها را در مقاطع مختلف به صورت يك مجموعه، قابل بررسی می‌گرداند و مسله انتخابی مطلوب را برای رسیدن به هدف برای تصمیم گیرنده مشخص می‌کند.

تعیین ظرفیت با استفاده از شیوه درخت اخذ تصمیم

از شیوه درخت اخذ تصمیم برای تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف می‌توان استفاده کرد. یکی از زمینه‌هایی که مدیریت از این شیوه استفاده بسیار می‌کند تعیین ظرفیت در سیستمهای تولیدی است. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

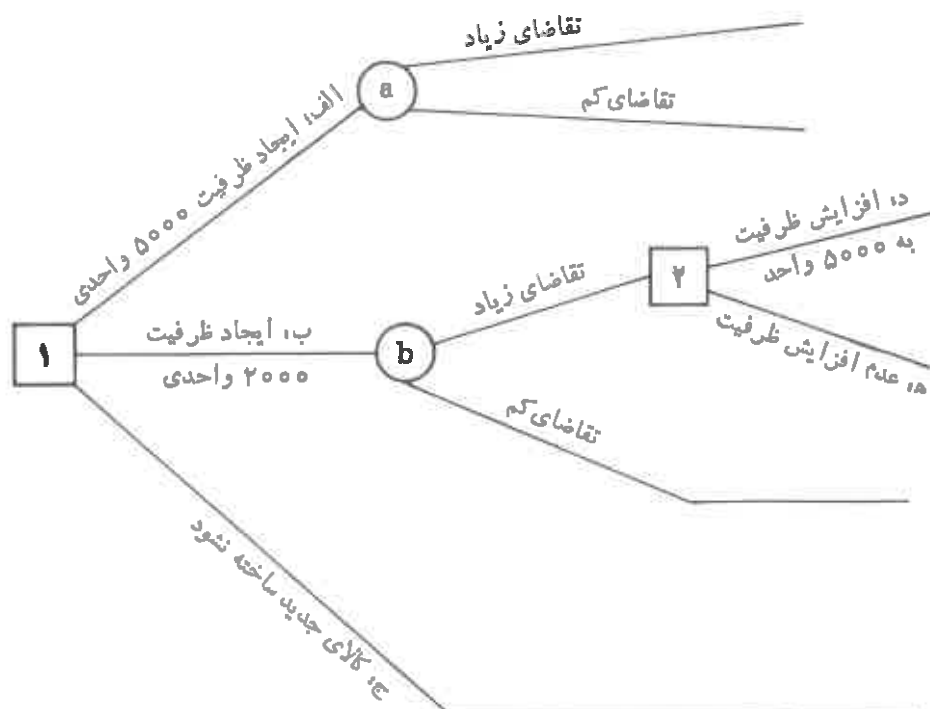
مثال

شرکت کاوه تولیدکننده ابزار آلات صنعتی است. این شرکت در نظر دارد يك ابزار جدید تولید کند از آنجا که ظرفیت تولیدی موجود تکمیل است برای تولید کالای جدید نیاز به سرمایه‌گذاری مجدد می‌باشد. اگر وسیله جدید بتواند بخوبی با کالاهای مشابه خود در بازار رقابت کند، ظرفیت مورد نیاز ۵۰۰۰ واحد در هفته برآورد می‌شود و سود حاصله از فروش آن ۴۰۰۰۰ ریال در هفته خواهد بود. اما اگر وسیله مذکور نتواند بخوبی جذب بازار شود ظرفیت مورد نیاز ۲۰۰۰ واحد در هفته برآورد می‌شود و سود حاصله از فروش ۱۶۰۰۰ ریال خواهد بود. سرمایه مورد نیاز برای ایجاد ظرفیت ۲۰۰۰ واحد در هفته ۸۰۰۰۰۰ ریال و برای ظرفیت ۵۰۰۰ واحد در هفته ۱۵۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. ظرفیت ۲۰۰۰ واحدی را می‌توان با سرمایه‌گذاری مجدد به میزان ۱۰۰۰۰۰۰ ریال به ۵۰۰۰ واحدی افزایش داد. عمر مفید هر دو سیستم ۲۰ سال و ارزش فرسوده آنها پس از ۲۰ سال صفر فرض شده است. اگر کالا تولید و به بازار ارائه شود حداکثر پس از يك سال می‌توان دریافت که آیا وسیله جدید توانسته رقیب خوبی برای کالاهای مشابه خود باشد یا نه.

شقوق مختلف تصمیم‌گیری شرکت کاوه در نمودار ۷-۱، تصویر درخت تصمیم‌گیری نشان داده شده است در نمودار مذکور علامت «مربع» نشانگر شقوق ممکن و علامت «دایره» نشانگر شرایط محیطی می‌باشند. شقوق ممکن برای شرکت کاوه عبارتست از:

الف- ایجاد ظرفیت ۵۰۰۰ واحدی

ب- ایجاد ظرفیت ۲۰۰۰ واحدی برای مدت يك سال



نمودار شماره ۷-۱
درخت تصمیم‌گیری برای شرکت کاوه

د- افزایش ظرفیت تا ۵۰۰۰ واحد

ه- عدم افزایش ظرفیت

ج- عدم ساخت کالای جدید

با کمی دقت متوجه می‌شوید که سود با توجه به گذشت زمان حاصل می‌شود. بنابراین باید ارزش فعلی هر یک از شقوق ممکن را به دست آورد و مورد ارزیابی قرار داد. برای این منظور باید احتمال وجود تقاضای زیاد و کم را بدانیم. همچنین بازده سرمایه برای شرکت کاوه نیز باید معلوم باشد، فرض کنید که حداقل نرخ بازده سرمایه در شرکت کاوه ۲۵ درصد است و اینکه برای کالای جدید تقاضای زیادی وجود داشته باشد، محتمل می‌باشد. حال با داشتن اطلاعات مذکور به تجزیه و تحلیل مسأله می‌پردازیم.

۴۳ □ تصمیم‌گیری

ابتدا شق دوم تصمیم در درخت تصمیم‌گیری نمودار ۷-۱ را در نظر می‌گیریم و از خود سؤال می‌کنیم که اگر مشخص شود تقاضا برای کالای جدید زیاد است، آیا باید ظرفیت تولید را افزایش دهیم؟ به عبارت دیگر آیا ارزش دارد پس از يك سال مبلغ ۱۰۰۰۰۰۰۰ ریال دیگر سرمایه‌گذاری کنیم و ۴۰۰۰۰۰ ریال در هفته سود بگیریم و یا اینکه برای ۱۹ سال بقیه با همان سرمایه‌گذاری اولیه به مبلغ ۱۶۰۰۰۰ ریال سود در هفته قانع باشیم اگر سال ۵۲ هفته باشد. سودی که از سرمایه‌گذاری مرحله دوم پس از یکسال حاصل می‌شود عبارتست از: حاصل جمع سودهای حاصله از این شق که در طی ۱۹ سال عاید خواهد شد. از آنجا که نرخ بازده سرمایه ۲۵ درصد می‌باشد ارزش فعلی حاصل جمع این سودها برابر خواهد بود با:

$$\text{سود حاصل از سرمایه‌گذاری مرحله دوم پس از يك سال (در حالت تقاضای زیاد)} = \sum_{t=1}^{19} (400000)(52) \left(\frac{1}{1.25} \right)^t$$

عبارت بالا ارزش فعلی سود سالانه (۵۲) ۴۰۰۰۰۰ ریال را برای مدت ۱۹ سال نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌کنید محاسبه رابطه بالا زمان زیادی لازم دارد. بدین جهت روابط ساده‌تری برای تعیین ارزش فعلی وجود دارد. مثلاً ارزش فعلی مبلغ سالانه A ریال در مدت T سال با نرخ بازده i درصد در سال را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\text{ارزش فعلی} = A \left[\frac{1 - (1+i)^{-T}}{i} \right]$$

در مورد مثال بالا ارزش فعلی مبلغ سالانه (۵۲) ۴۰۰۰۰۰ ریال برای مدت ۱۹ سال با نرخ بازده ۲۵ درصد در سال برابر است با:

$$\text{ارزش فعلی شق افزایش ظرفیت پس از يك سال} \quad PV = 400000(52) \left(\frac{1 - (1.25)^{-19}}{0.25} \right) = 8199360$$

سود حاصل از این شق برابر است با درآمد حاصل از آن منهای سرمایه‌گذاری لازم، به عبارت دیگر:

$$P_0 = 8199360 - 10000000 = 7199360$$

همچنین می‌توان سود حاصل از شق عدم افزایش ظرفیت در تقاضای زیاد (پس از يك سال) را به طریق بالا محاسبه کرد.

$$P_b V = 16000(52) \left(\frac{1 - (1.25)^{-1}}{0.25} \right) = 3279722$$

$$P_b = 3279722 - 0 = 3279722$$

بسا مقایسه سود حاصل از شقوق افزایش ظرفیت و عدم افزایش ظرفیت در حالت تقاضای زیاد (بعد از يك سال) متوجه می‌شویم که اگر پس از يك سال تقاضا زیاد بود بهتر است ظرفیت افزایش یابد.
اگر پس از يك سال تقاضا کم باشد ارزش فعلی آن برابر است با:

$$16000(52) \left(\frac{1 - (1.25)^{-1}}{0.25} \right) = 3279722$$

بنابراین ارزش مورد انتظار نقطه b برابر است با حاصل ضرب احتمال وجود تقاضای زیاد در ارزش فعلی حاصل از تقاضای زیاد به علاوه حاصل ضرب احتمال وقوع تقاضای کم در ارزش فعلی تقاضای کم (پس از يك سال) اگر احتمال وجود تقاضای زیاد برابر ۰٫۲ و احتمال وجود تقاضای کم برابر ۰٫۸ باشد داریم:

$$\begin{aligned} EV_b &= 0.2(7199360) + 0.8(3279722) \\ &= 17239872 + 2623795 \\ &= 4063667 \end{aligned}$$

حال شق ب را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. اگر با ظرفیت ۲۰۰۰ واحدی شروع کنیم تا يك سال هفته‌ای ۱۶۰۰۰ ریال سود خواهیم برد بنابراین ارزش فعلی این سود برابر خواهد بود با:

$$\text{ارزش فعلی ایجاد ظرفیت} = 16000(52) \left(\frac{1 - (1.25)^{-1}}{0.25} \right) = 6656000$$

۲۰۰۰ واحدی (برای يك سال)

پس از يك سال تقاضا ممکن است کم و یا زیاد باشد که ارزش مورد انتظار آن پس از يك سال در بالا محاسبه شده که برابر ۴۰۶۳۶۶۷ می‌باشد. بنابراین ارزش مورد انتظار شق ب برابر است با حاصل جمع ارزش فعلی سود يك ساله (۶۶۵۶۰۰۰ ریال) و ارزش فعلی آنچه پس از يك سال به وقوع خواهد پیوست (ارزش فعلی نقطه b) منهای سرمایه‌گذاری شق ب. از آنجا که نقطه b يك سال بعد به وقوع خواهد پیوست، ارزش فعلی آن برابر خواهد بود با:

$$۲۰۶۳۶۶۷ \left(\frac{1 - (۱.۰۲۵)^{-۱}}{۰.۰۲۵} \right) = ۳۲۵۰۹۳۳$$

$$EV_{\text{ب}} = ۶۶۵۶۰۰ + ۳۲۵۰۹۳۳ - ۸۰۰۰۰۰ = ۳۱۱۶۵۳۳$$

به همین صورت ارزش مورد انتظار شقوق الف و ج را می‌توان به طریق بالا محاسبه کرد.

$$\begin{aligned} EV_{\text{الف}} &= ۰.۲ \left[(۴۰۰۰۰)(۵۲) \left(\frac{1 - (۱.۰۲۵)^{-۲۰}}{۰.۰۲۵} \right) \right] \\ &\quad + ۰.۸ \left[(۱۶۰۰۰)(۵۲) \left(\frac{1 - (۱.۰۲۵)^{-۲۰}}{۰.۰۲۵} \right) \right] - ۱۵۰۰۰۰۰ \\ &= ۰.۲(۸۲۲۴۰۷۶) + ۰.۸(۳۲۸۹۶۳۰) - ۱۵۰۰۰۰۰ \\ &= ۲۷۷۶۵۱۹ \end{aligned}$$

$$EV_{\text{ج}} = ۰$$

با مقایسه ارزش مورد انتظار شقوق الف، ب و ج پیشنهاد می‌شود که شرکت کاوه بهتر است با ظرفیت کم (۲۰۰۰ واحد) کار خود را شروع کند (زیرا ارزش مورد انتظار شق ب بیشتر از شقوق الف و ج می‌باشد) و اگر پس از یک سال تقاضا زیاد بود، ظرفیت خود را به ۵۰۰۰ واحد افزایش دهد در غیر این صورت با همان ظرفیت کم کار خود را ادامه دهد.

مدل نقطه سر به سر

مدل نقطه سر به سر يك مدل ترسیمی و ریاضی است که بسیار ساده می‌باشد و در تصمیم‌گیریها مورد استفاده فراوان دارد. نقطه سر به سر مدلی است که رابطه بین میزان و حجم تولید، و هزینه و درآمد ناشی از آن را در سازمان نشان می‌دهد. رابطه مذکور هم به صورت ریاضی و هم به صورت ترسیمی قابل بیان است.

در مدل نقطه سر به سر با سه متغیر کلی به نامهای میزان تولید، درآمد و هزینه روبرو هستیم که هزینه خود به دو نوع متغیر و ثابت تقسیم می‌شود. هزینه ثابت شامل هزینه‌هایی است که بدون توجه به میزان تولید همواره وجود دارند و تقریباً ثابت می‌باشند، به عبارت

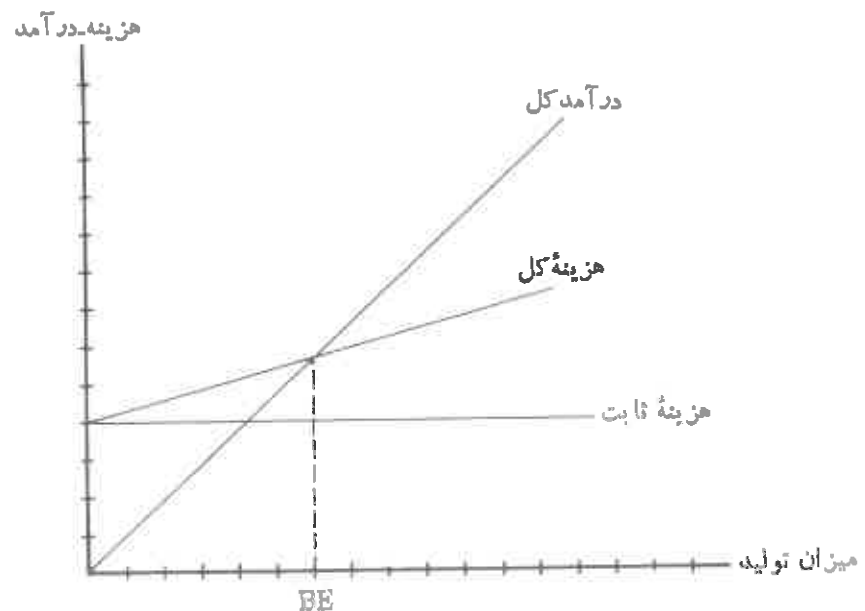
1. Breakeven Point Model

دیگر این نوع هزینه رابطه‌ای با میزان تولید ندارد. از انواع این هزینه‌ها می‌توان به هزینه‌های اداری، تهویه، اجاره و امثال آنها اشاره کرد که اگر ما تولید داشته باشیم یا تولید نداشته باشیم باید آنها را تحمل کنیم.

هزینه متغیر، به هزینه‌هایی اطلاق می‌شود که مستقیماً تحت تأثیر میزان تولید است و به تبع آن تغییر می‌یابد.

تولید بیشتر هزینه متغیر را افزایش می‌دهد و کاهش تولید باعث کم شدن هزینه مذکور می‌شود. هزینه‌های متغیر مانند هزینه مربوط به مواد خام یا نیم ساخته برای تولید و نیروی کار تولیدی است.

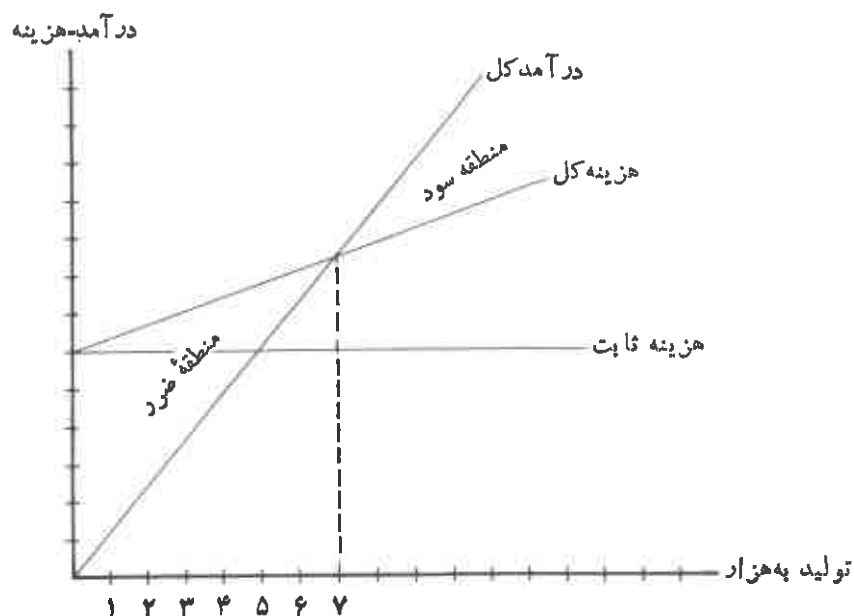
مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر را هزینه کل می‌نامند و میزان سوددهی يك کالا در رابطه با هزینه کل آن می‌باشد. مدل نقطه سر به سر به ما امکان می‌دهد تا دریابیم در چه نقطه‌ای از تولید درآمد و هزینه‌ها برابر می‌باشند و نتیجتاً در چه میزان از تولید مؤسسه سود می‌دهد و در چه میزان ضرر می‌کند. به کمک نمودار و تجزیه و تحلیل‌های ریاضی نقطه سر به سر، مدیر می‌تواند نسبت به تولید کالاهای مختلف و یا میزان تولید يك کالای خاص تصمیم بگیرد.



نمودار شماره ۸-۱

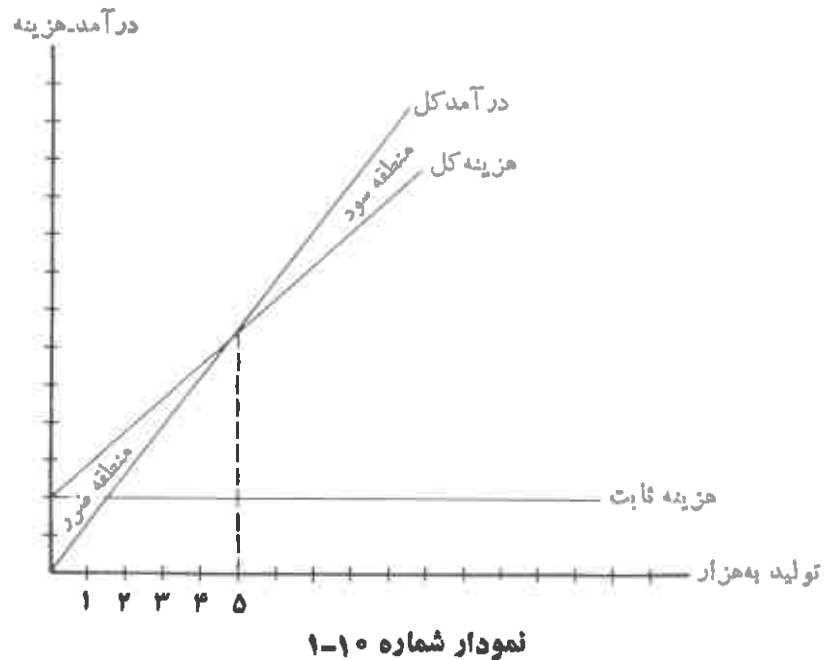
نمودار نقطه سر به سر

برای ترسیم نمودار نقطه سر به سر، میزان تولید را در روی محور افقی و هزینه و درآمد را در روی محور عمودی نشان می‌دهند. همان‌طور که در نمودار شماره ۸-۱ مشاهده می‌شود درآمد با فروش اولین واحد تولید شروع می‌شود و هرچه تولید بیشتر شود درآمد نیز افزایش می‌یابد. در مورد هزینه‌ها، هزینه ثابت برای تمامی تولید ثابت است و هزینه متغیر با افزایش تولید زیاد می‌شود. بدین ترتیب در نمودار می‌توان خط هزینه کل و خط درآمد کل را ترسیم کرد. محل تقاطع این دو خط، نقطه‌ای است که در آن درآمد، هزینه‌ها را می‌پوشاند و پس از آن تولید سودبخش می‌گردد. نقطه BE نقطه سر به سر است و تصمیم‌گیرنده را متوجه می‌کند که از این میزان به بعد تولید کالای مورد نظر سود دهی دارد. در پاره‌ای موارد تولید کالا نیاز به هزینه‌های ثابت زیادی دارد ولی هزینه متغیر آن پایین است، این تولیدات در حد بالایی به سود دهی می‌رسند. اما وقتی به حد مذکور رسیدند سوددهی آنها سریع افزایش پیدا می‌کند. درحالی‌که تولیداتی هستند که هزینه ثابت پایینی دارند اما هزینه متغیر آنها بالاست. این گونه تولیدات اگرچه در حد پایین‌تری به سود دهی می‌رسند اما سرعت افزایش سوددهی آنها زیاد نیست. دو نمودار ۹-۱ و ۱۰-۱ نشان‌دهنده



نمودار شماره ۹-۱

نمودار سر به سر برای تولید کالایی که هزینه ثابت آن بالا و هزینه متغیر آن پایین است.



نمودار سربسر برای تولید کالایی که هزینه ثابت آن پایین و هزینه متغیر آن بالاست.

این دو نوع کالا است، نمودار ۱-۹ که هزینه ثابت بالاتر و هزینه متغیر پایینتری دارد اگرچه دیرتر به سوددهی می‌رسد (در ۷۰۰۰ واحد تولید) اما منطقه سود آن وسیعتر است و سرعت افزایش سوددهی آن بیشتر می‌باشد. اما نمودار ۱-۱۰ درست عکس این مورد می‌باشد و اگرچه زودتر به سوددهی می‌رسد (در ۵۰۰۰ واحد تولید) اما منطقه سود آن محدودتر و سرعت افزایش سوددهی آن کمتر است.

بدین ترتیب در تصمیم‌گیری به کمک روش نقطه سربسر باید ضمن توجه به عوامل مختلف از قبیل هزینه و سود، روابط و آثار آنها را بر یکدیگر مد نظر داشت و در رابطه با هدف سازمان و برنامه‌های آتی آن انتخاب اصلح را انجام داد.

تجزیه و تحلیل ریاضی نقطه سربسر

اگر V هزینه متغیر یک واحد کالا و F هزینه ثابت و Q مقدار تولید باشد آنگاه هزینه کل (TC) برابر است با:

$$TC = F + V \cdot Q \quad (1-1)$$

با استفاده از رابطه (۱-۱) می‌توان هزینه متغیر يك واحد کالا را بر حسب هزینه کل، هزینه ثابت و مقدار تولید به دست آورد.

$$v = \frac{TC - F}{Q} \quad (1-2)$$

مثال.

هزینه کل تولید ۱۰۰۰ عدد از محصولی را که هزینه ثابت آن ۲۰۰۰ ریال و هزینه متغیر هر واحد آن ۶۰ ریال باشد محاسبه کنید.

$$TC = F + v \cdot Q$$

$$TC = 2000 + (60)(1000)$$

$$TC = 62000$$

v را ضریب زاویه هزینه کل نیز می‌نامند زیرا اگر از رابطه (۱-۱) نسبت به Q (مقدار تولید) مشتق بگیریم داریم:

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = v \quad (1-3)$$

از طرفی چون فرض کرده‌ایم که رابطه هزینه کل، يك رابطه خطی است بنابراین مشتق در هر نقطه با تفاوت مختصات دو نقطه برابر است یعنی:

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = \frac{\Delta TC}{\Delta Q} \quad (1-4)$$

از رابطه (۱-۳) و (۱-۴) نتیجه می‌شود:

$$v = \frac{\Delta TC}{\Delta Q}$$

اما چون $\frac{\Delta TC}{\Delta Q} = \frac{TC_2 - TC_1}{Q_2 - Q_1}$ می‌باشد بنا براین:

$$v = \frac{TC_2 - TC_1}{Q_2 - Q_1} \quad (1-5)$$

از رابطه (۱-۵) در مواردی که هزینه ثابت و متغیر کاملاً مشخص نیست ولی هزینه کل در دو سطح تولید معین باشد استفاده شود. به مثال زیر توجه کنید.

مثال:

هزینه تولید ۴۰۰۰ عدد از یک محصول برابر ۹۰۰۰۰ ریال و هزینه تولید ۸۵۰۰ عدد از همان محصول برابر ۱۲۶۰۰۰ ریال می باشد. مطلوبست محاسبه هزینه ثابت و هزینه متغیر این محصول.

$$v = \frac{TC_2 - TC_1}{Q_2 - Q_1}$$

$$v = \frac{126000 - 90000}{8500 - 4000} = \frac{36000}{4500} = 8$$

$$TC = F + v \cdot Q$$

$$TC = 90000, \quad v = 8, \quad Q = 4000$$

$$F = 90000 - 8(4000) = 58000$$

رابطه ریاضی نقطه سر به سر با درآمد و هزینه

همان طور که قبلاً گفته شد در نقطه سر به سر، درآمد و هزینه کل سازمان با هم برابر هستند بنابراین

$$TR = TC$$

که در این رابطه TR درآمد کل سازمان و TC هزینه کل سازمان می باشد. چنانچه قیمت واحد کالا ثابت باشد میزان درآمد حاصل از فروش نسبت مستقیم با مقدار تولید شده خواهد داشت بنابراین می توان رابطه بین درآمد و مقدار تولید را به صورت زیر نشان داد.

$$TR = r \cdot Q \quad (1-6)$$

که در رابطه فوق قیمت واحد کالا $r \cdot v$ و مقدار کالا Q می باشد از طرفی $TC = F + v \cdot Q$ می باشد بنابراین $r \cdot Q = F + v \cdot Q$ پس میزان تولید در نقطه سر به سر برابر است با

$$Q_b = \frac{F}{r - v} \quad (1-7)$$

مثال

هزینه ثابت کالایی برابر ۵۰۰۰ ریال و قیمت فروش يك واحد آن ۲۰ ریال و هزینه متغیر يك واحد آن ۱۰ ریال می‌باشد. میزان تولید در نقطه سر به سر برابر است با:

$$Q_b = \frac{F}{r-v} = \frac{5000}{20-10} = 500 \text{ عدد}$$

در بعضی مواقع قیمت و هزینه متغیر يك واحد کالا کاملاً مشخص نیست لکن اطلاعات تولیدی در مورد فروش، هزینه ثابت و هزینه متغیر کل در دست می‌باشد. برای به دست آوردن فروش در نقطه سر به سر از تعریف نقطه سر به سر استفاده کرده، داریم:

$$TR_b = TC_b$$

$$TR_b = F + v \cdot Q_b$$

مقدار vQ را در TR_b ضرب و بر آن تقسیم می‌کنیم. بنابراین:

$$TR_b = F + \frac{v \cdot Q_b}{TR_b} \cdot TR_b$$

از TR_b فاکتور می‌گیریم

$$TR_b \left(1 - \frac{v \cdot Q_b}{TR_b} \right) = F$$

$$TR_b = \frac{F}{1 - \frac{v \cdot Q}{TR_b}} \quad (1-8)$$

اما نسبت $\frac{vQ}{TR_b}$ يك نسبت ثابت می‌باشد زیرا

$$\frac{v \cdot Q_b}{TR_b} = \frac{v \cdot Q_b}{r \cdot Q_b} = \frac{v}{r} \quad (1-9)$$

چون v (هزینه متغیر يك واحد تولید) عددی ثابت است و r (قیمت واحد کالا) نیز عددی ثابت می‌باشد. نسبت آنها نیز ثابت خواهد بود. به عبارت دیگر اگر صورت و مخرج نسبت را در هر مقداری از سطح تولید مانند (Q) ضرب کنیم در نسبت تغییری حاصل نمی‌شود و داریم:

$$\frac{v}{r} \cdot \frac{Q}{Q} = \frac{v \cdot Q}{rQ} = \frac{\text{هزینه متغیر کل}}{\text{فروش کل}} \quad (۱-۱۰)$$

از روابط (۱-۹) و (۱-۱۰) نتیجه می‌شود

$$\frac{v \cdot Q_b}{TR_b} = \frac{vQ}{TR} \quad (۱-۱۱)$$

بنابراین با توجه به رابطه (۱-۸) فروش در نقطه سر به سر برابر است با:

$$TR_b = \frac{F}{1 - \frac{vQ}{TR}}$$

و یا

$$TR_b = \frac{F}{1 - \frac{VC}{P}} \quad (۱-۱۲)$$

مثال:

اطلاعات تولیدی یک سازمان نشان می‌دهد که در مقابل ۱۰۰۰۰۰۰۰ ریال فروش، هزینه‌های ثابت ۵۰۰۰۰۰۰ ریال و کل هزینه‌های متغیر ۶۰۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. این سازمان چقدر باید بفروشد تا به نقطه سر به سر برسد؟
با استفاده از رابطه ۱۲ چون اطلاعات تولیدی را در یک سطح از تولید داریم، بنابراین:

$$TR_b = \frac{۵۰۰۰۰۰}{1 - \frac{۶۰۰۰۰۰}{۱۰۰۰۰۰۰}} = ۱۲۵۰۰۰۰ \text{ ریال}$$

نقطه سر به سر برای چند محصول

مخرج رابطه ۱۲ نشانگر درصد تأثیر یک ریال فروش در جبران هزینه کل می‌باشد به عبارت دیگر $1 - \frac{VC}{P}$ نشان می‌دهد که چه مقدار از هر ریال فروش مؤسسه برای جبران

هزینه کل (تا نقطه سر به سر) صرف می‌شود برای محاسبه درصد تأثیر يك ريال فروش در مؤسسه‌ای که چند محصول متفاوت تولید می‌کنند، باید حاصل ضرب درصد تأثیر يك ريال فروش هر محصول را در نسبت فروش آن محصول به کل فروش مؤسسه به دست آورد. به عبارت دیگر درصد تأثیر وزنی يك ريال فروش باید محاسبه شود. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

سازمانی سه نوع راکت ورزشی شامل نوع A، نوع B و نوع C تولید می‌کند. هزینه ثابت این سازمان در سال ۲۰۰ میلیون ريال و ظرفیت تولیدی آن يك میلیارد ريال می‌باشد، جدول زیر سایر اطلاعات، در مورد هزینه و قیمت هر نوع راکت را نشان می‌دهد:

نوع راکت	قیمت فروش هر واحد	هزینه متغیر هر واحد	درصد فروش هر نوع راکت نسبت به کل فروش
A	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰
B	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۴۰
C	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۱۰

ابتدا $\left(1 - \frac{VC}{P}\right)$ را برای هر نوع راکت محاسبه می‌کنیم:

$$\text{نوع A} \quad 1 - \frac{3000}{4000} = 0.25$$

$$\text{نوع B} \quad 1 - \frac{1500}{2500} = 0.40$$

$$\text{نوع C} \quad 1 - \frac{1500}{2500} = 0.40$$

حال نسبت‌های به دست آمده را در درصد فروش هر نوع راکت نسبت به کل فروش ضرب و حاصل را با هم جمع می‌کنیم:

نوع راکت	$1 - \frac{VC}{P}$	درصد فروش	درصد تأثیر وزنی
A	0.25	0.50	0.125
B	0.40	0.40	0.16
C	0.40	0.10	0.04
			جمع 0.325

عدد ۳۲۵ ریال تأثیر يك ریال فروش مؤسسه در جبران هزینه کل می باشد به عبارت دیگر از هر يك ریال فروش مؤسسه تا نقطه سر به سر، ۳۲۵ ریال صرف جبران هزینه کل و بقیه آن (۶۷۵ ریال) بابت جبران هزینه متغیر خواهد بود. بنابراین نقطه سر به سر برابر است با:

$$\text{نقطه سر به سر} = \frac{F}{1 - \frac{VC}{P}}$$

$$\text{نقطه سر به سر} = \frac{200000000}{0.325} = 615385000$$

همچنین می توان میزان سود را در هر سطح فروش به دست آورد. مثلاً فرض کنید که سازمان مذکور در نظر دارد با ۷۰ درصد ظرفیت فعالیت کند در این صورت سود این سازمان برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{سود} &= \text{فروش} - (\text{هزینه ثابت} + \text{هزینه متغیر}) \\ &= 0.70(1000000000) - [200000000 + (1 - 0.325)(1000000000)] \\ &= 225000000 \end{aligned}$$

کاربرد نقطه سر به سر برای انتخاب سیستمهای تولیدی

روشهای تولیدی که مستلزم به کارگیری ماشین آلات دستی می باشند، معمولاً هزینه ثابت کمی دارند ولی هزینه متغیر هر واحد تولید شده به علت استفاده زیاد از نیروی کارگر بالا و سرعت تولید نیز کم است. اما در روشهای تولیدی که بر اساس تولید انبوه طراحی شده اند معمولاً از ماشین آلات پیچیده و اتوماتیک استفاده می شود و نیروی کاری به میزان کمتری در این سیستمها مورد نیاز است. هزینه ماشین آلات، در این سیستمها بالا و در نتیجه ثابت تولیدی نسبت به سیستمهای مشابه دستی بیشتر است. اما هزینه متغیر هر واحد تولید شده به علت استفاده کمتر از نیروی کارگر و همچنین به سبب صرفه جویی احتمالی در مواد و غیره پایینتر از سیستمهای مشابه دستی می باشند. در عمل، سیستمهای تولیدی مختلفی وجود دارند که هر کدام برای يك سطح از تولید مفید و مطلوب می باشند. انتخاب سیستم تولیدی مطلوب بستگی به حجم کالای مورد نظر برای تولید دارد. مدیر عملیاتی با استفاده از تجزیه

و تحلیل نقطه سربه‌سر، می‌تواند بهترین سیستم تولیدی را با توجه به شرایط موجود انتخاب کند. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

یک شرکت جدیداً لتاسیس تولیدی می‌تواند از سه نوع ماشین آلات برای تولید استفاده کند. نوع اول ماشین آلات تمام اتوماتیک است که دارای هزینه ثابت ۷۰۰۰۰ ریال در سال و هزینه متغیر ۲ ریال برای هر واحد محصول تولید شده می‌باشد. نوع دوم ماشین آلات نیمه اتوماتیک است که دارای هزینه ثابت ۲۰۰۰۰ ریال و هزینه متغیر ۱۰ ریال برای هر واحد محصول تولید شده می‌باشد. و بالاخره نوع سوم به کارگیری ماشین آلات دستی با هزینه ثابت ۱۰۰۰۰ ریال و هزینه متغیر هر واحد ۲۰ ریال می‌باشد. با توجه به اطلاعات فوق برای چه محدوده‌ای از تولید، ماشین آلات دستی، ماشین آلات نیمه اتوماتیک و بالاخره برای چه محدوده‌ای از تولید، ماشین آلات تمام اتوماتیک مطلوب است.

ابتدا معادلات هزینه برای هر سه نوع سیستم تولیدی را به دست می‌آوریم و آنها را ترمیم می‌کنیم. محل تلاقی خطوط هزینه کل سیستمها محدوده‌های تولید مطلوب را مشخص می‌کند.

اگر TC_1 هزینه کل سیستم اتوماتیک و TC_2 هزینه کل سیستم نیمه اتوماتیک و TC_3 هزینه کل سیستم دستی باشد، داریم:

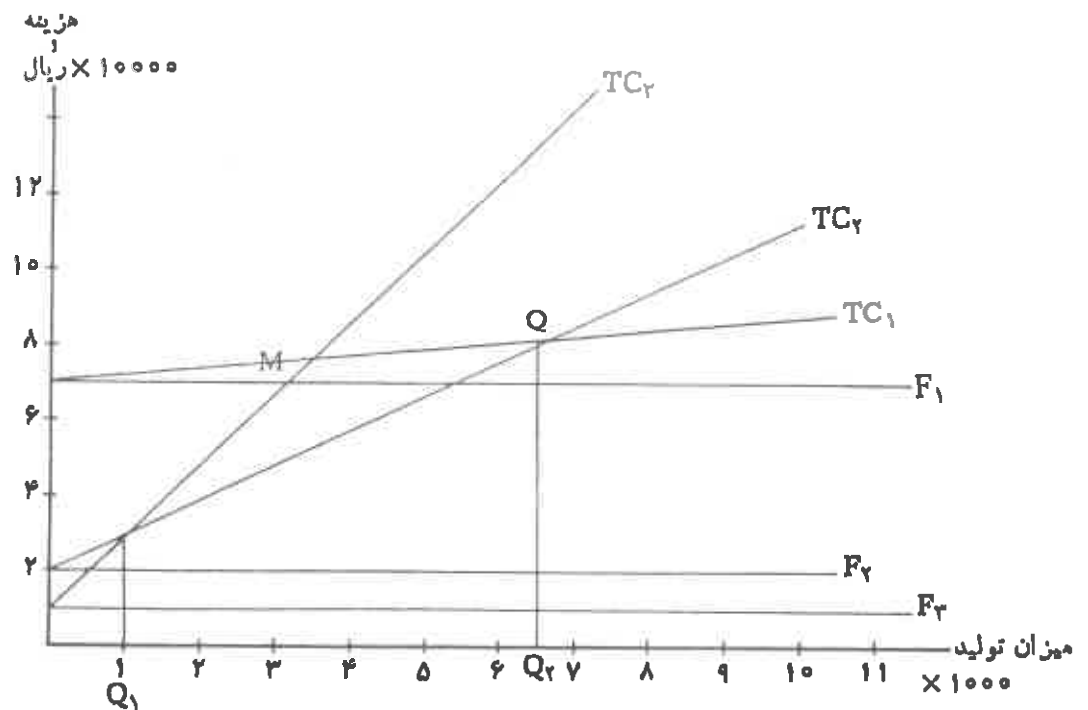
$$TC = F + VC \cdot Q$$

$$TC_1 = 70000 + 2Q$$

$$TC_2 = 20000 + 10Q$$

$$TC_3 = 10000 + 20Q$$

همان‌طور که در نمودار شماره ۱۱-۱ نشان داده شده است Q_1 محل تلاقی TC_3 و TC_2 و Q_2 محل تلاقی TC_1 و TC_2 می‌باشد. اگر میزان تولید مورد نیاز بین صفر و Q_1 باشد باید خط TC_3 که متعلق به ماشین آلات دستی است انتخاب شود زیرا این خط کمترین هزینه را نسبت به دو خط دیگر در بر دارد. اگر میزان تولید مورد نیاز بین Q_1 و Q_2 باشد باید خط TC_2 را برگزید که متعلق به ماشین آلات نیمه اتوماتیک می‌باشد. در اینجا نیز TC_2 دارای هزینه کمتری نسبت به دو خط دیگر می‌باشد. و به همین ترتیب برای تولید بیشتر از Q_2 باید منحنی TC_1 را انتخاب کرد که متعلق به ماشین آلات تمام اتوماتیک است. لازم به یاد آوری است که اگر میزان تولید مورد نیاز بین Q_1 و M (محل تلاقی TC_1 و TC_3) و یا بین M و Q_2 باشد در هر دو صورت خط TC_2 هزینه کمتری را در



نمودار شماره ۱۱-۱

نمودار هزینه سه نوع ماشین آلات

بردارد بنابراین نیازی به محاسبه نقطه M نیست.

برای محاسبه نقاط Q_1 و Q_2 به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

ابتدا معادله TC_2 را با معادله TC_1 برابر قرار می‌دهیم:

$$TC_2 = TC_1$$

$$۱۰۰۰۰ + ۲۰Q = ۲۰۰۰۰ + ۱۰Q$$

$$Q_1 = ۱۰۰۰$$

برای محاسبه Q_2 باید معادلات TC_2 و TC_1 را برابر قرار دهیم:

$$TC_1 = TC_2$$

$$۷۰۰۰۰ + ۲Q = ۲۰۰۰۰ + ۱۰Q$$

$$Q_2 = ۶۲۵۰$$

بنا بر این اگر تولید کمتر از ۱۰۰۰ عدد مورد نظر باشد از ماشین آلات دستی و اگر تولید بین ۱۰۰۰ و ۶۲۵۰ عدد باشد از ماشین آلات نیمه اتوماتیک و بالاخره اگر تولید بیشتر از ۶۲۵۰ باشد باید از ماشین آلات تمام اتوماتیک استفاده شود.

کاربرد نقطه سر به سر برای تصمیم‌گیری در مورد ساخت یا خرید قطعات

اغلب مؤسسات تولیدی کلیه قطعات مورد نیاز برای ساخت کالای خود را رأساً تولید نمی‌کنند بلکه بعضی از آنها را از سایر مؤسسات تولیدی تأمین می‌کنند. تصمیم‌گیری در مورد اینکه قطعه‌ای به وسیله خود مؤسسه تولید گردد یا آنکه از مؤسسات دیگر خریداری شود واجد اهمیت فراوان است و مدیر عملیاتی با استفاده از نقطه سر به سر و تجزیه و تحلیل هزینه نهایی^۱ می‌تواند این مهم را به انجام رساند. هزینه‌های نهایی هزینه‌هایی است که در ارتباط مستقیم با تصمیمات مختلف در زمینه ساخت یا خرید قطعات به وجود می‌آیند. این هزینه‌ها را هزینه‌های مرحله‌ای نیز می‌نامند. تصمیم‌گیری در این زمینه در سازمانهای مختلف باید با توجه به شرایط خاص آنان صورت گیرد. به فرض اگر بخواهیم امکان ساخت قطعه‌ای را که در حال حاضر از سایر سازمانها خریداری می‌شود بررسی کنیم باید ابتدا امکانات ظرفیت ساخت آن قطعه را در سازمان مطالعه کنیم. اگر ظرفیت ساخت قطعه در سازمان وجود داشته باشد، هزینه نهایی که برای ساخت قطعه، سازمان متحمل می‌شود مشتمل است بر هزینه‌های مستقیم کارگری و مواد اولیه به اضافه هزینه‌های دیگری که بر اثر ساخت قطعه به وجود می‌آیند، (مانند هزینه اضافی انرژی). زیرا هزینه‌های ابزار، ماشین‌آلات، ساختمان، سرپرستی و مدیریت قبلاً در سازمان وجود داشته و این گونه هزینه‌ها با ساخت قطعه تغییری پیدا نمی‌کنند. بنا بر این سیستم قیمت تمام شده (هزینه متوسط) که معمولاً به وسیله قسمت حسابداری محاسبه می‌شود نمی‌تواند در تصمیم‌گیریهای مربوط به ساخت یا خرید قطعات مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی اگر سازمان با حداکثر ظرفیت خود فعالیت کند ظرفیت اضافی برای ساخت قطعه در سازمان وجود نداشته باشد، هزینه نهایی باید شامل هزینه ایجاد ظرفیت مورد نیاز نیز باشد. همچنین اگر بخواهیم امکان خرید قطعه‌ای که در حال حاضر در سازمان ساخته می‌شود بررسی کنیم، قیمت تمام شده ساخت قطعه نباید مبنای تصمیم‌گیری قرار گیرد زیرا هزینه ساختمان، سرپرستی، مدیریت و غیره به احتمال قوی در صورت عدم تولید نیز وجود خواهد داشت. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

1. Incremental cost (Marginal cost)

مثال:

يك واحد صنعتی که محصولات مختلف را بر اساس سفارشات مشتری آبکاری می‌کند، سه نفر کارگر فنی در استخدام دارد. این سازمان ترجیح می‌دهد از کارگر به صورت موقت استفاده نکند؛ زیرا میزان کارگاه در طول سال نوسانهای زیادی داشته و در صورت استفاده از نیروی کاری موقت، هزینه‌های زیادی بابت استخدام، اخراج، آموزش به‌پسار می‌آید. یکی از کارگران سرپرست است و ماهانه ۱۰۰۰۰۰ ریال حقوق می‌گیرد. دو نفر دیگر کارگر معمولی هستند که حقوق هر کدامشان ماهانه ۵۰۰۰۰ ریال می‌باشد. در وضع کنونی نیاز به استخدام کارگر تمام وقت دیگری (کارگر چهارم) نیست مگر آنکه سفارشات به میزان قابل توجهی افزایش یابد. اکنون واحد مذکور سفارشی دریافت کرده و آن را تحت بررسی قرار داده است. این سفارش مربوط به قطعات مختلفی است که همگی باید آبکاری شوند. یکی از قطعات، احتیاج به ماشین به خصوصی برای آبکاری دارد که در حال حاضر سازمان فاقد آنست. سازمان می‌تواند آبکاری این قطعه را به بیرون سفارش دهد و یا با خرید آن ماشین، خود قطعه را آبکاری کند. هزینه‌های مربوط به آبکاری این قطعه در زیر آمده است:

هزینه آبکاری هر قطعه توسط پیمانکار	۵۰ ریال
میزان سفارش	۱۰۰۰۰۰ عدد؛
بر آورد مدت زمانی که سرپرست صرف هر قطعه می‌کند	۴ ساعت ۵۰
بر آورد مدت زمانی که هر کارگر صرف هر قطعه می‌کند	۷ ساعت ۵۰
مقدار انرژی مصرفی توسط ماشین برای هر قطعه	۵ ریال؛
مواد اولیه مصرفی برای هر واحد	۱۰ ریال؛
سایر هزینه‌های عمومی	۳۰ درصد هزینه کارگر؛

يك اطاق اضافی در محوطه کارخانه وجود دارد که می‌توان ماشین جدید را در آن نصب کرد. هزینه نصب و استهلاک ماشین برای سال آینده ۱۷۵۰۰۰ ریال می‌باشد. با توجه به اطلاعات فوق می‌خواهیم بدانیم آیا واحد مذکور، قطعه مورد نظر را در داخل کارخانه آبکاری کند یا آبکاری آن را به مؤسسه دیگری سفارش دهد؟ همچنین درجه ظرفیتی آبکاری قطعه در داخل سازمان و درجه ظرفیتی توسط پیمانکار مقرون به صرفه است؟

طبق مفروضات مثال فوق هزینه نیروی انسانی (کارگر و سرپرست) ثابت است و باید آن را در تصمیم‌گیری نسبت به آبکاری قطعه در سازمان یا سفارش آن به مؤسسه دیگر، در نظر نگرفت زیرا اگر آبکاری قطعه جدید در سازمان انجام نگیرد هزینه‌های کارگری و سرپرستی تغییر نمی‌کند. پاره‌ای از هزینه‌های عمومی نیز مانند اجاره بها به علت ثابت بودن

نباید در تصمیم‌گیری ما دخالت داده شوند. تنها بخشی از هزینه‌های عمومی شامل هزینه اجاره و استهلاک ماشین جدید - هزینه انرژی مصرفی ماشین - و هزینه‌های مستقیم وابسته به انجام این کار جزء هزینه‌های مربوط به آبرکاری قطعه در سازمان به حساب می‌آیند. بنابراین می‌توان هزینه انجام کار توسط پیمانکار را با هزینه نهایی انجام کار در داخل سازمان مقایسه کرد.

$$\text{هزینه انجام کار توسط پیمانکار} = 50 \times 10000 = 500000$$

$$\text{هزینه انجام کار در داخل سازمان} = 175000 + (10 + 5)(10000) = 325000$$

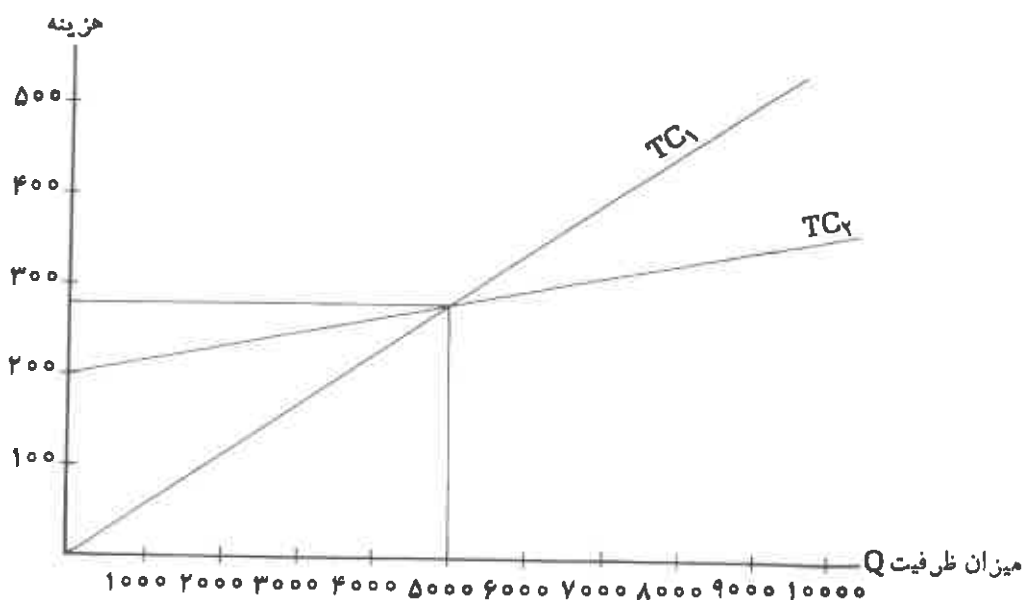
بنابراین از لحاظ اقتصادی در صورت آبرکاری ۱۰۰۰۰ قطعه انجام کار در داخل سازمان با صرفه‌تر می‌باشد.

حال اگر بخواهیم دریابیم که به چه میزانی آبرکاری قطعه در داخل سازمان و در چه حدی آبرکاری به وسیله پیمانکار مقرون به صرفه است باید نقطه سر به سر برای دو حالت را محاسبه کنیم.

$$TC_1 = 50Q \quad \text{معادله هزینه آبرکاری توسط پیمانکار}$$

$$TC_2 = 175000 + (10 + 5)Q \quad \text{معادله هزینه آبرکاری توسط خود سازمان}$$

در نقطه سر به سر هزینه $TC_1 = TC_2$ بنابراین



$$50Q = 175000 + 15Q$$

$$35Q = 175000$$

$$Q = 5000$$

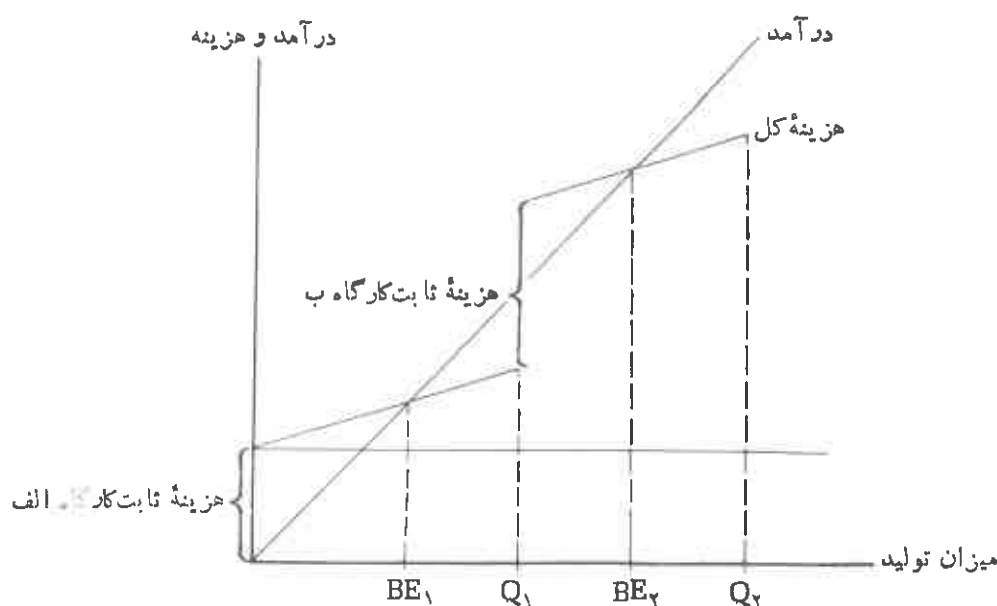
نمودار شماره ۱۲-۱ نشان‌دهنده نقطه سر به سر هزینه برای آبکاری قطعه در داخل سازمان یا به وسیله پیمانکار می‌باشد.

با توجه به نمودار ۱۲-۱ اگر سفارش انجام کار کمتر از ۵۰۰۰ عدد باشد بهتر است از پیمانکار استفاده شود و در صورتی که میزان سفارش بیشتر از ۵۰۰۰ عدد باشد آبکاری در داخل سازمان به صرفه نزدیکتر است.

مدل نقطه سر به سر با درآمدها و هزینه‌های متفاوت

هدف اصلی از تجزیه و تحلیل نقطه سر به سر مشخص کردن این مسأله است که هزینه‌ها و درآمدهای سازمان چگونه با تغییر میزان تولید تغییر می‌کنند. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل می‌تواند مدیر را در تصمیم‌گیری نسبت به هدفهای تولیدی در سازمان یاری دهد. در قسمت گذشته خطوط درآمد و هزینه با شیب ثابت^۱ در نظر گرفته شده بودند و نتیجه‌گیریها بر این فرض استوار بودند که روند افزایش و کاهش ثابت می‌باشد، اما گاهی اوقات درآمد و هزینه در مورد کالایی دستخوش تغییر می‌شود و شیب آن تغییر می‌کند. در چنین حالتی نمودار نقطه سر به سر نشان‌دهنده این شیب متغیر است و تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیریها با توجه به این تغییرات انجام می‌پذیرند. به عنوان مثال مؤسسه‌ای را در نظر بگیرید که دارای دو کارگاه الف و ب می‌باشد که از سال آینده می‌توانند آغاز به کار کنند. کارگاه الف وقتی تولید را شروع کند از نقطه BE_1 (نمودار ۱۳-۱) سود دهی آغاز می‌شود و این سود دهی تا تولید Q_1 افزایش می‌یابد و در آنجا به علت تکمیل بودن ظرفیت تولید کارگاه الف، سود دهی متوقف می‌شود. اگر سود بیشتری مورد نظر باشد باید تولید بیشتر شود و این امر مستلزم گشایش کارگاه ب می‌باشد که خود مستلزم هزینه‌های ثابتی است. در چنین حالتی کل عملیات (کارگاه الف و ب) سودبخش نخواهد بود تا آنکه به میزان BE_2 از تولید برسیم و پس از این نقطه تولید به سود دهی می‌رسد و این سود دهی تا نقطه Q_2 ادامه دارد. در نقطه مذکور به علت تکمیل شدن ظرفیت تولید سود دهی متوقف می‌شود و در صورتی که بخواهیم سود دهی ادامه یابد می‌توانیم فرضاً با دونوبته کردن کار، تولید را افزایش دهیم که این امر خود باعث تغییر شیب خط هزینه می‌شود و نقطه سر به سر جدیدی را به وجود می‌آورد.

1. Constant Slope



نمودار ۱-۱۳

نمودار نقطه سربه‌سر در حالتی که شیب هزینه کل متغیر است

اگر P_1 و F_2 به ترتیب سود حاصل از فعالیتهای سازمان در نوبت اول و هزینه ثابت در نوبت دوم باشند سه حالت ممکن است اتفاق افتد:

۱- سود حاصل از فعالیتهای سازمان در نوبت اول کمتر از هزینه ثابت در نوبت دوم شود.

$$P_1 < F_2$$

۲- سود حاصل از فعالیتهای سازمان در نوبت اول برابر هزینه ثابت در نوبت دوم شود.

$$P_1 = F_2$$

۳- سود حاصل از فعالیتهای سازمان در نوبت اول بیشتر از هزینه ثابت در نوبت دوم شود.

$$P_1 > F_2$$

در حالت اول اگر سازمان نوبت دوم را دایر کند سود حاصل از نوبت اول نمی‌تواند تمامی هزینه ثابت نوبت دوم را پوشاند بنابراین برای رسیدن به نقطه سربه‌سر، سازمان باید در نوبت دوم فعالیت کند به عبارت دیگر نقطه سربه‌سر با نوبت دوم، در نوبت دوم به وقوع خواهد پیوست. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

در يك شرکت تولیدی هزینه متغیر تولید کالایی برای نوبت اول ۱۱۰۰۰ ریال و

هزینه ثابت آن ۲۵۰۰۰۰۰۰ ریال است. ظرفیت نوبت اول ۳۰۰۰۰ عدد و قیمت فروش هر واحد ۲۰۰۰ ریال است. شرکت مذکور می تواند با دو نوبته کردن کار ظرفیت خود را به دو برابر افزایش دهد و اگر چنین کند هزینه های ثابت شرکت ۸۰۰۰۰۰۰ ریال افزایش می یابد و هزینه متغیر برای تولید در نوبت دوم ۱۲۰۰ ریال خواهد بود. حال با استفاده از نمودار نقطه سر به سر موقعیتهای تولیدی این شرکت را در نوبت اول و دوم ارزیابی کنید. هزینه کل در نوبت اول برابر است با:

$$TC_1 = 25000000 + 1100Q$$

بنابراین نقطه سر به سر در این نوبت بدون استفاده از تولید نوبت دوم عبارت است از:

$$rQ = 25000000 + 1100Q$$

$$2000Q = 25000000 + 1100Q$$

$$Q = 27777$$

سود حاصل از فعالیت سازمان در نوبت اول (P_1) با ظرفیت ۳۰۰۰۰ عدد برابر است با:

$$P_1 = TR_1 - TC_1$$

$$P_1 = (2000 \times 30000) - (25000000 + 1100 \times 30000) \\ = 2000000$$

از آنجایی که $P_1 < F_2$ می باشد نقطه سر به سر با نوبت دوم، در نوبت دوم به وقوع خواهد پیوست. در این صورت هزینه کل با نوبت دوم برابر است با هزینه کل تولید ۳۰۰۰۰ عدد در نوبت اول به اضافه هزینه های متعلقه در نوبت دوم. اگر ظرفیت تولید در نوبت اول را به V_1 و میزان تولید در نوبت دوم تا نقطه سر به سر را به Q_2^* نشان دهیم معادله هزینه کل عبارت است از:

$$TC = TC_1 + TC_2$$

$$TC = (F_1 + VC_1 \cdot Q_1) + (F_2 + VC_2 \cdot Q_2)$$

اگر کل تولید تا نقطه سر به سر را به Q_2^* نشان دهیم داریم:

$$Q_2 = Q_2^* - 30000$$

بنابراین:

$$TC = (25000000 + 1100 \times 30000) + [(8000000 + 1200(Q_2^* - 30000))]$$

$$TC = 30000000 + 1200Q^*$$

برای تعیین نقطه سر به سر در نوبت دوم هزینه کل در نوبت دوم را با کل درآمد برابر قرار می‌دهیم:

$$TR = TC$$

$$rQ^* = 30000000 + 1200Q^*$$

$$2000Q^* = 30000000 + 1200Q^*$$

$$Q^* = 37500$$

حال اگر ظرفیت تولیدی را با استفاده از نوبت دوم به دو برابر افزایش دهیم سود در این حالت عبارت است از:

$$P = TR - TC$$

$$P = (2000 \times 60000) - (25000000 + 1100 \times 30000)$$

$$+ (8000000 + 1200 \times 30000)$$

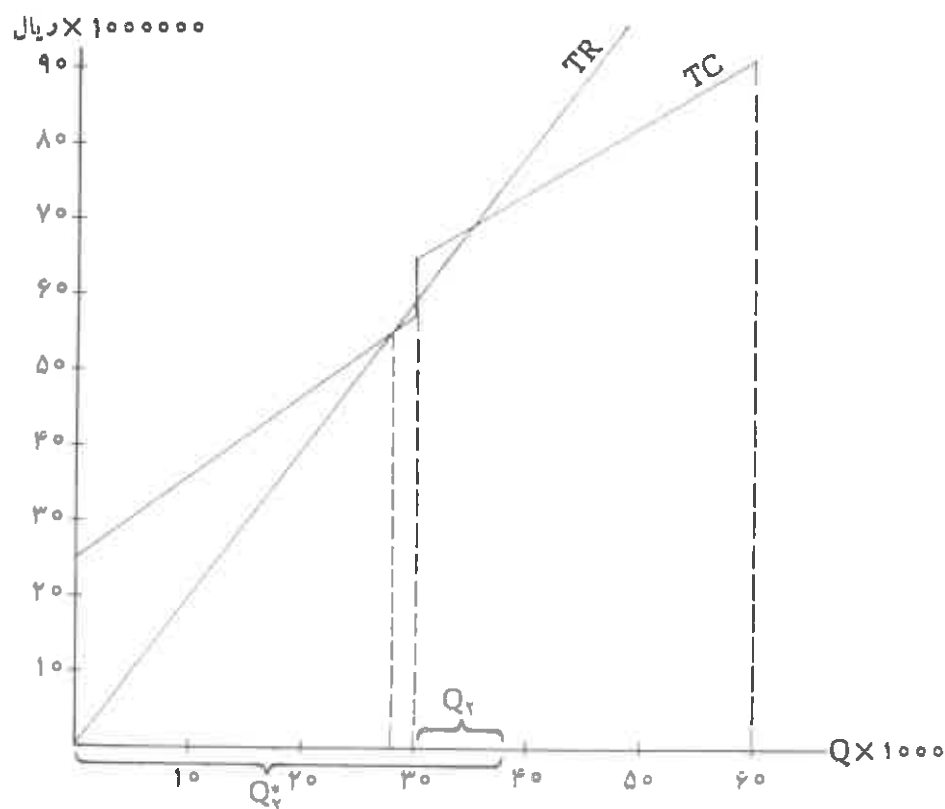
$$P = 18000000$$

با توجه به سودهای حاصله در این دو حالت نتیجه می‌گیریم که اگرچه با تولید نوبت اول زودتر به نقطه سر به سر می‌رسیم اما با دو برابر کردن ظرفیت تولیدی بسا استفاده از نوبت دوم سود، به میزان قابل ملاحظه‌ای تا ۹ برابر افزایش یافته است.

شمای ترسیمی نقطه سر به سر در این دو حالت در نمودار شماره ۱۲-۱ نشان داده شده است.

در حالت دوم یعنی زمانی که سود نوبت اول برابر هزینه ثابت در نوبت دوم باشد ($P_1 = F_2$) نقطه سر به سر با نوبت دوم نقطه شروع فعالیت در نوبت دوم خواهد بود زیرا در نقطه شروع فعالیت نوبت دوم کلیه هزینه‌های ثابت به وسیله سود نوبت اول پوشانده شده است. در مثال پیش اگر هزینه ثابت در نوبت دوم از ۸ میلیون ریال به ۲ میلیون ریال کاهش یابد نقطه سر به سر با نوبت دوم، نقطه شروع فعالیت در نوبت دوم یعنی در ظرفیت ۳۰۰۰۰ عدد خواهد بود. شمای ترسیمی این حالت در نمودار شماره ۱۵-۱ نشان داده شده است.

در حالت سوم ($P_1 > F_2$)، سود در نوبت اول بیش از هزینه ثابت در نوبت دوم می‌باشد. به عبارت دیگر از محل سود حاصل از فعالیت‌های سازمان در نوبت اول ندرتها تمامی هزینه ثابت در نوبت دوم پوشانده خواهد شد بلکه در آخر مقداری هم سود برای



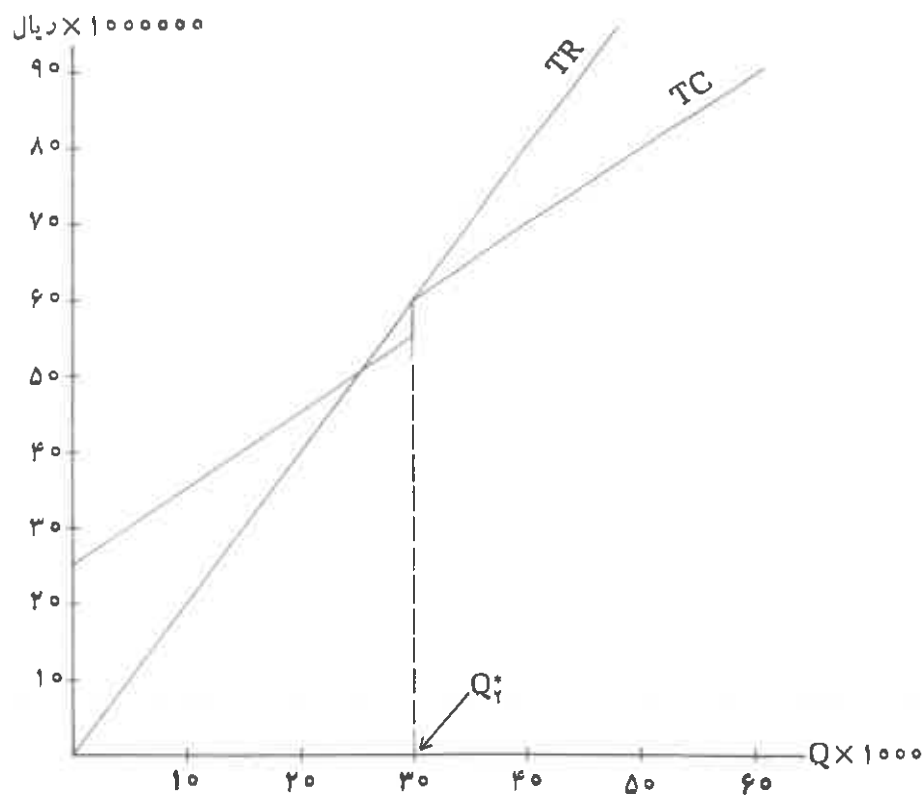
نمودار شماره ۱۴-۱

نمودار نقطه سر به سر در دو نوبت تولید

سازمان باقی خواهد گذاشت و از آنجایی که نقطه سر به سر جایی است که باید کل هزینه‌های ثابت سازمان پوشانده شده باشد، بنابراین در این حالت نقطه سر به سر با نوبت دوم در همان نوبت اول به وجود می‌آید. با توجه به مطالب فوق نقطه سر به سر با نوبت دوم برابر خواهد بود با:

$$Q_2^* = \frac{F_1 + F_2}{r - VC_1} \quad (۱-۱۳)$$

باید توجه داشت که در مخرج رابطه (۱-۱۳) هزینه متغیر نوبت دوم (VC_2) دخالتی ندارد زیرا نقطه سر به سر نوبت دوم در نوبت اول با روابط هزینه در آن نوبت به وجود

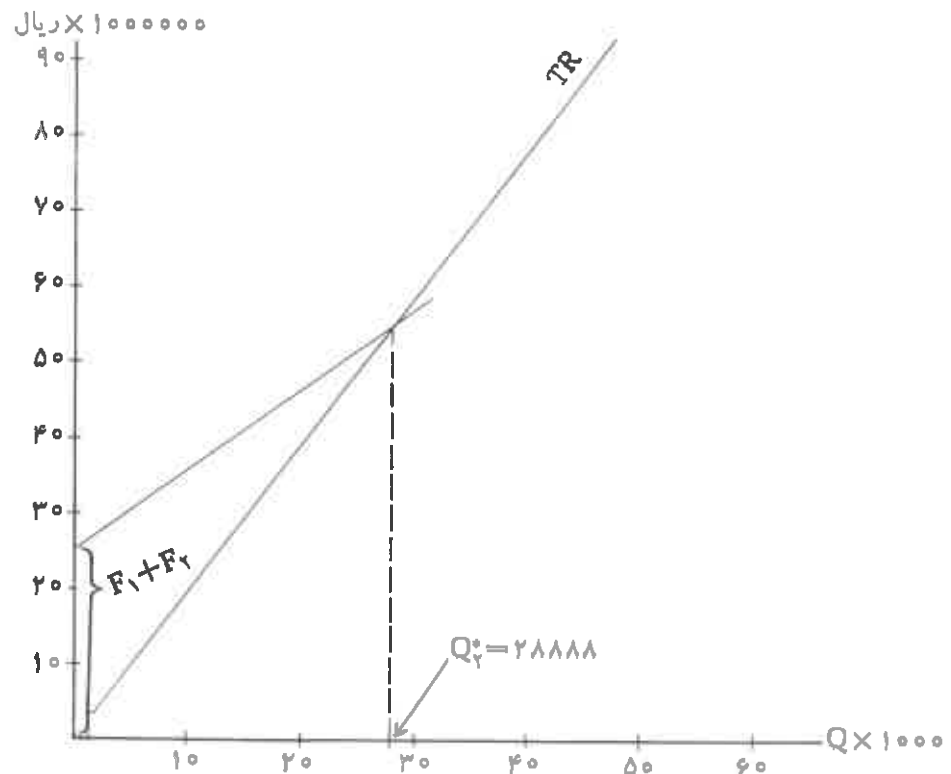


نمودار شماره ۱۵-۱
شمای ترسیمی حالت دوم

آمده‌است. در مثال قبل اگر هزینه ثابت نوبت دوم به يك ميليون ريال کاهش يابد، سود حاصل در نوبت اول بيش از هزینه ثابت نوبت دوم بوده و در اين صورت نقطه سر به سر با نوبت دوم برابر است با:

$$Q_2^* = \frac{25000000 + 1000000}{2000 - 1100} \approx 28888$$

شمای ترسیمی این حالت در نمودار شماره ۱۶-۱ نشان داده شده‌است.



نمودار شماره ۱۶-۱
شمای ترسیمی حالت سوم

تجزیه و تحلیل غیرخطی نقطه سر به سر^۱

در تحلیل‌های قبلی نقطه سر به سر فرض بر این بود که رابطه بین هزینه و درآمد خطی است اما در عمل معادلات هزینه و درآمد همواره به صورت خطی نمی باشد. به عنوان مثال ممکن است هزینه مواد اولیه به صورت خطی افزایش نیابد، بلکه با بالا رفتن میزان خرید و استفاده از تخفیف‌های کلی هزینه‌ها به صورت غیرخطی تغییر کنند. یا پرداخت اضافه کار به میزان بیش از حقوق مستمر نیز عامل دیگری است که هزینه‌ها را در عمل به صورت غیرخطی درمی آورد. همچنین مؤسسه ممکن است با افزایش میزان تولید قیمت محصولات

1. Non-linear breakeven analysis

خود را کاهش دهد و نتیجتاً معادله درآمد به صورت غیرخطی درآید. در حالت غیر خطی نیز مانند حالت خطی نقطه سربه‌سر محل تلاقی منحنیهای درآمد و هزینه می‌باشد. با این تفاوت که در حالت غیرخطی ممکن است بیش از یک نقطه سربه‌سر به دست آید. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

یک شرکت تولیدی معادله هزینه خود را براساس تجربیات گذشته به صورت زیر تنظیم کرده است:

$$TC = Q^2 - 10Q + 225$$

اگر بهای فروش هر واحد از کالای تولیدی این شرکت ثابت و برابر ۴۰ ریال باشد نقطه سربه‌سر برای محصول مذکور به چه میزانی است؟ همچنین حداکثر سود شرکت در چه میزان تولید به دست خواهد آمد؟
برای به دست آوردن نقطه سربه‌سر، معادلات هزینه و درآمد را برابر قرار می‌دهیم:

$$TC = TR$$

در مثال فوق معادله درآمد خطی برابر است با $TR = 40Q$ بنا براین:

$$Q^2 - 10Q + 225 = 40Q$$

$$Q_1 = 45 \quad Q_2 = 5$$

برای به دست آوردن حداکثر سود باید معادله سود را تنظیم کنیم و آنگاه از معادله مذکور نسبت به میزان تولید مشتق بگیریم.

$$P = TR - TC$$

$$P = 40Q - Q^2 + 10Q - 225$$

$$P = -Q^2 + 50Q - 225$$

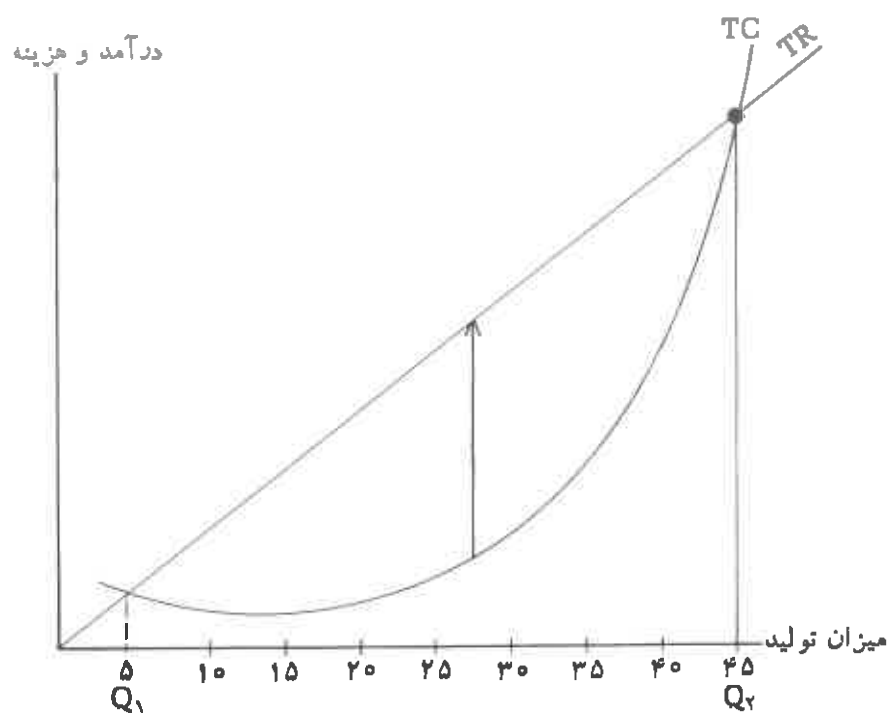
$$\frac{\partial P}{\partial Q} = -2Q + 50$$

میزان تولید در حداکثر سود

$$\frac{\partial P}{\partial Q} = 0 \Rightarrow -2Q + 50 = 0$$

$$Q = 25$$

نمودار شماره ۱۷-۱ نقاط سربه‌سر و میزان تولید برای حداکثر سود را نشان می‌دهد.



نمودار شماره ۱۷-۱

همچنان که در نمودار مذکور مشاهده می شود در نقاط Q_1 و Q_2 (نقاط سر به سر) هزینه و درآمد برابرند و بین این دو نقطه، تولید سودآور است و حداکثر میزان سود در $Q = 25$ به دست می آید.

مسائل و تمرینات فصل اول

۱-۱ يك كارگاه توليد كننده پوشاك، چهار نوع پيراهن زنانه توليد مي كند. با توجه به اطلاعات زير نقطه سر به سر را براي اين كارگاه به دست آوريد.

مدل لباس	قيمت هر واحد به ريال	هزينه متغير هر واحد به ريال	درصد فروش هر مدل نسبت به كل فروش
(A-۱) بلوز يقه هفت	۳۵۰۰	۲۰۰۰	۴۰٪
(A-۲) بلوز ساده	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵٪
(A-۳) بلوز يقه اسكي	۳۵۰۰	۱۵۰۰	۳۰٪
(A-۴) ژاكت	۴۵۰۰	۲۵۰۰	۱۵٪

هزينه ثابت = ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ ريال

۱-۲ براي تهيه قطعه اي از سه ماشين الف، ب، ج مي توان استفاده كرد. در صورتي كه توليد قطعه به وسيله ماشين «الف» داراي هزينه ثابت ۲۲۵۰۰ ريال و هزينه متغير ۲۰ ريال براي هر قطعه، توليد به وسيله ماشين «ب» داراي هزينه ثابت ۱۵۰۰۰ ريال و هزينه متغير ۱۰۰ ريال براي هر قطعه و بالاخره توليد به وسيله ماشين «ج» داراي هزينه ثابت ۶۰۰۰ ريال و هزينه متغير ۲۰۰ ريال براي هر قطعه باشد معين كنيد:

الف- در صورتی که میزان سفارش قطعات ۱۵۰ عدد باشد از کدام يك از ماشینها باید استفاده کرد؟

ب- مشخص کنید در چه محدوده‌هایی از تولید، از ماشینهای الف، ب، ج باید استفاده به عمل آورد؟

۱-۳ شرکت ماشین‌سازی باختر برای ساخت ماشینهای خود احتیاج به نوع بخصوصی فنر دارد. این نوع فنر را معمولاً شرکت از خارج به قیمت ۲۵ تومان خریداری می‌کند. اگر شرکت باختر بخواهد خود فنر تولید کند، کارشناسان مالی این شرکت تخمین زده‌اند که هزینه ثابت تولید ۴۸۰۰۰ تومان در سال است و هر عدد فنر ۱۲۰۰ تومان هزینه متغیر دارد. در صورتی که هر ماشین تولید شده توسط شرکت ماشین‌سازی به یکی از این فنرها احتیاج داشته باشد ظرفیت تولیدی شرکت ۶۰۰۰ ماشین باشد در چه درصدی از ظرفیت تولیدی، ساخت فنر توسط شرکت باختر مقرون به صرفه خواهد بود؟

۱-۴ هزینه‌های ثابت شرکت تولیدی ماهیار در ماه برابر ۲۰۰ هزار تومان است در صورتی که هزینه متغیر تولید شرکت مزبور برای هر واحد تولید برابر ۶۰۰۰ تومان و قیمت فروش کالای تولید شده برابر ۱۰۰۰۰ تومان باشد، اگر به دلتای از ماه آینده میزان تقاضای این محصول به ۱۰ عدد کالا در ماه تقلیل یابد آیا به عقیده شما شرکت تولیدی برای ماه آینده تولید کند یا خط را بخواهاند؟

۱-۵ کارخانه وطن سه نوع کالای خانگی شامل اطو، بخاری برقی و سماور برقی تولید می‌کند اطلاعات مربوط به کالاهای مذکور در زیر آمده است:

نوع کالا	درصد تأثیر $(1 - \frac{VC}{P})$	درصد فروش
بخاری برقی	۲۵٪	۶۰٪
اطو	۱۰٪	۲۰٪
سماور برقی	۳۰٪	۲۰٪

اگر هزینه ثابت سالیانه برابر ۱۵۰ ریال باشد نقطه سر به سر فروش را برای کارخانه وطن محاسبه کنید.

۱-۶ شرکت صنایع چوب سه نوع کالا شامل میز، صندلی و میز تحریر تولید می‌کند، اطلاعات تولیدی مربوط به هر نوع کالا در زیر آمده است. مطلوب است محاسبه نقطه سر به سر شرکت صنایع چوب. همچنین میزان سود این کارخانه را در ۶۰ درصد ظرفیت تولیدی نیز محاسبه کنید.

نوع کالا	قیمت فروش	هزینه متغیر هر واحد	درصد فروش
میز	۳۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۴۰٪
صندلی	۱۵۰۰۰	۸۰۰۰	۴۰٪
میز تحریر	۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲۰٪

هزینه ثابت در سال = ۴۰ میلیون ریال
ظرفیت تولیدی در سال = ۱۰۰ میلیون ریال

۱-۷ شرکت امگا در نظر دارد برای خط تولید خود نقاله‌ای خریداری کند. ظرفیت تولید این کارخانه ۱۸۰۰۰ واحد در سال می‌باشد. در صورتی که با خرید نقاله ظرفیت این کارخانه تغییر نکند و بدانیم فروش محصول این کارخانه از قرار واحدی ۲۰۰ ریال است و با توجه به هزینه‌های مختلف که در جدول زیر آمده است:

هزینه با نقاله جدید	هزینه بدون نقاله
هزینه ثابت ۱۲۰۰۰۰۰ در سال	هزینه بدون نقاله ۱۰۰۰۰۰۰ در سال
هزینه متغیر ۴۵ ریال برای هر واحد	هزینه متغیر ۵۰ ریال برای هر واحد

به عقیده شما آیا با استفاده از نقاله تولید ۵۰٪ ظرفیت مقرون به صرفه است؟ در غیر این صورت در چه درصدی از ظرفیت بهتراست از نقاله استفاده شود؟

۱-۸ شرکت روشن تصمیم دارد کالای خاصی را تولید کند. این شرکت جهت تهیه ماشین‌آلات برای تولید کالای مذکور از سه شرکت الف، ب و ج تقاضای برآورد قیمت کرده است. هر سه شرکت قیمت‌های خود را براساس ظرفیت تولید ۱۰۰۰ عدد در سال به شرح زیر پیشنهاد کرده‌اند:

هزینه	پیشنهاد شرکت الف به ریال	پیشنهاد شرکت ب به ریال	پیشنهاد شرکت ج به ریال
۱- هزینه مواد اولیه	۱۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰
۲- هزینه کارگر	۶۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
۳- هزینه های متفرقه متغیر	۴۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰
تولیدی			
۴- هزینه اجاره ماشین- آلات (در سال)	۱۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰

اگر قیمت فروش این کالا در بازار ۲۵۰۰ ریال باشد،

۱- نقطه سربه سر بخش تولید برای هر يك از پیشنهاد دهندگان را به دست آورید (ابتدا معادله هزینه برای هر يك از سه شرکت را به دست آورده، سپس نقطه سربه سر تولید را محاسبه کنید.)

۲- برای سطح تولید ۱۰۰۰ عدد در سال، ماشین آلات کدام شرکت را باید انتخاب کرد؟

۳- مشخص کنید در چه محدوده ای میزان تولید از ماشین آلات شرکت الف، در چه محدوده ای از ماشین آلات شرکت ب و بالاخره در چه محدوده ای از ماشین آلات شرکت ج باید استفاده کرد. عملیات خود را به وسیله رسم نمودار نشان دهید.

۹-۱ يك كارگاه تراش، يك طبقه از ساختمانی را به مبلغ ۱۰۰۰۰۰۰ ریال در ماه اجاره کرده است. این طبقه ۵۰۰ متر مربع زیر بنا دارد. كارگاه بیشتر صیقل کاری سفارشات خود را بدیپمانكار سفارش می دهد اکنون امکان صیقل کاری در خود كارگاه، مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام صیقل کاری دو ماشین مخصوص مورد نیاز است. این ماشینها را می توان به قیمت ۱۰۰۰۰۰۰۰ ریال خریداری کرد. مسأله دوم مكان این ماشین آلات می باشد. در حال حاضر جایی در كارگاه وجود ندارد، ولی سرپرست كارگاه می گوید: می توان با جمع و جور کردن و جابجا کردن ماشین آلات و نزدیک کردن آنها بدیكدیگر، مكان لازم را فراهم آورد. شق دیگری نیز وجود دارد و آن اجاره يك طبقه دیگر از ساختمان می باشد كه هزینه اجاره آن ۸۰۰۰۰۰ ریال در ماه

برآورد می‌شود. شقوق مختلف تصمیم و هزینه‌های مربوط به هر شق تصمیم را مشخص کنید.

۱-۱۰ يك شرکت صنایع فلزی تولید قطعه بخصوصی برای شرکت ماشین‌سازی را مورد بررسی قرار داده است. پس از تجزیه و تحلیل‌های فراوان شرکت صنایع فلزی، هزینه ساخت قطعه را به صورت زیر برآورد کرده است:

مواد اولیه برای هر واحد	۵۰ ریال
کارگر/ساعت برای هر واحد تولید	۳۰۰ ساعت
هزینه کارگر در ساعت	۲۰۰ ریال

هزینه‌های عمومی کارخانه برای هر واحد ۱۱۵ درصد هزینه کارگر/ساعت
هزینه‌های عمومی سرپرستی برای هر واحد ۲۰ درصد هزینه‌های عمومی کارخانه
در صورتی که هزینه‌های فوق بر مبنای تولید ۱۰۰۰۰ عدد باشد و قیمت فروش قطعه به شرکت ماشین‌سازی، ۳۰۰ ریال باشد. نقطه سر به سری تولید این قطعه بخصوص را به دست آورید.

۱-۱۱ شرکت کفش ملی برای سال آینده در نظر دارد ۱۶۰۰۰ جفت کفش از قرار جفتی ۱۱۰ تومان برای مصرف داخلی تولید کند. از طرفی مدیریت شرکت سفارشی از خارج دریافت کرده است که میزان آن برابر ۱۰۰۰۰ جفت از قرار جفتی ۱۰۰ تومان می‌باشد. با توجه به تولید ۱۶۰۰۰ جفت مصرف داخلی هزینه ثابت برابر ۶۰۰۰۰۰ تومان و هزینه متغیر برای هر جفت کفش برابر ۵۰ تومان می‌باشد. در صورتی که کفش ملی سفارش خارجی را قبول کند هزینه ثابت برای تولید اضافی ۵۰۰۰۰۰ تومان و هزینه متغیر برای هر جفت کفش ۵ تومان اضافه می‌شود. الف- نقطه سر به سر کفش ملی بدون قبول سفارش و با قبول سفارش را به دست آورید.

ب- نمودار نقطه سر به سر را برای هر دو حالت در يك نمودار رسم کنید.
ج- آیا کفش ملی سفارش خارجی را قبول کند؟ سود کفش ملی را با قبول سفارش و بدون قبول سفارش محاسبه کنید.

۱-۱۲ شرکت مرغداری X نقطه سر به سر تولید خود را مورد بررسی قرار می‌دهد. ظرفیت تولیدی این شرکت یکصد هزار مرغ در ماه می‌باشد. بر طبق ضوابط وزارت بازرگانی، این شرکت باید تا ۸۵ درصد ظرفیت تولیدی خود را از

قرار کیلویی ۲۲۵ ریال به دولت بفروشد و مابقی تولید را می‌تواند در بازار آزاد به‌طور متوسط از قرار کیلویی ۷۰۰ ریال به فروش برساند. هزینه ثابت شرکت X در ماه تسا ظرفیت تولیدی ۸۰ درصد برابر ده میلیون ریال و هزینه متغیر تولید هر کیلو مرغ برابر سیصد ریال می‌باشد. برای تولید بیش از ۸۰ درصد ظرفیت، هزینه ثابت سه میلیون ریال افزایش یافته ولی هزینه متغیر تولید هر کیلو مرغ ۵۰ ریال کاهش می‌یابد و به ۲۵۰ ریال می‌رسد.

- ۱- نمودار نقطه سر به سر را برای شرکت مرغداری X رسم کنید.
- ۲- نقطه سر به سر را برای ظرفیت ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد محاسبه کنید.
- ۳- اگر شرکت با ۱۰۰ درصد ظرفیت تولیدی خود فعالیت کند سود آن چه میزان خواهد بود؟

۱-۱۳ هزینه متغیر کالایی ۱۵۰۰ ریال و هزینه ثابت آن ۳۰۰۰۰۰۰۰ ریال است. ظرفیت معمولی تولید این کالا ۴۰۰۰۰ عدد و قیمت فروش هر واحد ۲۵۰۰ ریال می‌باشد. سازمان تولید کننده این کالا می‌تواند ظرفیت تولیدی خود را با استفاده از اضافه کاری تا ۸۰ درصد افزایش دهد و اگر چنین کند هزینه ثابت ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال افزایش می‌یابد و هزینه متغیر هر واحد در شرایط اضافه کاری ۱۷۰۰ ریال می‌شود. از طرفی تقاضای بازار داخلی ۳۵۰۰۰ عدد است و بقیه تولیدات را باید صادر کرد. برای امر صادرات قیمت فروش را باید به ۲۲۰۰ ریال کاهش داد.

- ۱- نقطه سر به سر در ظرفیت معمولی و ظرفیت اضافه کاری را محاسبه کنید.
- ۲- درآمد و سود در ظرفیت معمولی و ظرفیت اضافه کاری را محاسبه کنید.
- ۳- نمودار هزینه و درآمد را رسم کنید.

۱-۱۴ شرکت پیام به دنبال پیدا کردن نقطه سر به سر خود است. این شرکت محصولی تولیدی را به قیمت ۵۰۰۰ ریال برای هر واحد می‌فروشد. هزینه متغیر هر واحد تسا سطح تولید ۸۰۰۰۰ واحد برابر ۳۰۰۰ ریال است. این هزینه برای تولید بیش از ۸۰۰۰۰ واحد به ۲۵۰۰ ریال کاهش می‌یابد. هزینه‌های ثابت این شرکت تسا میزان ۴۰۰۰۰ واحد برابر یکصد میلیون ریال است و برای تولید بیش از ۴۰۰۰۰ واحد، هزینه ثابت ده میلیون ریال افزایش می‌یابد. ظرفیت تولیدی شرکت پیام ۱۰۰۰۰۰ واحد در سال است مطلوب است:

- ۱- رسم نمودار نقطه سر به سر.
- ۲- محاسبه نقطه سر به سر.

۱-۱۵ کارخانه‌ای در حال حاضر با ۴۰ درصد ظرفیت اسمی خود کار می‌کند. هزینه ثابت کالای تولیدی این کارخانه ۳۰ میلیون ریال و هزینه متغیر آن ۱۰۰۰ ریال برای هر واحد می‌باشد. کارشناسان مالی این کارخانه پیش‌بینی کرده‌اند که اگر ظرفیت تولیدی به ۶۰ درصد افزایش یابد هزینه ثابت برای تولید اضافی ۱۰ میلیون ریال اضافه می‌شود و هزینه متغیر برای تولید اضافی به ۷۰۰ ریال کاهش می‌یابد. اگر ظرفیت اسمی کارخانه ۱۰۰۰۰۰ عدد باشد:

۱- نقطه سر به سر این کارخانه در ظرفیتهای ۴۰ درصد و ۶۰ درصد را به دست آورید.

۲- اگر بازار تقاضا به اندازه کافی وجود داشته باشد آیا ازدیاد ظرفیت تولیدی به نفع این کارخانه است؟

۳- نمودار نقطه سر به سر برای هر دو ظرفیت را به دست آورید.

۱-۱۶ یک شرکت تولیدی برای ساخت یک محصول جدید با مشکل تصمیم‌گیری در مورد احداث کارگاه با ظرفیت بزرگ و یا ظرفیت کوچک مواجه است این شرکت می‌تواند کارگاه مذکور را با ظرفیت کوچک راه‌اندازی کند و پس از چهار سال با توجه به تقاضای بازار ظرفیت خود را افزایش دهد و یا از همان اول کارگاه را با ظرفیت بزرگ احداث کند. احتمال وجود تقاضای زیاد ۶۰٪ و احتمال وجود تقاضای کم ۴۰٪ و عمر مفید هر دو کارگاه ۱۰ سال برآورد می‌شود. سایر اطلاعات مالی در زیر آمده است:

- کارگاه بزرگ با تقاضای زیاد، سالانه سودی معادل یک میلیون تومان، خواهد داشت.

- کارگاه بزرگ با تقاضای کم سالانه سودی معادل ۲۰۰۰۰۰ تومان، خواهد داشت.

کارگاه کوچک در طول چهار سال اولیه با تقاضای زیاد سودی معادل ۴۵۰۰۰۰ تومان خواهد داشت و اگر پس از چهار سال کارگاه توسعه یابد سود آن سالانه به ۸۰۰۰۰۰ تومان در سال افزایش خواهد یافت ولی اگر کارگاه با تقاضای زیاد پس از چهار سال توسعه نیابد، سود سالانه آن به ۳۰۰۰۰۰ تومان کاهش خواهد یافت.

- اگر کارگاه کوچک در طول چهار سال اولیه با تقاضای کم مواجه شود سود سالانه آن معادل ۲۵۰۰۰۰ تومان می‌باشد و اگر پس از چهار سال توسعه یابد سود سالانه آن به ۱۰۰۰۰۰ تومان کاهش خواهد یافت.

- هزینه احداث کارگاه بزرگ پنج میلیون تومان،
- هزینه احداث کارگاه کوچک دو میلیون تومان،
- هزینه توسعه کارگاه کوچک به کارگاه بزرگ سه میلیون تومان،
- ۱- درخت اخذ تصمیم برای مشکل تصمیم گیری این شرکت را رسم کنید و مقادیر پیامدها و احتمالات هر شاخه را روی آن نشان دهید.
- ۲- اگر نرخ بازده سرمایه ۲۵ درصد باشد، ارزش فعلی بهره‌وری حاصل از ساختن کارگاه با ظرفیت بزرگ را محاسبه نمایید.

پیش‌بینی^۱

هرمدیری در تصمیم‌گیریهای خود به‌نحوی با پیش‌بینی سروکار دارد. برخی از این پیش‌بینیها ساده و برخی دیگر پیچیده و مشکل‌می‌باشند. همچنین پیش‌بینیها می‌توانند برای دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت یا بلندمدت انجام گیرند. البته هیچگاه پیش‌بینی دقیقاً با واقعیت تطبیق نمی‌کند، و باید کوشید خطای پیش‌بینی به‌حداقل ممکن تقلیل یابد.

علمای مدیریت در زمان حاضر فنون و تکنیکهای مختلفی را برای پیش‌بینی ابداع کرده و در اختیار مدیران قرار داده‌اند. هر يك از این فنون کاربرد خاص خود را دارد و با آگاهی از مجموعه آنها می‌توان پیش‌بینیهای موفقتری را انجام داد. مدیران باید بکوشند تا مدلی را برای پیش‌بینی انتخاب کنند که پاسخگوی نیازهای سازمان و متناسب با فعالیتهای آن باشد. در بسیاری موارد ممکنست يك مدل ساده پیش‌بینی نتایج بهتری نسبت به يك مدل پیچیده ارائه دهد.

به‌طور کلی برای انتخاب مدل مناسب پیش‌بینی توجه به‌موارد زیر ضروری است:

۱- محدوده زمانی:

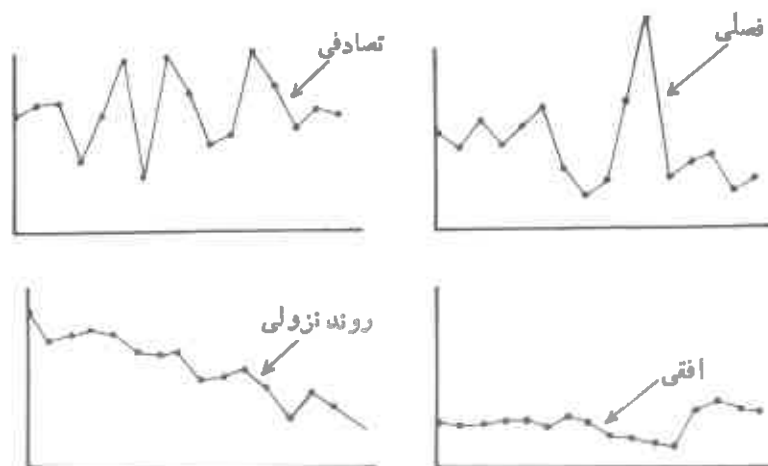
مدت زمانی را که می‌خواهیم در آینده پیش‌بینی کنیم در انتخاب تکنیک بسیار حائز

1. Forecasting

اهمیت است. به طور کلی اگر بخواهیم مدت نسبتاً دوری را پیش‌بینی کنیم بهتر است از روشهای کیفی استفاده کنیم. برعکس اگر بخواهیم پیش‌بینیهای میان‌مدت و یا کوتاه‌مدت به عمل آوریم بهتر است روشهای کمی را به کار گیریم. نکته دیگری که در رابطه با تکنیکهای کمی پیش‌بینی باید مورد توجه قرار گیرد، تعیین دوره زمانی پیش‌بینی است زیرا تکنیکهایی که برای پیش‌بینی تنها یک دوره به کار می‌روند با تکنیکهای خاص برآورد چند دوره متفاوت است.

۲- آمار و ارقام داده شده:

با توجه به نوع آمار گذشته نیز نحوه پیش‌بینی فرق می‌کند. در بعضی مواقع آمار نشان‌دهنده روند بخصوصی است، در بعضی مواقع آمار دارای نوسانات فصلی است و بالاخره بعضی مواقع ممکن است از یک سری نوسانات تصادفی و نامنظم تبعیت کنند (نمودار ۱-۲). چون تکنیکهای مختلف دارای قابلیت‌های متفاوتی در رابطه با نوع آمار گذشته می‌باشند، باید حتی المقدور سعی شود که تکنیک مورد استفاده در رابطه با آمار داده شده باشد.



نمودار ۱-۲

شمای ترسیمی آمار و داده‌های گذشته

۳- ارتباط اطلاعات با متغیر مورد نظر:

در بعضی مواقع آمار و اطلاعات در رابطه با متغیر مورد نظر در دسترس نیست و

باید از اطلاعات مربوط به متغیر دیگری که در ارتباط با متغیر مذکور می‌باشد استفاده کرد. مثلاً^۱ برای پیش‌بینی تعداد خودرو در سطح شهر می‌توان از اطلاعات مربوط به میزان مصرف لاستیک استفاده کرد. بدین ترتیب نوع و روش پیش‌بینی با توجه به ارتباط اطلاعات با متغیر مورد نظر متفاوت خواهد بود.

۴- هزینه:

مدلهای مختلف پیش‌بینی چون دارای خصوصیات مختلفی می‌باشند هزینه‌های متفاوتی را ایجاد می‌کنند. بنابراین در انتخاب مدل‌های پیش‌بینی باید هزینه آنها را به عنوان یک عامل در نظر گرفت.

۵- دقت:

یکی از ضوابط اصلی انتخاب مدل، دقت مدل پیش‌بینی است، بعضی از مدل‌ها باید با دقت ۹۰٪ موقعیت را در آینده پیش‌بینی کنند و پاره‌ای از مدل‌ها به مراتب دارای دقت بیشتری هستند. واضح است با توجه به انتظاری که از دقت مدل داریم می‌توانیم مدل مورد نظر را انتخاب کنیم.

۶- سادگی:

یکی دیگر از عوامل مؤثر در انتخاب مدل سادگی آن است. بعضی مدل‌ها اگرچه از دقت خیلی زیادی برخوردار هستند ولی به علت پیچیدگی، قابل استفاده در سطح کلیه سازمانها نمی‌باشند. در انتخاب مدل باید به میزان سادگی و پیچیدگی آن توجه داشت.

انواع شیوه‌های پیش‌بینی

به طور کلی می‌توان روشهای پیش‌بینی را به سه گروه مختلف تقسیم کرد: پیش‌بینیهای قضاوتی^۱ پیش‌بینی بر مبنای گذشته^۲ و پیش‌بینی علت و معلولی^۳.

پیش‌بینی قضاوتی

در مواقعی که اطلاعات دقیق و کاملی در مورد مسأله وجود نداشته باشد از این نوع پیش‌بینی استفاده می‌شود. در این روش کوشش می‌شود نظرات ذهنی به صورت

1. Judgmental forecasts
3. Causal forecasting

2. extensions of past history

پیش‌بینی‌های کمی در آید و قابل استفاده شود. استفاده از نظرات کارشناسان فن، سازمان‌هایی که در آینده‌نگری صاحب تجربه‌اند، و سایر متخصصان می‌توانند در انجام این نوع پیش‌بینی‌ها مفید باشد. به هر حال در این روش انکای ما بر قضاوت ذهنی افراد و تعبیر و تفسیر آنها از اطلاعات برای پیش‌بینی آینده خواهد بود.

پیش‌بینی بر مبنای گذشته

در این نوع پیش‌بینی آمار و ارقام و اطلاعات گذشته را اساس پیش‌بینی آینده قرار می‌دهیم. به عبارت دیگر فرض ما بر این است که در کوتاه‌مدت می‌توان روند گذشته را به آینده تسری داد. از این رو این روش برای پیش‌بینی‌های بلندمدت قابلیت استفاده چندانی ندارد زیرا اگرچه اطلاعات گذشته راهنمای خوبی برای آینده است اما به علت تغییراتی که در طول زمان رخ می‌دهد این روش به طور دقیق نمی‌تواند آینده را آنچنان که اتفاق خواهد افتاد در بلندمدت، پیش‌بینی کند. بنابراین در مواردی که دوره پیش‌بینی بلندمدت باشد، از این روش نمی‌توان به طور مؤثر سود جست.

پیش‌بینی علت و معلولی

اگر اطلاعات کافی در مورد موضوع پیش‌بینی موجود و روابط بین متغیرها نیز مشخص باشد، ما می‌توانیم از این روش استفاده کنیم. به عنوان مثال اگر بین فروش و متغیرهای دیگری مانند درآمد ملی، قیمت کالا و درآمد خالص، رابطه‌ای وجود داشته باشد می‌توان با استفاده از روش رگرسیون که نوعی روش پیش‌بینی علت و معلولی است، مدلی برای روابط مذکور تنظیم کرد و به پیش‌بینی پرداخت.

حال به شرح هر یک از انواع فوق می‌پردازیم:

پیش‌بینی قضاوتی-روش دلفی^۱

در این روش از نظر متخصصان امر نهایت استفاده به عمل می‌آید. ابتدا گروهی از کارشناسان و متخصصان صاحب نظر انتخاب می‌شوند و به وسیله پرسشنامه‌ای نظرات آنان در مورد موضوع مربوط گردآوری می‌شود. سپس نظرات مختلف را به سایر اعضای گروه اطلاع داده و نظرات جدید جمع‌آوری می‌شوند. به این ترتیب همه اعضای از اطلاعات و نظریات یکدیگر مرتباً مطلع می‌شوند و به اظهار نظر جدیدی می‌پردازند. از آنجا که در روش دلفی نظرات کتبی و انفرادی اعلام می‌شود، افراد گروه تحت تأثیر نظر اکثریت قرار نمی‌گیرند و آزادانه نظر واقعی خود را ابراز می‌دارند.

1. Delpni technique

با ادامه جریان ارسال اطلاعات و نظرجوییهای جدید مدیر می‌تواند براساس نظریات گردآوری شده همگن‌مبنایی برای پیش‌بینی به‌دست آورد. لازم به یادآوری است که روش دلفی بیشتر برای پیش‌بینیهای بلندمدت (بیشتر از دوسال) به‌کار می‌رود.

پیش‌بینی قضاوتی-روش توافق جمعی^۱

در این روش اعتقاد بر این است که نظر جمع متخصصان برتر از نظر يك فرد است. از این روش جلسات نظریات افراد حضوراً گردآوری می‌شود و پس از بحث و گفتگو آنچه که مورد توافق جمع است اساس پیش‌بینی قرار می‌گیرد. به‌علت اینکه افراد باید در جلسه نظرات خود را علنی ابراز کنند، جو جلسه و نظر سایرین می‌تواند نظرات ابراز شده را تحت تأثیر قرار دهد.

پیش‌بینی بر مبنای گذشته-روش میانگین متحرك^۲

میانگینی که با استفاده از اطلاعات جدید مرتباً به‌روز درآورده شود میانگین متحرك نام دارد. ساده‌ترین روش محاسبه میانگین متحرك آن است که آمار واقعی در آخرین دوره را برای دوره بعد در نظر بگیریم. به‌عنوان مثال اگر در مؤسسه‌ای میزان فروش در فروردین ۱۵ میلیون ریال باشد پیش‌بینی فروش واقعی برای اردیبهشت با استفاده از آمار واقعی فروردین ۱۵ میلیون ریال برآورد می‌شود. حال اگر در اردیبهشت ماه، فروش ۱۲ میلیون ریال باشد پیش‌بینی فروش برای خرداد ۱۲ میلیون ریال تخمین زده می‌شود. و بدین ترتیب می‌توان برای بقیه ماههای سال با استفاده از آمار ماه گذشته فروش ماه آینده را محاسبه کرد. یکی از اشکالات انتخاب يك دوره، در محاسبه میانگین متحرك آنست که تمامی عوامل مؤثر در تعیین آمار واقعی دوره قبل در دوره بعد منعکس می‌شود و این امر ممکن است همواره صحیح نباشد. برای جلوگیری از این مشکل در محاسبه میانگین متحرك اغلب به‌جای يك دوره از آمار و اطلاعات واقعی چند دوره برای پیش‌بینی دوره آینده استفاده می‌شود. مثلاً در جدول ۱-۲ برای پیش‌بینی فروش در ماه تیر از اطلاعات فروردین، اردیبهشت و خرداد استفاده شده و میانگین آنها به عنوان پیش‌بینی فروش برای ماه خرداد منظور شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این مثال دوره پیش‌بینی سه‌ماهه فرض شده است. همچنین برای پیش‌بینی فروش در ماه مرداد با دوره سه‌ماهه میانگین آمار فروش اردیبهشت، خرداد و تیر مبنای محاسبه قرار می‌گیرد و آمار فروش فروردین از محاسبه حذف می‌گردد به همین ترتیب آمار جدیدتر جایگزین آمار قدیمی شده و میانگین به سمت جلو حرکت می‌کند و از این جهت

ماهها	فروش واقعی (به میلیون)	میانگین متحرک با دوره سه ماهه	میانگین متحرک با دوره چهار ماهه
فروردین	۱۵	$(۱۵+۱۲+۱۳) \div ۳ = ۱۳٫۶۷$	$(۱۵+۱۲+۱۳+۱۶) \div ۴ = ۱۲٫۷۵$
اردیبهشت	۱۲	$(۱۲+۱۳+۱۶) \div ۳ = ۱۳٫۶۷$	$(۱۲+۱۳+۱۶+۱۹) \div ۴ = ۱۵$
خرداد	۱۳	$(۱۲+۱۶+۱۹) \div ۳ = ۱۶$	$(۱۳+۱۶+۱۹+۲۳) \div ۴ = ۱۷٫۷۵$
تیر	۱۹	$(۱۶+۱۹+۲۳) \div ۳ = ۱۹٫۳۳$	$(۱۶+۱۹+۲۳+۲۶) \div ۴ = ۲۱$
مرداد	۲۳	$(۱۹+۲۳+۲۶) \div ۳ = ۲۲٫۶۷$	$(۱۹+۲۳+۲۶+۳۰) \div ۴ = ۲۴٫۵$
مهر	۲۶	$(۲۳+۲۶+۳۰) \div ۳ = ۲۶٫۳۳$	$(۲۳+۲۶+۳۰+۳۸) \div ۴ = ۲۶٫۷۵$
مهر	۳۵	$(۲۶+۳۰+۳۸) \div ۳ = ۳۱٫۳۳$	$(۲۶+۳۰+۳۸+۴۸) \div ۴ = ۳۴٫۵$
آبان	۲۸	$(۳۰+۳۸+۴۸) \div ۳ = ۳۵٫۳۳$	$(۳۰+۳۸+۴۸+۵۸) \div ۴ = ۴۳٫۵$
آذر	۲۸	$(۳۵+۳۸+۴۸) \div ۳ = ۳۷$	$(۳۵+۳۸+۴۸+۵۸) \div ۴ = ۴۳٫۵$
دی	۱۸	$(۳۵+۳۸+۴۸) \div ۳ = ۳۷$	$(۳۵+۳۸+۴۸+۵۸) \div ۴ = ۴۳٫۵$
بهمن	۱۶	$(۳۵+۳۸+۴۸) \div ۳ = ۳۷$	$(۳۵+۳۸+۴۸+۵۸) \div ۴ = ۴۳٫۵$
اسفند	۱۲	$(۳۵+۳۸+۴۸) \div ۳ = ۳۷$	$(۳۵+۳۸+۴۸+۵۸) \div ۴ = ۴۳٫۵$

جدول ۲-۱

پیش بینی با استفاده از میانگین متحرک در دوره های سه ماهه و چهار ماهه

است که این میانگین را میانگین متحرك نامیده‌اند. در جدول شماره ۱-۲ پیش‌بینی با دوره ۴ ماهه نیز نشان داده شده‌است.

همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود برای محاسبه میانگین متحرك با دوره سه‌ماهه حداقل نیاز به اطلاعات ۳ ماه قبل و در دوره چهار ماهه نیاز به اطلاعات ۴ ماه پیش می‌باشد.

اگر آمار واقعی را به A و آمار پیش‌بینی را به F و دوره را به t و تعداد دوره را به n نشان دهیم، می‌توان رابطه‌ای برای محاسبه میانگین متحرك به شرح زیر به دست آورد:

$$F_{t+1} = \frac{A_t + A_{t-1} + A_{t-2} + \dots + A_{t-n+1}}{n}$$

صورت کلی رابطه فوق عبارتست از:

$$F_{t+1} = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t A_i \quad (2-1)$$

به عبارت دیگر پیش‌بینی در دوره $t+1$ برابر است با میانگین آمار واقعی دوره‌های قبل. به عنوان مثال با استفاده از جدول شماره ۱-۲ اگر اطلاعات تا تیرماه در دسترس باشد و بخواهیم پیش‌بینی فروش با میانگین متحرك سه ماهه را برای مردادماه انجام دهیم خواهیم داشت:

$$t = 4 \quad (\text{تیرماه})$$

$$t+1 = 5 \quad (\text{مردادماه})$$

$$n = 3 \quad (\text{دوره سه‌ماهه})$$

$$i = 4 - 3 + 1 = 2$$

$$F_5 = \frac{1}{3} \sum_{i=2}^4 A_i = \frac{1}{3} (A_2 + A_3 + A_4) = \frac{1}{3} (12 + 13 + 16) = 13.67$$

محاسبه خطای پیش‌بینی در روش میانگین متحرك

خطای پیش‌بینی عبارتست از فاصله آنچه واقعیت دارد با آنچه پیش‌بینی شده. برای

انتخاب دوره مناسب در میانگین متحرك معمولاً میانگین خطای پیش‌بینی دوره‌های مختلف را محاسبه، و دوره‌ای را که دارای میانگین خطای کمتری می‌باشد انتخاب می‌کنند. میانگین خطای پیش‌بینی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$e = \frac{\sum |A_i - F_i|}{N}$$

در این رابطه:

$e =$ میانگین خطای پیش‌بینی

$N =$ تعداد آمار

$A_i =$ مقدار واقعی هر يك از داده‌ها

$F_i =$ مقدار پیش‌بینی هر يك از داده‌ها

$\sum |A_i - F_i| =$ مجموع قدرمطلق خطای پیش‌بینی در دوره‌های مختلف

در جدول ۲-۲ خطای پیش‌بینی برای دوره‌های سه ماهه و چهار ماهه محاسبه شده است. همان طور که در جدول ملاحظه می‌شود پیش‌بینی با دوره سه‌ماهه خطای کمتری نسبت به پیش‌بینی با دوره ۴ ماهه دارد. توضیح آنکه در محاسبه خطای پیش‌بینی قدرمطلق، خطا در نظر گرفته شده زیرا میزان نوسان از مقدار واقعی مورد نظر می‌باشد. در صورتی که میزان واقعی خطا (مثبت یا منفی) در نظر گرفته شود ممکن است خطای منفی يك دوره با خطای مثبت دوره دیگر خنثی شده و ظاهراً محاسبه خطایی را نشان ندهد در حالی که در واقع این طور نیست.

پیش‌بینی بومبنای گذشته - روش میانگین متحرك وزنی^۱

در روش میانگین متحرك ساده به آمار و ارقام گذشته ارزش مساوی داده می‌شود در صورتی که اغلب، آمار جدیدترین دوره ارزش بیشتری نسبت به آمار دوره‌های ماقبل خود در برآورد دوره آینده دارد. فرضاً در مثال قبل پیش‌بینی با دوره‌های سه ماهه و چهارماهه از طریق میانگین متحرك ساده نمی‌توانست بخوبی جوابگوی میزان واقعی فروش باشد زیرا میزان فروش در بعضی ماهها خیلی سریعتر از میانگین ماههای گذشته خود افزایش یا کاهش می‌یافت. در اینگونه مواقع بهتر است به آمار جدیدتر وزن بیشتری نسبت به آمار

1. Weighted moving average

ماهها	فروش واقعی (به میلیون)	میانگین متحرك		خطای پیش بینی	
		دوره ۳ ماهه	دوره ۴ ماهه	دوره ۳ ماهه	دوره ۴ ماهه
فروردین	۱۵			—	—
اردیبهشت	۱۲			—	—
خرداد	۱۳			—	—
تیر	۱۶	۱۱۶۷		۴۳۳	—
مرداد	۱۹	۱۳۶۷	۱۲۷۵	۵۳۳	۶۲۵
شهریور	۲۳	۱۶	۱۵	۷	۸
مهر	۲۶	۱۹۳۳	۱۷۷۵	۶۶۷	۸۲۵
آبان	۳۰	۲۲۶۷	۲۱	۷۳۳	۹
آذر	۲۸	۲۶۳۳	۲۴۵	۱۶۷	۳۵
دی	۱۸	۲۸	۲۶۷۵	۱۰	۸۷۵
بهمن	۱۶	۲۵۳۳	۲۵۵	۹۳۳	۹۵
اسفند	۱۴	۲۵۶۷	۲۳	۶۶۷	۹
$e = \frac{62225}{8} \quad e = \frac{5833}{9}$ $e = 778 \quad e = 648$					

جدول شماره ۲-۲

خطای پیش بینی با دوره های سه ماهه و چهار ماهه

قدیمی تر داده شود که در روش میانگین متحرك وزنی نحوه عمل چنین است. به عنوان مثال در پیش بینی با دوره سه ماهه می توان برای آمار ماه جدید ارزش ۳ برابر، برای ماه قبل از آن ارزش ۲ برابر و برای سه ماهه قبل ارزش ۱ برابر قائل شد. جدول شماره ۲-۳ نتیجه محاسبه به این روش را نشان می دهد.

دادن ارزش به آمار دوره های مختلف در روش میانگین متحرك وزنی اغلب با توجه به تجربه سازمان و نظر اهل فن صورت می گیرد. مثلاً ممکنست ارزش به صورت زیر به آمار گذشته داده شود:

ماهها	فروش واقعی (به میلیون)	میانگین متحرک وزنی با دوره سه ماهه (با ارزشهای ۱ و ۲ و ۳)
فروردین	۱۰	
اردیبهشت	۱۲	
خرداد	۱۳	
تیر	۱۶	$[(3 \times 13) + (2 \times 12) + (10)] \div 6 = 12.17$
مرداد	۱۹	$[(3 \times 16) + (2 \times 13) + (12)] \div 6 = 14.33$
شهریور	۲۳	$[(3 \times 19) + (2 \times 16) + (13)] \div 6 = 17$
مهر	۲۶	$[(3 \times 23) + (2 \times 19) + (16)] \div 6 = 20.50$
آبان	۳۰	$[(3 \times 26) + (2 \times 23) + (19)] \div 6 = 23.83$
آذر	۲۸	$[(3 \times 30) + (2 \times 26) + (23)] \div 6 = 27.5$
دی	۱۸	$[(3 \times 28) + (2 \times 30) + (26)] \div 6 = 28.33$
بهمن	۱۶	$[(3 \times 18) + (2 \times 28) + (30)] \div 6 = 23.33$
اسفند	۱۴	$[(3 \times 16) + (2 \times 18) + (28)] \div 6 = 18.67$

جدول شماره ۲-۳

پیش‌بینی به‌روش میانگین متحرک وزنی

$$F_{t+1} = 0.2 A_t + 0.3 A_{t-1} + 0.5 A_{t-2}$$

باید توجه داشت که جمع ضرایب مربوط به ارزش دوره‌های مختلف همواره یک می‌باشد.

پیش‌بینی بر مبنای گذشته - روش نمو هموار

در روش میانگین متحرک وزنی بر اساس نظر سازمان به آمار گذشته ارزشهای متفاوتی داده می‌شود اما در روش نمو هموار نظم این ارزش‌گذاری تابع تصاعد هندسی نزولی است. بدین معنی که اطلاعات جدیدتر به طریق تصاعد هندسی دارای وزن بیشتری نسبت به اطلاعات قدیمی‌تر می‌شوند.

1. Exponential smoothing

$$F_{t+1} = \alpha A_t + \alpha(1-\alpha)A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 A_{t-3} + \dots$$

(۲-۲)

در رابطه فوق α ضریب نمو همواره نامیده می‌شود و اولین جمله تصاعد می‌باشد. ضریب تصاعد $(1-\alpha)$ است و جمع ضرائب مانند روش میانگین متحرك وزنی باید برابر ۱ باشد. می‌دانیم که در تصاعد هندسی نزولی مجموع ارقام به‌طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$\int_{\text{حد}}^{n \rightarrow \infty} = \frac{a}{1-q}$$

در رابطه بالا \int جمع ارقام است و a اولین جمله تصاعد و q ضریب تصاعد می‌باشد.

$$\int_{\text{حد}}^{n \rightarrow \infty} = \frac{\alpha}{1-(1-\alpha)} = \frac{\alpha}{\alpha} = 1$$

همچنان‌که ملاحظه می‌شود جمع ضرائب (ارزشهای آمار هر دوره) برابر یک می‌باشد. به‌منظور یافتن رابطه‌ای برای محاسبه پیش‌بینی به‌روش نمو هموار در رابطه (۲-۲) از جمله $(1-\alpha)$ فاکتور می‌گیریم. خواهیم داشت:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1-\alpha)[\alpha A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-3} + \dots]$$

رابطه داخل کروشه درحقیقت بسط رابطه (۲-۲) برای دوره t می‌باشد. به‌عبارت دیگر اگر پیش‌بینی برای دوره t را توسط رابطه (۲-۲) بسط دهیم خواهیم داشت:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-3} + \dots$$

بنابراین می‌توان به‌جای رابطه داخل کروشه مقدارش یعنی F_t را قرار داد که خواهیم داشت:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1-\alpha)F_t \quad (۲-۳)$$

می‌توان رابطه به‌دست‌آمده را به‌صورت زیر ساده کرد.

$$F_{t+1} = \alpha A_t + F_t - \alpha F_t$$

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(A_t - F_t) \quad (۲-۴)$$

به‌عبارت دیگر پیش‌بینی در دوره $t+1$ برابر است با پیش‌بینی در دوره t (F_t) به‌اضافه

α ضرب در خطای پیش‌بینی در دوره t $(A_t - F_t)$ ،
به آمار دوره‌های قبل خود می‌باشند. رابطه پیش‌بینی در این روش به صورت زیر است:
یا:

$$(\text{خطای پیش‌بینی دوره ماقبل}) + \alpha (\text{پیش‌بینی دوره قبل}) = (\text{پیش‌بینی آینده})$$

در این رابطه پیش‌بینی به وسیله نوعی بازخور که همان میزان خطای پیش‌بینی دوره‌های قبلی است به‌روز درآورده می‌شود. برای نشان دادن این موضوع فرض کنید F_t به عنوان پیش‌بینی A_t به کار رفته اگر F_t بیش از اندازه A_t را برآورد کرده باشد خطای پیش‌بینی $(A_t - F_t)$ منفی است و رابطه $(2-2)$ برای پیش‌بینی دوره بعد به صورت کاهشی اصلاح می‌شود. عکس این مسأله نیز صادق می‌کند. بنابراین میزان α تعیین‌کننده اثر خطای پیش‌بینی در برآورد دوره آینده می‌باشد. α عددی بین ۰ و ۱ است و تعیین میزان آن به ثبات آمار و ارقام گذشته بستگی دارد. فرضاً اگر α را عدد ۰٫۱ انتخاب کنیم؛ رابطه $(2-2)$ به صورت زیر درخواهد آمد:

$$F_{t+1} = 0.1 A_t + 0.1(0.9)A_{t-1} + 0.1(0.9)^2 A_{t-2} \\ + 0.1(0.9)^3 A_{t-3} + \dots$$

$$F_{t+1} = 0.1 A_t + 0.09 A_{t-1} + 0.081 A_{t-2} + 0.0729 A_{t-3} + \dots$$

حال اگر α را ۰٫۹ اختیار کنیم خواهیم داشت:

$$F_{t+1} = 0.9 A_t + 0.9(0.1)A_{t-1} + 0.9(0.1)^2 A_{t-2} \\ + 0.9(0.1)^3 A_{t-3} + \dots$$

$$F_{t+1} = 0.9 A_t + 0.09 A_{t-1} + 0.009 A_{t-2} + 0.0009 A_{t-3} + \dots$$

در هر دو حالت فوق‌الذکر ارزش جدیدترین دوره از دوره‌های ماقبل خود بیشتر است اما در مورد $(\alpha = 0.1)$ فقط ۱۰ درصد ارزش به آمار جدیدترین دوره داده شده و ۹۰ درصد دیگر به دوره‌های ماقبل آن تخصیص یافته است. در صورتی که در مورد $(\alpha = 0.9)$ ۹۰ درصد ارزش به آمار جدیدترین دوره تخصیص یافته و فقط ۱۰ درصد برای مابقی دوره‌ها منظور شده است.

از این رو زمانی که اطلاعات و آمار گذشته دستخوش تغییرات فراوانی است، هر قدر اطلاعات قدیم‌تر باشد از ارزش آنها کاسته خواهد شد. بنابراین باید برای اطلاعات جدیدتر در اینگونه موارد ارزش بیشتری قائل شد و از α نزدیک به ۱ (۰٫۳ به بالا) استفاده کرد.

بالمکس‌هنگامی که اطلاعات و آمار گذشته دستخوش تغییرات زیادی نباشند اطلاعات قدیمی در پیش‌بینی آینده دارای ارزش خواهند بود و باید α را کم (از ۰ به پایین) انتخاب کرد.

برای روشن شدن مطلب مثال قبلی را با استفاده از روش نمو هموار و $\alpha = 0.4$ انجام می‌دهیم.

باید توجه داشت که برای استفاده از رابطه (۲-۴)، پیش‌بینی دوره قبل مورد نیاز است اما از آنجایی که این پیش‌بینی برای اولین دوره در مثال گذشته وجود ندارد می‌توان مقدار این پیش‌بینی را به‌طور حدسی متناسب با مقدار واقعی فرض کرد، بدین ترتیب در این مثال پیش‌بینی فروش فروردین ۱۱ میلیون فرض می‌شود. با استفاده از رابطه (۲-۴) پیش‌بینی فروش برای اردیبهشت عبارتست از:

$$F_{\text{اردیبهشت}} = F_{\text{فروردین}} + 0.4(A - F_{\text{فروردین}})$$

$$F_{\text{اردیبهشت}} = 11 + 0.4(10 - 11) = 10.6$$

ماهها	فروش واقعی (به میلیون)	پیش‌بینی فروش (به میلیون) با $\alpha = 0.4$	پیش‌بینی فروش (به میلیون) با $\alpha = 0.7$
فروردین	۱۰		
اردیبهشت	۱۲	۱۰.۶	۱۰.۳
خرداد	۱۳	۱۱.۲	۱۱.۵
تیر	۱۶	۱۱.۹	۱۲.۶
مرداد	۱۹	۱۳.۵	۱۵
شهریور	۲۳	۱۵.۷	۱۷.۸
مهر	۲۶	۱۸.۶	۲۱.۴
آبان	۳۰	۲۱.۶	۲۴.۶
آذر	۲۸	۲۵	۲۸.۲
دی	۱۸	۲۶.۲	۲۸.۱
بهمن	۱۶	۲۲.۹	۲۱
اسفند	۱۴	۲۰.۱	۱۷.۵

جدول شماره ۲-۴

پیش‌بینی فروش با $\alpha = 0.4$ و $\alpha = 0.7$

به همین ترتیب می‌توان پیش‌بینی فروش برای ماههای آینده را نیز محاسبه کرد. نتایج محاسبات در جدول (۲-۴) مندرج است. به‌طوری‌که در جدول مذکور مشاهده می‌شود، پیش‌بینیهای فروش با $\alpha = 0.4$ زمانی که فروش واقعی تا آبان ماه افزایش پیدا می‌کند گویای این افزایش نمی‌باشند و همین‌طور از آذرماه که کاهش شروع می‌شود نیز ارقام پیش‌بینی سرعت این کاهش را بخوبی نشان نمی‌دهند. از آنجایی که مقدار α باید طوری انتخاب شود که سرعت افزایش و کاهش آمار واقعی را تا حدی نشان دهد، می‌توان نتیجه گرفت که در مثال فوق α باید تغییر کند. به‌علت آنکه تغییرات فروش واقعی در این

ماهها	فروش واقعی (به میلیون)	پیش‌بینی فروش $\alpha = 0.4$ (به میلیون)	خطای پیش‌بینی $\alpha = 0.4$	پیش‌بینی فروش $\alpha = 0.7$ (به میلیون)	خطای پیش‌بینی $\alpha = 0.7$
فروردین	۱۰	—	—	—	—
اردیبهشت	۱۲	۱۰.۶	۱.۴	۱۰.۳	۱.۷
خرداد	۱۳	۱۱.۲	۱.۸	۱۱.۵	۱.۵
تیر	۱۶	۱۱.۹	۴.۱	۱۲.۶	۳.۴
مرداد	۱۹	۱۳.۵	۵.۵	۱۵	۴
شهریور	۲۳	۱۵.۷	۷.۳	۱۷.۸	۵.۲
مهر	۲۶	۱۸.۶	۷.۴	۲۱.۴	۴.۶
آبان	۳۰	۲۱.۶	۸.۴	۲۴.۶	۵.۴
آذر	۲۸	۲۵	۳	۲۸.۴	۰.۴
دی	۱۸	۲۶.۲	۸.۲	۲۸.۱	۱۰.۱
بهمن	۱۶	۲۲.۹	۶.۹	۲۱	۵
اسفند	۱۲	۲۰.۱	۶.۱	۱۷.۵	۴.۵
جمع: ۶۰۱		جمع: ۲۴۸			

جدول شماره ۲-۵

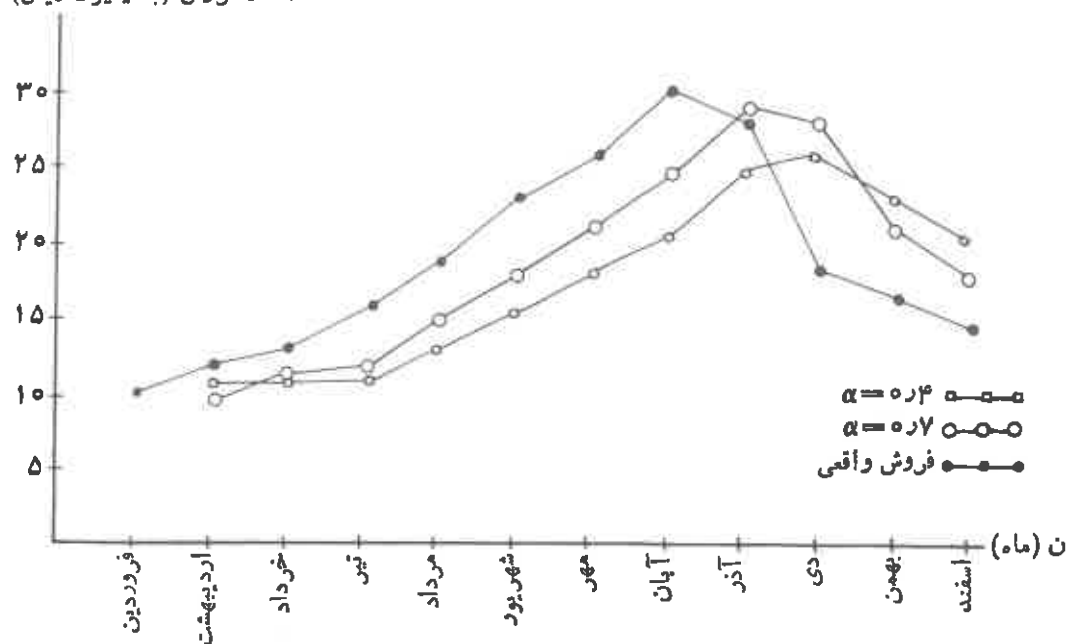
محاسبه خطای پیش‌بینی با $\alpha = 0.4$ و $\alpha = 0.7$

مثال زیاد است باید α را بیشتر انتخاب کرد. در جدول (۲-۴) آمار و اطلاعات با $\alpha = 0.07$ نیز پیش‌بینی شده است.

یکی از طرق معمول انتخاب α آنست که مقادیر مختلفی به α داده و پیش‌بینی‌های حاصله را با ارقام واقعی مقایسه کرد و با توجه به کمترین خطا α مناسب را انتخاب کرد. در جدول شماره (۲-۵) خطای $\alpha = 0.04$ و $\alpha = 0.07$ محاسبه شده است.

شمای ترسیمی ارقام واقعی فروش و ارقام پیش‌بینی شده با $\alpha = 0.07$ و $\alpha = 0.04$ در نمودار شماره (۲-۲) آمده است.

مقدار فروش (به میلیون ریال)



نمودار شماره ۲-۲

نمودار فروش واقعی و پیش‌بینی با $\alpha = 0.07$ و $\alpha = 0.04$

تجزیه و تحلیل حساسیت ضریب نمو هموار (α)

همان طور که قبلاً گفته شد α عددی بین ۰ و ۱ می‌باشد. برای تعیین حساسیت α رابطه (۲-۲) را در نظر می‌گیریم، داریم:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + \alpha(1-\alpha)A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 A_{t-3} + \dots$$

به α عددی نزدیک صفر مثلاً ۰٫۰۱ می‌دهیم

$$F_{t+1} = 0.01 A_t + 0.01(1-0.01)A_{t-1} + 0.01(1-0.01)^2 A_{t-2} + 0.01(1-0.01)^3 A_{t-3} + \dots$$

$$F_{t+1} = 0.01 A_t + 0.0099 A_{t-1} + 0.0081 A_{t-2} + 0.00729 A_{t-3} + \dots$$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید مقادیر جدیدتر هموار، نسبت به مقادیر قدیمتر در برآورد دوره آینده ارزش بیشتری دارند اما برتری ارزش ارقام جدید نسبت به ارقام قدیم بسیار کم است. مثلاً در این حالت ۱۰ درصد ارزش F_{t+1} متعلق به آمار زمان t بوده و ۹۰ درصد بقیه متعلق به آمار زمان قبل از t برمیگردد. در چنین حالتی مدیریت در واقع به آمار و ارقام زمان گذشته اهمیت زیادی داده و معتقد است که آمار چندین دوره گذشته در برآورد دوره‌های آینده مفید خواهند بود. از طرفی معمولاً وقتی آمار و ارقام گذشته در برآورد دوره آینده مفید می‌باشند که این آمار و ارقام در طول دوره نوسانات زیادی نداشته باشد، به عبارت دیگر متغیر زمان تأثیر زیادی در آمار و ارقام نداشته باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر آمار و ارقام گذشته سازمان در طول دوره نوسانات زیادی نداشته باشد و مدیریت اطلاعات موجود در آمار و ارقام گذشته سازمان را در برآورد دوره‌های آینده مفید تشخیص دهد، بهتر است از مقادیر کم α (کمتر از ۰٫۳) استفاده شود. حال در رابطه (۲-۲) به α عددی نزدیک یک (مثلاً ۰٫۹) می‌دهیم داریم:

$$F_{t+1} = 0.9 A_t + 0.9(0.1)A_{t-1} + 0.9(0.1)^2 A_{t-2} + 0.9(0.1)^3 A_{t-3} + \dots$$

$$F_{t+1} = 0.9 A_t + 0.09 A_{t-1} + 0.009 A_{t-2} + 0.0009 A_{t-3} + \dots$$

در این حالت نیز مقادیر جدیدتر نسبت به مقادیر قدیمتر ارزش بیشتری دارند اما این برتری ارزش نسبت به حالت قبل بسیار بیشتر است به طوری که وقتی $\alpha = 0.9$ باشد، ۹۰ درصد ارزش F_{t+1} متعلق به دوره t و فقط ۱۰ درصد بقیه به کلیه دوره‌های قبل از t برمیگردد. در این حالت مدیریت به آمار و ارقام جدیدتر بسیار بیشتر از آمار و ارقام قدیمتر اهمیت می‌دهد و معتقد است که آمار و ارقام جدیدتر اطلاعات بسیار بیشتری در ارتباط با آینده به او می‌دهند. به عبارت دیگر آمار و ارقام در طول دوره بسیار نوسان داشته و زمان تأثیر زیادی در میزان این تغییرات دارد. در این حالت نیز می‌توان نتیجه گرفت که اگر آمار و ارقام گذشته سازمان از نوسانات زیادی در طول دوره برخوردار

باشد و مدیریت نتواند به آمار و ارقام گذشته سازمان زیاد تکیه کند. بهتر است از مقادیر زیاد α (از ۵۰ به بالا) استفاده نماید.
 بین α (ضریب نمو هموار) و n (تعداد آمار و اطلاعات موجود) یک رابطه تجربی به صورت زیر وجود دارد:

$$n \approx \frac{2-\alpha}{\alpha}$$

و یا:

$$\alpha \approx \frac{2}{n+1} \quad (2-5)$$

در رابطه تجربی فوق فرض بر این بوده است که با استفاده از α کم ($\alpha \approx 10$) سازمانها آمار حداکثر تا ۱۹ دوره را در بر آورد دوره آینده مفید می‌دانند و همچنین با استفاده از α زیاد ($\alpha \approx 5$) سازمانها آمار حداکثر تا ۳ دوره را در بر آورد دوره آینده لازم می‌دانند. بنابراین اگر سازمانی با توجه به تجربیات گذشته خود از α کم استفاده می‌کند و سازمانی که آمار ۲۵ دوره را در بر آورد دوره آینده مفید می‌داند، نمی‌تواند از رابطه (۲-۵) استفاده کند.

۲-۲ پیش‌بینی بر مبنای گذشته: روش باکس-جنکینز^۱

یکی از روشهایی که اخیراً برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته است روش باکس-جنکینز می‌باشد. در این روش ابتدا تحلیلگر مدلی آزمایشی بر اساس اطلاعات گذشته طراحی می‌کند. سپس ضرایب متغیرهای مدل مذکور را بر آورد کرده، به کمک اطلاعات موجود مدل را مورد کنترل قرار می‌دهد تا قدرت پیش‌بینی آن سنجیده شود. در صورتی که مدل گویای اطلاعات گذشته بود می‌توان از آن برای پیش‌بینی آینده استفاده کرد. در غیر این صورت باید مدل را مورد تجدید نظر قرار داد و مراحل فوق را آنقدر تکرار کرد تا مدلی رضایت‌بخش به دست آید. در روش باکس-جنکینز باید اطلاعات زیادی در دسترس باشد و بدین جهت اغلب به کمک برنامه‌های کامپیوتر از این روش استفاده می‌شود.

1. The Box-Jenkins method

در یکی از تحقیقات انجام شده پیش بینی تعداد اتومبیلهایی که در ماه آینده شماره گذاری خواهند شد براساس اطلاعات و آمار گذشته به کمک روش باکس-جنکینز در قالب رابطه زیر نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} \text{پیش بینی} = & A_t + A_{t-11} - A_{t-12} - 0.21 e_t - 0.2 e_{t-1} - 0.85 e_{t-11} \\ & + 0.18 e_{t-12} + 0.22 e_{t-13} \end{aligned}$$

که در رابطه فوق پیش بینی تعداد ماشینهای شماره گذاری شده در ماه بعد بستگی به تعداد ماشینهای شماره گذاری شده در ماه جاری (A_t) به اضافه تغییرات فصلی که در همین ماه در سال گذشته وجود داشته ($A_{t-11} - A_{t-12}$) دارد و رابطه مذکور را در نظر گرفتن خطاهای پیش بینی ۵ ماه مختلف شامل خطای ماه جاری (e_t)، خطای یک ماه قبل (e_{t-1})، خطای ۱۱ ماه قبل (e_{t-11})، خطای ۱۲ ماه قبل (e_{t-12}) و خطای ۱۳ ماه قبل (e_{t-13}) تنظیم شده است.

پیش بینی بر مبنای گذشته-روشهای تعیین روند

در مواقعی که روند خاصی افزایشی یا کاهشی در آمار و ارقام گذشته وجود داشته باشد روشهای میانگین متحرک و نمو هموار ساده نمی توانند برای پیش بینی آینده مفید واقع شوند. در این گونه موارد روش های دیگری وجود دارند که در زیر به دو نوع آنها یعنی روش نمو هموار دابل و روش کمترین مجذورات مورد بررسی قرار می گیرند.

پیش بینی بر مبنای گذشته-روش نمو هموار دابل^۱

اگر یک روند افزایشی یا کاهش در آمار و ارقام گذشته وجود داشته باشد، نمو هموار ساده میزان پیش بینی را به ترتیب کمتر و بیشتر از میزان واقعی نشان خواهد داد. در روش نمو هموار دابل برای ارقام حاصل از نمو هموار ساده ضرایبی محاسبه شده و سعی می گردد تأثیر روند موجود در آمار و ارقام گذشته در بر آورد دوره آینده در نظر گرفته شود. برای انجام این روش مراحل زیر باید طی گردد:

- ۱- با استفاده از آمار و ارقام واقعی، ارقام نمو هموار ساده را محاسبه نمایید.
- ۲- ارقام به دست آمده از مرحله (۱) را به جای آمار و ارقام واقعی در رابطه (۲-۳) قرار داده و مجدداً ارقام نمو هموار را محاسبه کنید.
- ۳- ارقام به دست آمده از مرحله (۲) را به منظور نشان دادن روند اصلاح نمایید.

1. Double Exponential Smoothing

A+B	B	A	F*	پیش‌بینی به روش نمودار ساده (F)	تقاضای واقعی	ماه
-	-	-	-	-	۸۷	فروردین
-	-	-	۸۷	۸۷	۹۲	اردیبهشت
۸۹	۵۰۲	۸۸۰۸	۸۷۰۲	۸۸	۹۳	خرداد
۹۵۰۸۵۵	۵۰۳۶۵	۹۵۰۴۴۵	۸۷۵۶۵	۸۹	۹۸	تیر
۹۴۰۵۴۵	۵۰۶۴۸	۹۳۰۳۹۲	۸۸۰۲۵۸	۹۵۰۸	۱۵۲	مرداد
۹۷۰۸۷۲	۵۰۹۶۶	۹۶۰۹۵۶	۸۹۰۱۷۴	۹۳۰۵۴	۱۵۱	شهریور
۱۵۵۰۵۹۵	۱۰۹۱	۹۸۰۹۹۹	۹۵۰۲۶۵	۹۴۰۶۳۲	۱۵۸	مهر
۱۵۴۰۳۴۵	۱۰۳۵۸	۱۵۲۰۹۳۷	۹۱۰۶۷۳	۹۷۰۳۵۵	۱۵۷	آبان
۱۵۶۰۸۱۶	۱۰۵۱۴	۱۵۵۰۳۵۲	۹۳۰۱۸۶	۹۹۰۲۴۴	۱۱۱	آذر
۱۱۵۰۵۵۵	۱۰۶۸۲	۱۵۸۰۳۴۳	۹۴۰۸۶۷	۱۵۱۰۵۹۵	۱۱۳	دی
۱۱۲۰۸۸۶	۱۰۸۵۲	۱۱۱۰۵۸۲	۹۶۰۶۶۸	۱۵۳۰۸۷۶	۱۱۶	بهمن
۱۱۵۰۹۳۲	۱۰۹۲۶	۱۱۴۰۵۵۶	۹۸۰۵۹۴	۱۵۶۰۳۵۵	۱۱۹	اسفند

جدول شماره ۶-۷

پیش‌بینی تقاضا با استفاده از روش نمودار هموار دویبل

به عنوان مثال فرض کنید آمار و ارقام تقاضا برای محصولی در دوازده ماه گذشته به صورت جدول شماره (۶-۲) در دست باشد. ستون دوم آمار و ارقام تقاضای واقعی را نشان می‌دهد. با استفاده از این آمار و ارقام میزان پیش‌بینی از طریق روش نمو هموار ساده و $\alpha = 0.2$ محاسبه شده و نتایج آن در ستون سوم آمده است. در مرحله بعد ارقام ستون سوم به عنوان مقادیر واقعی فرض شده و براساس آنها مجدداً ارقام پیش‌بینی تقاضا با استفاده از $\alpha = 0.2$ محاسبه می‌گردد. مثلاً پیش‌بینی تقاضا برای خردادماه با استفاده از نمو هموار ساده برابر است با:

$$F_{\text{اردیبهشت}} = \alpha A_{\text{اردیبهشت}} + (1 - \alpha) F_{\text{اردیبهشت}}$$

$$= 0.2(92) + (1 - 0.2)(87) = 88$$

اگر F^* را برای مقادیر نمو هموار دابل نشان دهیم خواهیم داشت:

$$F_{\text{اردیبهشت}}^* = \alpha F_{\text{اردیبهشت}} + (1 - \alpha) F_{\text{اردیبهشت}}^*$$

اما از آنجایی که مقدار $F_{\text{اردیبهشت}}$ برای محاسبه مقدار $F_{\text{اردیبهشت}}^*$ دقیق‌تر از مقدار $F_{\text{اردیبهشت}}$ است می‌توان در رابطه فوق به جای $F_{\text{اردیبهشت}}$ مقدار دقیق‌تر آن یعنی $F_{\text{اردیبهشت}}$ را قرارداد. بنابراین:

$$F_{\text{اردیبهشت}}^* = \alpha F_{\text{اردیبهشت}} - (1 + \alpha) F_{\text{اردیبهشت}}^*$$

با جایگزین کردن مقادیر α ، $F_{\text{اردیبهشت}}^*$ و $F_{\text{اردیبهشت}}$ در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$F_{\text{اردیبهشت}}^* = 0.2(88) + (1 - 0.2)(87) = 87.2$$

بقیه مقادیر F^* به همین صورت برای ماههای دیگر محاسبه شده و نتایج آنها در ستون چهارم جدول درج گردیده است.

معمولاً وقتی يك روند صعودی در آمار و ارقام واقعی وجود داشته باشد، روش نمو هموار ساده مقادیری کمتر از مقادیر واقعی را نشان می‌دهد و به همین ترتیب روش نمو هموار دابل نیز مقادیری کمتر از مقادیر حاصل از نمو هموار ساده حاصل می‌سازد. همچنین اگر يك روند نزولی در آمار و ارقام واقعی وجود داشته باشد نمو هموار ساده مقادیری بیشتر از مقادیر واقعی را نشان داده و نمو هموار دابل نیز مقادیری بیشتر از مقادیر حاصل از نمو هموار ساده را منعکس می‌کند. در واقع تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر حاصل از نمو هموار ساده تقریباً با تفاوت بین مقادیر حاصل از نمو هموار دابل و نمو هموار ساده برابر می‌باشند. بنابراین اگر تفاوت بین مقادیر نمو هموار دابل و نمو هموار

ساده (تفاوت ستونهای سوم و چهارم) را به مقادیر نمو هموار ساده اضافه کنیم، مقادیر به‌دست آمده بسیار نزدیک به مقادیر واقعی خواهند بود. (اگر روند کاهشی وجود داشته باشد این تفاوت را باید از مقادیر نمو هموار ساده کسر نمود.) بنابراین در ستون پنجم تفاوت بین مقادیر ستونهای سوم و چهارم به مقادیر ستون سوم اضافه شده است. اگر مقادیر حاصل در ستون پنجم را با A نشان دهیم این مقدار برای خردادماه برابر است با:

$$\begin{aligned} S_{\text{خرداد}}^* - S_{\text{خرداد}}^* &= 2S_{\text{خرداد}} - (S_{\text{خرداد}}^* - S_{\text{خرداد}}^*) + S_{\text{خرداد}} = 2S_{\text{خرداد}} - S_{\text{خرداد}}^* \\ &= 2(88) - 87.2 = 88.8 \end{aligned}$$

حال باید ضریب رشد و یا ضریب کاهش را به‌دست آورد. این ضریب را با B نشان داده و آن را از رابطه (۲-۶) به‌دست می‌آوریم:

$$B_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S_t - S_t^*) \quad (2-6)$$

مثلاً مقدار B برای خردادماه برابر است با:

$$\begin{aligned} B_{\text{خرداد}} &= \frac{0.2}{1-0.2} (S_{\text{خرداد}} - S_{\text{خرداد}}^*) \\ &= \frac{0.2}{1-0.2} (88 - 87.2) = 0.2 \end{aligned}$$

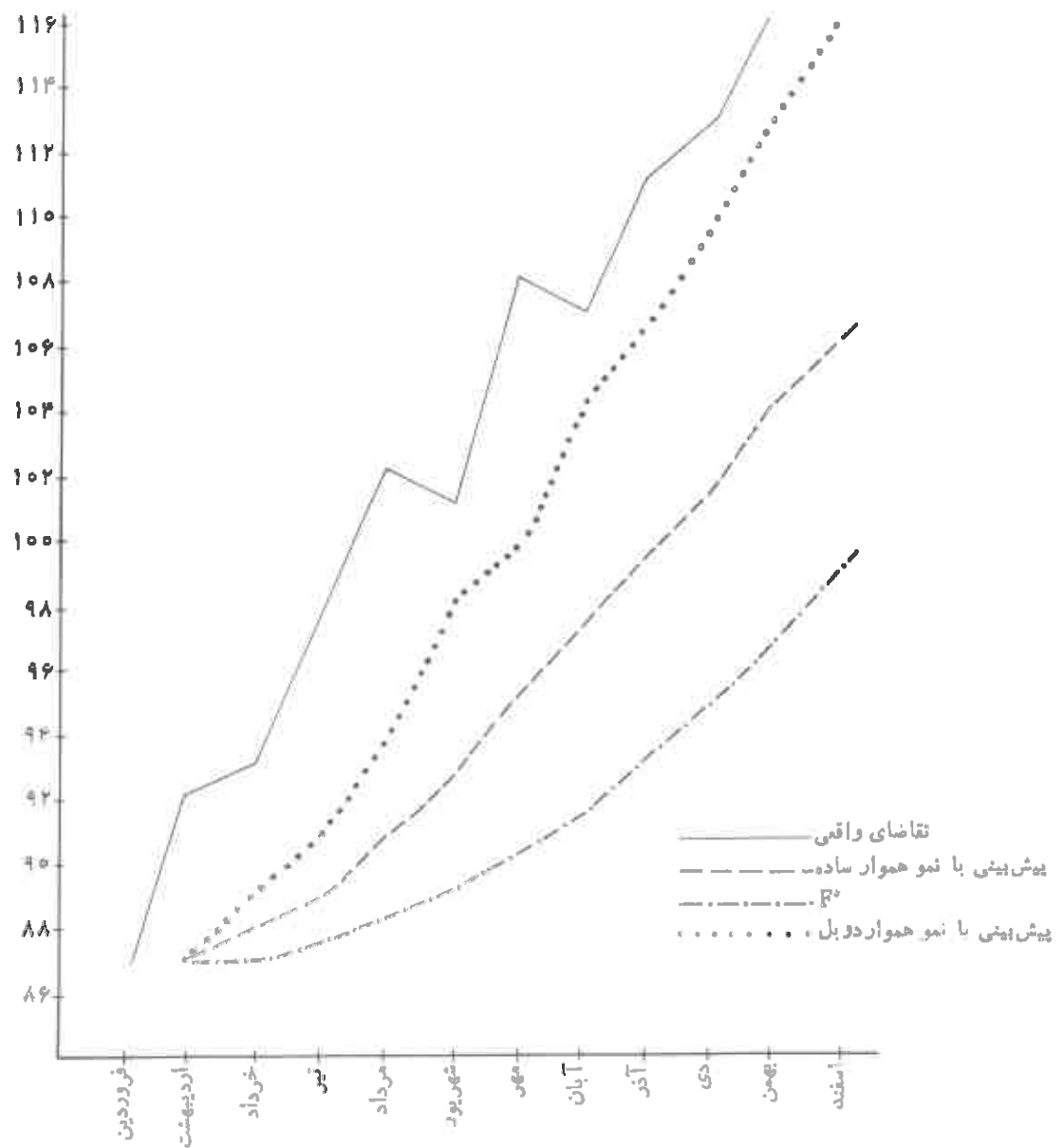
مقادیر B برای بقیه ماهها به‌همین صورت محاسبه‌گشته و نتایج آن در ستون ششم نشان داده شده است و بالاخره مقدار دقیق پیش‌بینی با استفاده از نمو هموار دوپل در ستون هفتم منعکس می‌باشد. در این ستون ضرایب رشد (ستون ششم) به مقادیر A (ستون پنجم) اضافه گشته است. شمای ترسیمی تقاضای واقعی، پیش‌بینی با نمو هموار ساده، F^* و پیش‌بینی با نمو نمودار دوپل در نمودار شماره (۲-۳) رسم شده است.

برای پیش‌بینی دوره‌هایی که بیش از یک دوره از آمار و ارقام واقعی فاصله دارند می‌توان از رابطه (۲-۷) استفاده نمود:

$$S_t = A + BX \quad (2-7)$$

که در رابطه مذکور، A و B همان مقادیر ستونهای پنجم و ششم بوده و X نیز تعداد دوره‌هایی است که از آخرین آمار و ارقام واقعی فاصله دارد. مثلاً پیش‌بینی تقاضا برای ماه اردیبهشت سال آینده با استفاده از رابطه فوق به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} S_{\text{اردیبهشت}} &= A_{\text{اسفند}} + B_{\text{اسفند}}(X) \\ &= 114.006 + 1.926(2) = 117.858 \end{aligned}$$



نمودار شماره ۳-۲

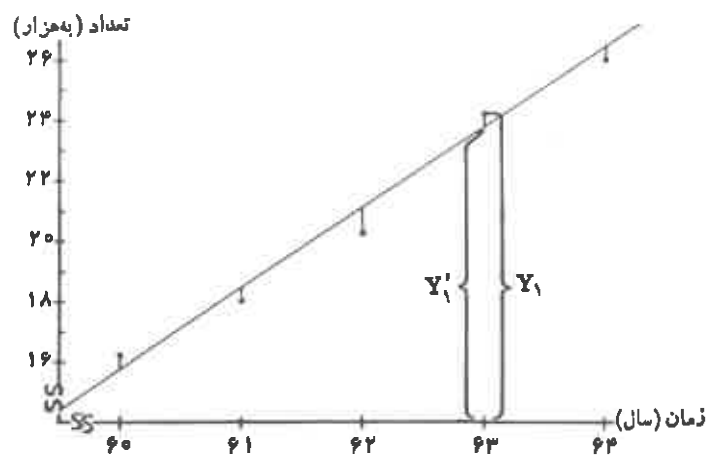
منحنی تقاضای واقعی و پیش‌بینی براساس روشهای نمو هموار ساده و نمو هموار دوبل

پیش‌بینی بر مبنای گذشته-روشن کمترین مجذورات^۱

در روش کمترین مجذورات رابطه‌ای ریاضی بین اطلاعات گذشته ایجاد کرده و سپس براساس آن به پیش‌بینی آینده می‌پردازیم. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید: تعداد خانه‌های ساخته شده توسط يك مؤسسه خانه‌سازی در سالهای گذشته به شرح زیر می‌باشد:

سال	تعداد خانه‌های ساخته شده (به هزار)
۱۳۶۰	۱۷
۱۳۶۱	۱۸
۱۳۶۲	۲۱
۱۳۶۳	۲۵
۱۳۶۴	۲۶

نمودار خانه‌های ساخته شده در نمودار شماره (۲-۴) نشان داده شده است.



نمودار شماره ۲-۴

1. Trend Projection by least square method

روابط خطی مختلفی بین نقاط داده شده در نمودار شماره (۲-۴) وجود دارد. ولی ما به دنبال یافتن خطی مستقیم هستیم که فاصله بین نقاط داده شده با آن در کمترین حد باشد. این فواصل در واقع نشان دهنده خطاهای موجود بین نقاط واقعی و خط مفروض می باشند. از آنجا که این خطها (فواصل) در بعضی موارد مثبت و در بعضی موارد منفی می باشند ما برای از بین بردن اثر خنثی کننده آنها برهم از مجذور خطاهای مذکور استفاده می کنیم. حال برای یافتن خطی که بهترین نمایشگر نقاط واقعی باشد باید خطی را به دست آوریم که مجموع مجذورات خطهای آن نسبت به هر خط دیگری در کمترین مقدار باشد. به عبارت دیگر بهترین خط خطی است که مجموع مجذور فواصل نقاط واقعی از آن خط کمترین مقدار باشد. در نمودار شماره (۲-۴) اگر تعداد خانه های ساخته شده در سال ۶۳ را به Y_1 نشان دهیم و تعداد خانه هایی که در همین سال توسط خط مفروض نشان داده می شود به Y'_1 نشان دهیم، خطای حاصل عبارت است از:

$$e_1 = Y_1 - Y'_1$$

مجذور این خطا عبارت است از:

$$e_1^2 = (Y_1 - Y'_1)^2$$

مجموع مجذورات خطاهای تمامی نقاط عبارت است از:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2$$

بر طبق تعریف این خطا باید کمترین مقدار باشد بنابراین:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2 = \text{Min}$$

از آنجایی که نقطه Y_1 روی یک خط مستقیم است و معادله خط مستقیم برابر می باشد، می توان به جای Y_1 نوشت:

$$Y_1 = a + bx_1$$

$$Y'_1 = a + bx_1$$

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - a - bx_i)^2 \quad (2-8)$$

حال از رابطه به دست آمده نسبت به متغیرهای آن یعنی a و b مشتق می گیریم:

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial a} = -2 \sum (Y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\sum (Y_i - a - bX_i) = 0$$

$$\sum Y_i = \sum a + b \sum X_i$$

طرفین رابطه را بر n (تعداد آمار و اطلاعات) تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{\sum Y_i}{n} = \frac{\sum a}{n} + b \frac{\sum X_i}{n}$$

$$\frac{\sum Y_i}{n} = \bar{Y} \quad \text{و} \quad \frac{\sum X_i}{n} = \bar{X}$$

جمله اول و سوم میانگین Y ها و X ها هستند.

از طرفی $\sum_{i=1}^n a_i = na$ است زیرا هر نقطه‌ای که روی خط مفروض قرار داشته باشد

دارای یک مقدار ثابت (a) و یک ضریب زاویه (b) می‌باشد و تمامی نقاط در مقدار ثابت مشترک هستند. بنابراین:

$$\bar{Y} = a + b\bar{X}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (2-9)$$

حال از رابطه $(2-8)$ نسبت به b مشتق می‌گیریم داریم:

$$\frac{\partial \sum e^2}{\partial b} = -2 \sum X_i (Y_i - a - bX_i) = 0$$

$$\sum X_i (Y_i - a - bX_i) = 0$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 \quad (2-10)$$

مقدار a را از رابطه $(2-9)$ در رابطه $2-10$ قرار می‌دهیم داریم:

$$\sum X_i Y_i = (\bar{Y} - b\bar{X}) \sum X_i + b \sum X_i^2$$

$$\sum X_i Y_i = \bar{Y} \sum X_i - b\bar{X} \sum X_i + b \sum X_i^2$$

$$\sum X_i Y_i - \bar{Y} \sum X_i = b(\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i)$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i} \quad (2-11)$$

در روابط فوق‌الذکر:

$a =$ نقطه تقاطع خط روند با محور y ها

$b =$ ضریب زاویه خط روند

$X_i =$ مقادیر متغیر مستقل (زمان)

$Y_i =$ مقادیر متغیر وابسته (تعداد خانه‌ها)

$\bar{X} =$ میانگین مقادیر متغیر مستقل

$\bar{Y} =$ میانگین مقادیر متغیر وابسته

$n =$ تعداد آمار و ارقام

اکنون با استفاده از روابط (۹-۲) و (۱۱-۲) می‌توان بهترین خط را که نمایانگر آمار و ارقام واقعی مثال گذشته باشد به دست آورد. برای سادگی محاسبه می‌توان سال ۱۳۶۰ را مبنا قرار داد و آن را برابر یک گرفت. برای استفاده از روابط مذکور باید مقادیر $\sum X_i Y_i$ ، $\sum X_i^2$ و \bar{Y} را به دست آوریم این مقادیر در جدول شماره (۷-۲) مندرج است.

X_i^2	$X_i Y_i$	تعداد خانه‌ها (Y_i)	سال (X_i)
۱	۱۷	۱۷	۱ (۱۳۶۰)
۲	۳۶	۱۸	۲ (۱۳۶۱)
۹	۶۳	۲۱	۳ (۱۳۶۲)
۱۶	۱۰۰	۲۵	۴ (۱۳۶۳)
۲۵	۱۳۰	۲۶	۵ (۱۳۶۴)
$\sum X_i^2 = ۵۵$	$\sum X_i Y_i = ۳۴۶$	$\sum Y_i = ۱۰۷$ $\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$ $\bar{Y} = \frac{۱۰۷}{۵}$ $\bar{Y} = ۲۱٫۴$	$\sum X_i = ۱۵$ $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$ $\bar{X} = \frac{۱۵}{۵}$ $\bar{X} = ۳$

جدول شماره ۷-۲

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i}$$

$$b = \frac{۳۴۶ - (۲۱۲۴ \times ۱۵)}{۵۵ - (۳ \times ۱۵)} = \frac{۲۵}{۱۰} = ۲.۵$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = ۲۱۲۴ - (۲.۵ \times ۳)$$

$$a = ۱۳۲۹$$

$$Y_i = a + bX_i$$

$$Y_i = ۱۳۲۹ + ۲.۵X_i$$

حال اگر بخواهیم تعداد خانه‌ها را برای سال ۶۵ پیش‌بینی کنیم باید به جای X عدد ۶ را قرار دهیم:

$$Y_{۶۵} = ۱۳۲۹ + (۲.۵ \times ۶)$$

$$Y_{۶۵} = ۲۸۲۹$$

توضیح اینکه می‌توان مبنا را هر سالی اختیار کرد، مثلاً برای سادگی محاسبات می‌توان مبنا را در سال ۱۳۶۲ برابر صفر قرار داد در این صورت محاسبات به صورت جدول (۲-۸) درخواهد آمد.

X_i^2	$X_i Y_i$	تعداد خانه‌ها (Y_i)	سال (X_i)
۴	-۳۴	۱۷	-۲ (۱۳۶۰)
۱	-۱۸	۱۸	-۱ (۱۳۶۱)
۰	۰	۲۱	۰ (۱۳۶۲)
۱	۲۵	۲۵	۱ (۱۳۶۳)
۴	۵۲	۲۶	۲ (۱۳۶۴)
$\sum X_i^2 = ۱۰$	$\sum X_i Y_i = ۲۵$	$\sum Y_i = ۱۰۷$ $\bar{Y} = ۲۱.۴$	$\sum X_i = ۰$ $\bar{X} = ۰$

جدول شماره ۲-۸

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i} = \frac{25 - 0}{10 - 0} = 2.5$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$a = 21.2 - 0 = 21.2$$

$$Y_{65} = 21.2 + 2.5 X_{65}$$

در این صورت برای پیش‌بینی تعداد خانه‌ها در سال X_{65} را باید برابر ۳ قرار داد:

$$X_{65} = 3$$

$$Y_{65} = 21.2 + (2.5 \times 3) = 28.9$$

پیش‌بینی علت معلولی - روش رگرسیون

مدل رگرسیون، مدلی است که رابطه یک متغیر Y (متغیر وابسته مثل فروش) را با یک یا چند متغیر X_1 و X_2 و ... (متغیرهای مستقل مثل تعداد خانه‌ها، مصالح ساختمانی، ...) بیان می‌کند. برای روشن شدن مطلب فرض کنید می‌خواهیم رابطه هزینه‌های بسالای سری یک سازمان را با ساعات کارگر و مقدار مواد اولیه به دست آوریم. جدول شماره (۹-۲) هزینه‌های بسالای سری هفت ماه قبل این سازمان را به همراه ساعات کارگر و مقدار اولیه نشان می‌دهد.

ماهها	هزینه‌های بسالای سری $Y \times 1000$	ساعات کارگر $X_1 \times 1000$	مقدار مواد اولیه $X_2 \times 1000$
فروردین	۳۱۱	۳۰۹	۲۰۴
اردیبهشت	۲۰۶	۳۰۶	۲۰۱
خرداد	۲۰۹	۳۰۸	۲۰۳
تیر	۲۰۷	۳۰۹	۱۰۹
مرداد	۲۰۸	۳۰۷	۱۰۹
شهریور	۳	۳۰۹	۲۰۱
مهر	۳۰۲	۳۰۸	۲۰۴

جدول شماره ۹-۲

رابطه هزینه‌های بالاسری با ساعات کارگر و مقدار مواد اولیه را می‌توان به صورت زیر برآورد کرد:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (2-12)$$

$Y =$ برآورد متغیر وابسته (هزینه‌های بالاسری)

$a =$ نقطه تلاقی با محور عمودی

X_1 و $X_2 =$ مقادیر دو متغیر مستقل (ساعات کارگر و مقدار مواد اولیه)

b_1 و $b_2 =$ ضریب زاویه X_1 و X_2

حال همانند روش کمترین مجذور است خط را محاسبه می‌کنیم و از رابطه مجذور خط‌ها نسبت به متغیرهای a ، b_1 و b_2 مشتق می‌گیریم. خواهیم داشت:

$$e = Y - Y_i$$

$$e = [Y - (a + b_1 X_1 + b_2 X_2)]$$

$$e^2 = [Y - (a + b_1 X_1 + b_2 X_2)]^2$$

$$\sum e^2 = \sum [Y - (a + b_1 X_1 + b_2 X_2)]^2$$

$$\frac{\partial \sum e^2}{\partial a} = -2 \sum (Y - a - b_1 X_1 - b_2 X_2) = 0$$

$$\sum Y = \sum a + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \quad (2-13)$$

$$\frac{\partial \sum e^2}{\partial b_1} = -2 \sum X_1 (Y - a - b_1 X_1 - b_2 X_2) = 0$$

$$\sum X_1 Y = a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 \quad (2-14)$$

$$\frac{\partial \sum e^2}{\partial b_2} = -2 \sum X_2 (Y - a - b_1 X_1 - b_2 X_2) = 0$$

$$\sum X_2 Y = a \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 \quad (2-15)$$

برای استفاده از روابط فوق نیاز به محاسبه مقادیر X_1^2 ، $X_1 X_2$ ، $X_2 Y$ ، $X_1 Y$ و X_2^2 می‌باشد. جدول شماره (۲-۱۰) این محاسبات را نشان می‌دهد.

ماده‌ها	هزینه‌های بالاسری ΣY	ساعات کارگر مقدار مواد اولیه		$\Sigma X_1 Y$	$\Sigma X_2 Y$	$X_1 X_2$	X_1	X_2	X_1^2	X_2^2
		ΣX_1	ΣX_2							
فروردین	۳۱	۳۹	۲۴	۱۲۵۹	۷۴۲	۹۲۶	۱۵۲۱	۵۷۶	۱۵۲۱	۵۷۶
اردیبهشت	۶	۳۶	۲۱	۹۳۶	۵۴۶	۷۵۶	۱۲۹۶	۴۲۱	۱۲۹۶	۴۲۱
خرداد	۲۹	۳۸	۲۳	۱۱۵۲	۶۶۷	۸۷۴	۱۴۴۴	۵۲۹	۱۴۴۴	۵۲۹
تیر	۲۷	۳۹	۱۹	۱۵۵۳	۵۱۳	۷۴۱	۱۵۲۱	۳۶۱	۱۵۲۱	۳۶۱
مرداد	۴۸	۲۷	۱۹	۱۵۳۶	۵۳۲	۷۵۳	۱۳۶۹	۳۶۱	۱۳۶۹	۳۶۱
شهریور	۳	۳۹	۲۱	۱۱۷۵	۶۳۵	۸۱۹	۱۵۲۱	۴۲۱	۱۵۲۱	۴۲۱
مهر	۲۲	۳۸	۲۲	۱۲۱۶	۷۶۸	۹۱۲	۱۴۴۴	۵۷۶	۱۴۴۴	۵۷۶
	$\Sigma Y = ۲۵۳$	$\Sigma X_1 = ۲۶۶$	$\Sigma X_2 = ۱۵۱$	$\Sigma X_1 Y = ۷۷۲۲$	$\Sigma X_2 Y = ۴۲$	$\Sigma X_1 X_2 = ۵۷۲۴۱$	$\Sigma X_1^2 = ۱۵۱۹۶$	$\Sigma X_2^2 = ۴۲۸۵$		

جدول شماره ۱۰-۲

حال مقادیر به‌دست آمده در جدول را در روابط (۲-۱۳)، (۲-۱۴)، (۲-۱۵)

قرار می‌دهیم:

$$\begin{cases} 2003 = 7a + 2696b_1 + 1501b_2 \\ 7722 = 2696a + 10106b_1 + 5721b_2 \\ 22 = 1501a + 5721b_1 + 3285b_2 \end{cases}$$

$$a = -139563$$

$$b_1 = 074614$$

$$b_2 = 067696$$

مقادیر به‌دست آمده را در رابطه (۲-۱۲) قرار می‌دهیم.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = -139563 + 074614X_1 + 067696X_2$$

حال اگر مقدار ساعات کارگر در آبان ماه ۴۱۰۰ ساعت و مقدار مواد اولیه مصرفی ۲۵۰۰ کیلو باشد می‌توان هزینه‌های سربار برای ماه فوق را به‌صورت زیر پیش‌بینی کرد.

$$Y = -139563 + 074614(41) + 067696(25)$$

$$Y = 335 \times 1000 = 3350$$

همچنین می‌توان از روش رگرسیون برای یافتن هر نوع رابطه غیرخطی بین متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل استفاده نمود. به‌مثال زیر توجه کنید:

شخصی دارای پنج مغازه شیرینی‌فروشی می‌باشد. او براساس آمار و ارقام چندسال گذشته تعداد مشتریان و میزان فروش در ساعت برای هر پنج مغازه خود را محاسبه کرده که نتایج آن در جدول شماره (۲-۱۱) منعکس می‌باشد. او در نظر دارد یک رابطه درجه ۲ بین میزان فروش (متغیر وابسته) و تعداد مشتریان (متغیر مستقل) به‌دست آورد.

یک رابطه درجه ۲ در فرم استاندارد خود به‌صورت زیر می‌باشد:

$$y = a_0 + a_1x + a_2X^2$$

همان‌طور که در مثال گذشته گفتیم هدف در روش رگرسیون یافتن ضرایب a_0 ، a_1 و a_2

مغازه i	تعداد مشتریان در ساعت (x_i)	فروش در ساعت (به هزار ریال) (y_i)
۱	۱۵۰	۲۲۰
۲	۵۵	۷۵
۳	۲۲۰	۲۵۰
۴	۱۳۰	۱۲۵
۵	۹۵	۲۰۰

جدول شماره ۱۱-۲

میزان فروش در ارتباط با تعداد مشتریان

به طوریست که مجذور خطاها کمترین مقدار باشد یعنی:

$$\sum_{i=1}^5 (y_i - [a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2])^2 = \text{Min}$$

پس از مشتق گیری مرحله ای نسبت به a_0 ، a_1 و a_2 خواهیم داشت:

$$\begin{cases} 5a_0 + (\sum x_i)a_1 + (\sum x_i^2)a_2 = \sum y_i \\ (\sum x_i)a_0 + (\sum x_i^2)a_1 + (\sum x_i^3)a_2 = \sum x_i y_i \\ (\sum x_i^2)a_0 + (\sum x_i^3)a_1 + (\sum x_i^4)a_2 = \sum x_i^2 y_i \end{cases}$$

حال باید مقادیر $\sum x_i$ ، $\sum x_i^2$ ، $\sum x_i^3$ ، $\sum x_i^4$ ، $\sum y_i$ ، $\sum x_i y_i$ و $\sum x_i^2 y_i$ را محاسبه کنیم. این محاسبات در جدول شماره (۱۲-۲) نشان داده شده اند.

$$\begin{cases} 5a_0 + 650a_1 + 99800a_2 = 890 \\ 650a_0 + 998a_1 + 172600a_2 = 1300 \\ 998a_0 + 1726a_1 + 32225 \times 10^4 a_2 = 2153 \end{cases}$$

$$a_0 \approx -657726$$

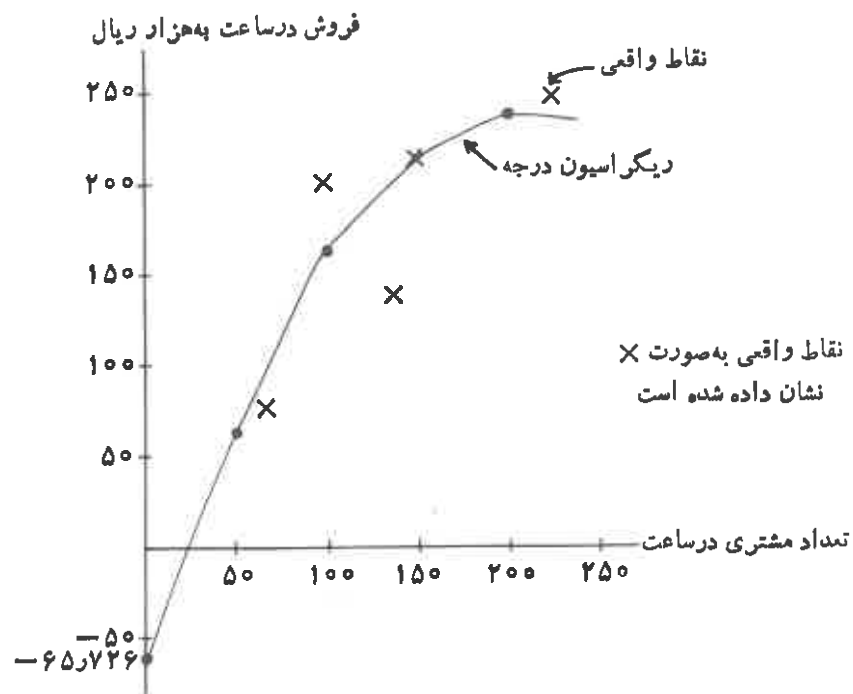
$$a_1 = 37015$$

$$a_2 = -000075$$

$x_i^2 y_i$ $\times 10^6$	$x_i y_i$ $\times 10^4$	x_i^2 $\times 10^4$	x_i^2 $\times 10^6$	x_i^2 $\times 10^4$	y_i $\times 10^2$	x_i $\times 10^2$	i
۲۲۹۵	۳۲۳۰	۵۰۰۶	۳۲۳۸	۲۲۲۵	۲۲۲۰	۱۲۵	۱
۰۲۲۳	۰۲۴۱	۰۲۰۹	۰۰۱۷	۰۰۳۰	۰۰۷۵	۰۰۵۵	۲
۱۲۲۱۰	۵۲۵۰	۲۳۲۲۳	۱۰۲۶۵	۲۲۸۲	۲۲۵۰	۲۲۲۰	۳
۲۲۴۵	۱۲۸۹	۲۲۸۶	۲۲۲۰	۱۲۶۹	۱۲۲۵	۱۲۳۰	۴
۱۲۸۰	۱۲۹۰	۰۲۸۱	۰۲۸۶	۰۲۹۰	۲	۰۰۹۵	۵
۲۱۲۵۳	۱۳	۳۲۲۲۵	۱۲۲۲۶	۹۲۹۸	۸۲۹۰	۶۲۵۰	Σ

جدول شماره ۱۲-۲

مقادیر لازم برای محاسبه ضرایب معادله درجه ۲



نمودار شماره ۵-۲

رابطه بین تعداد مشتری و میزان فروش در ساعت

حال ضرایب به دست آمده را در رابطه کلی قراردادده خواهیم داشت:

$$y = -65726 + 3015x - 00075x^2$$

شمای ترسیمی منحنی فوق همراه با نقاط تقاضای واقعی در نمودار شماره (۲-۵) نشان داده شده است.

ضریب همبستگی^۱

برای تعیین شدت و میزان رابطه بین متغیرهای مطرح شده در مدل رگرسیون از ضریب همبستگی استفاده می‌شود. ضریب همبستگی معیاری است که میزان و جهت رابطه همبستگی بین متغیرها را معین می‌سازد. ضریب همبستگی بین دو متغیر از رابطه (۲-۱۶) به دست می‌آید.

$$r = \frac{n \sum_{k=1}^n X_k Y_k - \left(\sum_{k=1}^n X_k \right) \left(\sum_{k=1}^n Y_k \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{k=1}^n X_k^2 - \left(\sum_{k=1}^n X_k \right)^2 \right] \left[n \sum_{k=1}^n Y_k^2 - \left(\sum_{k=1}^n Y_k \right)^2 \right]}}$$

ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱+ تغییر می‌کند. قدر مطلق ضریب همبستگی نشان‌دهنده شدت همبستگی و علامت آن (۱-، ۱+) جهت همبستگی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر علامت مثبت نشان‌دهنده آنست که متغیرها به همراه هم کاهش یا افزایش می‌یابند و علامت منفی نشانگر آنست که کاهش و افزایش متغیرها برخلاف یکدیگر است. همبستگی صفر (۱=۰) نشان‌دهنده آنست که همبستگی خطی بین متغیرها وجود ندارد.

زمانی که سنجش شدت و جهت رابطه بین سه متغیر موردنظر باشد ضریب همبستگی از رابطه (۲-۱۷) به دست می‌آید:

$$R = \sqrt{\frac{\Gamma_{xy}^2 \Gamma_{zy}^2 - \Gamma_{yy}^2 \Gamma_{xy} \Gamma_{zx}}{1 - \Gamma_{zx}^2}} \quad (2-17)$$

در این رابطه

متغیرهای مورد نظر x, y, z

ضریب همبستگی بین x و y r_{xy}

» » $r_{zy} = y$ و z

» » $r_{zx} = x$ و z

سایر مدل‌های پیش‌بینی علت و معلولی

به غیر از مدل رگرسیون مدل‌های دیگری نیز برای تعیین رابطه همبستگی بین متغیرها وجود دارد که در اینجا به برخی از آنها اشاره کوتاهی می‌شود:

مدل اقتصادسنجی^۱

این مدل یک مدل ریاضی است که یک رشته روابط علت و معلولی بین متغیرهای اقتصادی برقرار می‌سازد. به عبارت دیگر مدل اقتصادسنجی مرکب از یک سری معادلات رگرسیون مستقل از هم می‌باشد. این مدل دارای دقت فراوانی است و برای دوره‌های کوتاه مدت، میان‌مدت و بلندمدت قابل استفاده است. اما مدل مذکور دارای هزینه بسیاری می‌باشد.

مدل داده‌ستاده^۲

این مدل تحلیلی است بر جریان داده و ستاده‌های بین سازمان‌ها. مدل مذکور نشانگر آنست که به ازای چه میزان از داده، چقدر ستاده حاصل می‌شود. اطلاعات زیادی برای استفاده از این مدل مورد نیاز است. این مدل برای پیش‌بینی دوره‌های میان مدت و بلندمدت مفید است ولی برای دوره‌های کوتاه مدت چندان مناسب نیست. هزینه این مدل همانند هزینه مدل اقتصادسنجی زیاد می‌باشد.

مدل شاخص راهنما^۳

در این مدل یک شاخص اصلی به عنوان راهنما تعیین می‌شود و پیش‌بینیها براساس آن انجام می‌گیرد. مثلاً براساس شاخص فروش اتومبیل به طور کلی می‌توان میزان مصرف لاستیک اتومبیلها را پیش‌بینی کرد.

1. Econometric model
2. input-output model
3. Leading indicator model

مدل طول عمر^۱

این مدل غالباً برای پیش‌بینی تقاضا یا فروش محصولات جدید کاربرد دارد. مدل طول عمر روشی برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی نرخ رشد محصولات جدید می‌باشد. مراحل پذیرش محصول جدید به وسیله گروه‌های مختلف در تحلیلهای این مدل حائز اهمیت فراوان می‌باشد. مدل طول عمر بیشتر برای دوره‌های بلندمدت مفید است و هزینه آن نسبتاً مناسب می‌باشد.

پیش‌بینی به وسیله تجزیه و تحلیل سریهای زمانی^۲

سری زمانی عبارتست از اطلاعاتی در مورد يك متغیر که بر حسب زمان منظم شده است. جدول شماره (۲-۱۳) يك سری زمانی در مورد فروش كالای يك كارخانه را در طول ۷ سال نشان می‌دهد. پیش‌بینی با استفاده از سریهای زمانی برای فرض استوار است که وضعیت آینده از گذشته تبعیت می‌کند. در سریهای زمانی معمولاً چهار نوع تغییرات و نوسانات وجود دارد که عبارتند از روند^۳، تغییرات فصلی^۴، تغییرات ادواری^۵ و تغییرات نامنظم یا اتفاقی^۶.

روند عبارتست از الگوی کلی رشد یا کاهش در طول زمان. مثلاً در جدول (۲-۱۳) فروش کارخانه از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۰ رشد تقریباً ثابتی را نشان می‌دهد و این الگوی کلی را که در طول زمان نمایان می‌شود روند می‌نامند. نمودار شماره (۳-۴) نشانه این روند است. به منظور سهولت محاسبات کلیه ارقام فروش به ۱۰۰۰۰ می‌باشد.

اگر آمار فروش در يك سال خاص را در نظر بگیریم متوجه می‌شویم که در بعضی از ماههای سال فروش روبه افزایش بوده و در بعضی دیگر کاهش یافته است. این تغییرات را تغییرات فصلی می‌نامند. مثلاً فروش یخچال در تابستان بیشتر و در زمستان کمتر است. تغییرات فصلی در نمودار شماره (۲-۱۴) برای هر سال نشان داده شده است.

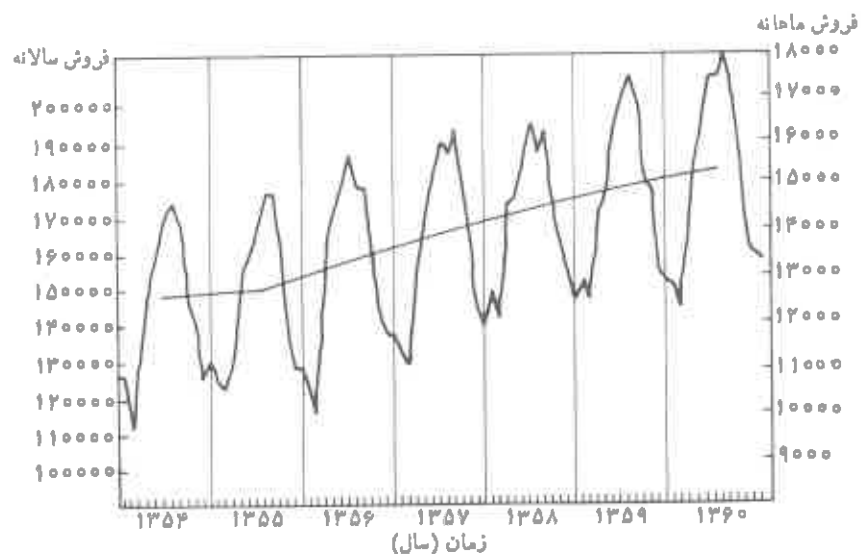
گذشته از تغییرات فصلی ممکنست تغییرات تقریباً منظمی در هر چند سال يك بار رخ دهد که این گونه تغییرات را تغییرات ادواری می‌نامند. مثلاً اثر دوران رونق، یا رکود اقتصادی را در فروش می‌توان نمونه‌هایی از تغییرات ادواری به شمار آورد.

علاوه بر تغییرات فوق‌الذکر، يك سری تغییرات دیگری وجود دارند که تابع نظم خاصی نیست و در اصطلاح آماری غیر قابل توضیح^۷ می‌باشند. این تغییرات را تغییرات

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Lifecycle model | 2. Forecasting by time Series Analyxi |
| 3. Trend | 4. seasonal variation |
| 5. cycle variation | 6. random variation |
| 7. unexplained variation | |

ماهها	۱۳۵۴	۱۳۵۵	۱۳۵۶	۱۳۵۷	۱۳۵۸	۱۳۵۹	۱۳۶۰
فرودين	۱۰۹۰۵	۱۰۷۹۶	۱۰۴۶۵	۱۱۳۰۷	۱۲۶۶۵	۱۲۸۵۹	۱۲۷۷۵
اردیبهشت	۹۷۲۷	۱۰۵۶۳	۱۰۰۰۰	۱۰۹۸۹	۱۱۹۹۹	۱۲۵۱۷	۱۲۳۴۶
خرداد	۱۱۵۰۴	۱۱۱۷۵	۱۳۶۵۵	۱۳۲۲۷	۱۲۵۹۲	۱۴۲۱۳	۱۴۷۵۲
تير	۱۲۵۹۶	۱۲۹۹۴	۱۴۳۳۱	۱۴۱۵۸	۱۴۷۸۸	۱۴۶۵۸	۱۵۹۱۱
مرداد	۱۳۳۵۷	۱۳۵۲۸	۱۴۸۸۲	۱۵۰۴۲	۱۵۷۷۶	۱۶۲۴۶	۱۷۳۷۴
شهریور	۱۴۳۸۷	۱۴۳۱۷	۱۵۶۸۱	۱۶۰۳۱	۱۶۲۴۸	۱۶۹۴۴	۱۷۴۲۴
مهر	۱۴۷۳۵	۱۴۹۱۴	۱۵۰۴۵	۱۵۷۲۹	۱۵۶۶۸	۱۴۳۷۴	۱۷۹۶۲
آبان	۱۴۱۹۳	۱۴۸۹۶	۱۵۰۳۸	۱۶۳۴۶	۱۶۲۴۸	۱۶۸۹۷	۱۷۱۶۶
آذر	۱۲۶۳۲	۱۳۴۹۶	۱۳۵۹۰	۱۴۵۲۵	۱۴۷۲۷	۱۵۱۲۷	۱۵۴۷۷
دی	۱۲۰۵۷	۱۲۲۵۸	۱۲۲۷۸	۱۳۶۸۶	۱۳۹۱۵	۱۴۸۹۸	۱۴۰۹۳
بهمن	۱۰۸۱۶	۱۰۹۶۱	۱۱۸۲۲	۱۲۵۲۱	۱۳۲۰۹	۱۴۰۷۳	۱۳۶۰۷
اسفند	۱۱۴۳۴	۱۰۹۶۶	۱۱۷۰۳	۱۱۸۰۶	۱۲۴۴۹	۱۲۹۰۷	۱۳۳۸۱
جمع کل	۱۴۸۳۴۱	۱۵۰۸۶۳	۱۵۸۴۹۰	۱۶۵۳۸۹	۱۷۲۲۸۶	۱۷۷۸۱۳	۱۸۲۲۶۸

جدول شماره ۲-۱۳
آمار فروش يك كارخانه طی ۷ سال



نمودار شماره ۶-۲

روند فروش يك كارخانه طی ۷ سال

نامنظم یا اتفاقی می‌نامند. مثلاً اثر تغییرات شدید جوی، تغییرات سیاسی و غیره بر فروش می‌تواند نمونه‌هایی از تغییرات نامنظم یا اتفاقی باشد.

برای پیش‌بینی به کمک تجزیه و تحلیل سریهای زمانی مدل‌های مختلفی وجود دارند. این مدل‌ها شامل مدل‌های ساده است که تنها روند را پیش‌بینی می‌کنند و مدل‌های پیچیده‌تر که به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی روند، تغییرات فصلی، تغییرات ادواری و تغییرات نامنظم می‌پردازند.

در قسمتهای گذشته روشهای مختلف محاسبه روند مانند میانگین متحرک، نمودار و کمترین مجذورات، مورد بررسی قرار گرفت و اکنون به بحث در مورد سایر مدل‌های تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات می‌پردازیم.

تغییرات فصلی - روشهای تعیین شاخص فصلی^۱

۱- روش میانگین درصد

همان گونه که اشاره شد تغییرات فصلی نشان‌دهنده تغییرات تقریباً منظمی در فصول

1. seasonal index

سال می‌باشند که هر ساله تکرار می‌شوند. بنابراین برای پیش‌بینی باید تغییرات مذکور را تعیین کنیم. برای تعیین این تغییرات باید شاخص فصلی را محاسبه کنیم. ساده‌ترین روش برای محاسبه استفاده از میانگین درصد می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا میانگین آمارهای مختلف سال را محاسبه می‌کنیم و سپس نسبت آمار هر ماه معین را به میانگین حاصله به دست می‌آوریم. نسبت به دست آمده را در ۱۰۰ ضرب می‌کنیم بدین ترتیب عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده ارزش متوسط است و اعداد بالای ۱۰۰ ارزشهای بیش از متوسط و اعداد زیر ۱۰۰ ارزشهای کمتر از متوسط را نشان می‌دهند. در مثال قبل متوسط فروش ماههای سال ۱۳۵۲ برابر است با:

$$\frac{148341}{12} = 12362$$

و نسبت فروش ماه فروردین به این میانگین عبارتست از:

$$\frac{10905}{12362} \times 100 = 88.2$$

نتایج بقیه محاسبات در جدول شماره (۲-۱۲) درج شده است.

با توجه به محاسبات انجام شده باید مجموع میانگینهای سالانه برابر ۱۲۰۰ گردد، در غیر این صورت باید مجموع حاصله را برابر ۱۲۰۰ قرارداد و با یک تغییر نسبی شاخص فصلی را به دست آورد. در مثال گذشته مجموع به دست آمده برابر ۱۱۹۴۹ می‌باشد. بنابراین باید کلیه میانگینها را در نسبت $\frac{1200}{11949}$ ضرب کرد تا شاخص فصلی به دست آید مثلاً شاخص فصلی فروردین ماه برابر است با:

$$\frac{1200}{11949} \times 88.2 = 85.16$$

به همین ترتیب شاخص فصلی برای سایر ماههای سال را می‌توان محاسبه کرد. نتایج این محاسبات در جدول شماره (۲-۱۳) منعکس می‌باشد. تعیین شاخص فصلی از طریق محاسبه میانگین درصد هنگامی قابل استفاده است که آمار و ارقام روند مشخصی روبه بالا یا روبه پایین نداشته باشند و تقریباً در حول یک محور افقی حرکت کنند در صورتی که روند آمار و اطلاعات صعودی یا نزولی باشد بهتر است از روش میانگین متحرک مرکزی^۱ استفاده شود.

ماد	فروشدین	ارزیدیهیشت	خورداد	تیر	مورداد	شهر-بور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۳۵۴	۸۸	۷۹	۹۳	۱۰۲	۱۰۸	۱۱۶	۱۲۰	۱۱۵	۱۰۲	۹۸	۸۷	۹۲
۱۳۵۵	۸۶	۸۲	۸۸	۱۰۳	۱۰۷	۱۱۳	۱۱۸	۱۱۸	۱۰۷	۹۷	۸۷	۸۷
۱۳۵۶	۷۹	۷۵	۱۰۳	۱۰۵	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۲	۱۱۲	۱۰۳	۹۲	۸۹	۸۸
۱۳۵۷	۸۲	۷۹	۹۶	۱۰۴	۱۰۹	۱۱۶	۱۱۲	۱۱۹	۱۰۶	۹۹	۹۱	۸۶
۱۳۵۸	۸۸	۸۲	۱۰۱	۱۰۳	۱۰۹	۱۱۳	۱۰۹	۱۱۳	۱۰۲	۹۷	۹۲	۸۸
۱۳۵۹	۸۷	۸۵	۹۶	۹۹	۱۱۰	۱۱۲	۹۸	۱۱۲	۱۰۷	۱۰۰	۸۸	۸۷
۱۳۶۰	۸۴	۸۱	۹۷	۱۰۵	۱۱۴	۱۱۵	۱۱۸	۱۱۲	۱۰۲	۹۲	۸۹	۸۸
جمع	۵۹۲	۵۶۴	۶۷۴	۷۲۳	۷۶۹	۸۰۶	۷۹۱	۸۰۶	۷۲۴	۶۷۷	۶۲۳	۶۱۶
میانگین سالانه	۸۴٫۸	۸۱	۹۶٫۲	۱۰۳	۱۰۹٫۸	۱۱۵	۱۱۳	۱۱۵	۱۰۴٫۳۴	۹۶٫۷	۸۹	۸۸
شاخص فصلی	۸۵٫۲	۸۱٫۳	۹۶٫۹	۱۰۳٫۴	۱۱۰٫۳	۱۱۵٫۵	۱۱۴٫۵	۱۱۵٫۵	۱۰۳٫۸	۹۷٫۱	۸۹٫۳	۸۸٫۲

جدول شماره ۱۴-۲
شاخص فصلی

۲- روش میانگین متحرك مركزی

برای استفاده از این روش باید مراحل زیر طی شود. برای روشن شدن مطلب فرض کنید می‌خواهیم شاخص فصلی را برای شهریورماه ۱۳۶۱ به دست آوریم.

مرحله ۱- ابتدا باید تصمیم گرفت آمار چند تعداد سالها در محاسبه شاخص فصلی مفید می‌باشند. با اینکه می‌توان برای تعیین شاخص اصلی در این روش از آمار يك سال هم استفاده کرد ولی برای داشتن يك درجه دقت معقول حداقل آمار ۲ سال لازم می‌باشد. اگر نوسانات فصلی زیاد باشد تعداد آمار سالهای بیشتری مورد نیاز است. در این مثال آمار ۵ سال را در نظر می‌گیریم.

مرحله ۲- میانگین وزنی ۱۳۲ ماه را به طوری که ماه شهریور ۱۳۶۵ در وسط این ماهها باشد محاسبه می‌کنیم. علت انتخاب ۱۳ ماه به خاطر آنست که ماه مورد نظر در وسط این مجموعه قرار گیرد. در این مثال میانگین وزنی باید بر اساس اطلاعات ماههای اسفند ۵۹ تا اسفند ۶۵ محاسبه شود. همچنانکه در جدول شماره (۱۵-۲) ملاحظه می‌شود باید به ماههای اسفند ۵۹ و ۶۰ وزن ۱ و به سایر ماهها وزن ۲ داده شود. بنابراین میانگین وزنی برابر است با:

$$= \frac{(فروش اسفند ۶۰) \times ۱ + (مجموع فروش فروردین ۶۰ تا بهمن ۶۰) \times ۲ + (فروش اسفند ۵۹) \times ۱}{۲۴}$$

$$\frac{۱ \times (۱۲۹۰۷) + ۲ \times (۱۲۷۷۵ + ۱۲۳۴۶ + ۱۲۷۵۲ + ۱۵۹۱۱ + ۱۷۳۷۴ + ۱۷۲۲۲ + ۱۳۳۸۱) + ۱ \times (۱۳۶۰۷ + ۱۴۰۹۳ + ۱۵۲۷۷ + ۱۷۱۴۶ + ۱۷۹۶۲)}{۲۴}$$

$$= \frac{۳۶۴۹۶۲}{۲۴} = ۱۵۱۶۹ \text{ میانگین وزنی فروش}$$

مرحله ۳- برای محاسبه شاخص شهریور ۶۵ باید فروش همین ماه را بر میانگین وزنی فروش تقسیم و در ۱۰۰ ضرب کنیم:

$$\frac{۱۷۴۲۴}{۱۵۱۶۹} \times ۱۰۰ = ۱۱۴٫۹$$

۱۳۶۰												۱۳۵۹		
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱		وزن

جدول شماره ۱۵-۳
ماههای مختلف با وزنهای معین شده

مرحله ۴- از آنجایی که در مرحله اول تصمیم گرفته شد آمار ۲ سال مورد محاسبه واقع شود، مراحل ۲ و ۳ را برای ۱۳ ماه دیگر تکرار می‌کنیم به‌طوری که این بار شهریور ۵۹ در وسط این ماهها قرار گیرد.
در این صورت شاخص به‌دست آمده برای شهریور ۵۹ برابر با ۱۱۴۵ خواهد بود.

مرحله ۵- میانگین شاخصهای به‌دست آمده در مراحل ۳ و ۴ را محاسبه می‌کنیم.

$$\frac{1149 + 1145}{2} = 1147$$

مرحله ۶- شاخص ماهانه را برای کلیه ماههای سال محاسبه و آنگاه مجموع آنها را بر عدد ۱۲ تقسیم می‌کنیم. مقدار به‌دست آمده را شاخص متوسط می‌نامند. اگر شاخص متوسط برابر ۱۰۰ نبود باید با انجام يك تغییر نسبی شاخصهای ماهانه را به‌دست آورد. بدین منظور شاخص هر ماه را بر شاخص متوسط تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌کنیم، مقادیر به‌دست آمده از این طریق را شاخصهای اصلاح شده می‌نامند. شاخصهای اصلاح شده فصلی برای مثال قبل در جدول شماره (۱۶-۲) نشان داده شده است.

۳- روش رگرسیون

برای محاسبه شاخص فصلی با استفاده از روش رگرسیون آمار و اطلاعات حداقل سه سال لازم است. این روش شامل ۶ مرحله به‌ترتیب زیر می‌باشد:

مرحله ۱- ضریب زاویه خط رگرسیون را با استفاده از کلیه اطلاعات موجود محاسبه می‌کنیم. در مورد مثال قبل ضریب زاویه برابر با $b = 44.2$ می‌باشد.

مرحله ۲- با استفاده از رابطه زیر تأثیر روند را از هر يك از آمارها حذف می‌کنیم.

$$DA_t = A_t - b_t$$

آمار دوره t ام پس از حذف تأثیر روند

A_t = آمار دوره t ام قبل از حذف تأثیر روند

b = ضریب زاویه خط رگرسیون

t = دوره

ماهها	محاسبه شاخص فصلی به روشهای:		
	میانگین درصد	میانگین متحرک مرکزی	رگرسیون
فروردین	۸۵٫۲	۸۵٫۹	۸۴٫۵
اردیبهشت	۸۱٫۳	۸۲٫۷	۷۹٫۸
خرداد	۹۶٫۶	۹۸٫۴	۹۷٫۴
تیر	۱۰۳٫۴	۱۰۴٫۶	۱۰۴٫۷
مرداد	۱۱۰٫۳	۱۱۱٫۳	۱۱۲٫۵
شهریور	۱۱۵٫۵	۱۱۵٫۲	۱۱۷٫۹
مهر	۱۱۳٫۵	۱۱۴٫۸	۱۱۸٫۱
آبان	۱۱۵٫۵	۱۱۴٫۵۰	۱۱۶٫۸
آذر	۱۰۳٫۸	۱۰۴٫۷	۱۰۳
دی	۹۷٫۱	۹۶٫۱	۹۴٫۹
بهمن	۸۹٫۴	۸۷٫۶	۸۶
اسفند	۸۸٫۴	۸۱٫۱	۸۴٫۴

جدول شماره ۱۶-۲

شاخصهای فصلی محاسبه شده به روشهای مختلف

در مثال قبل فروش شهریور ۱۳۶۰ برابر با ۱۷۴۲۴ ریال می باشد و این ماه هفتاد و هشتمین ماه از مجموعه ماههای مورد نظر است. بنابراین فروش شهریور ۱۳۶۰ بدون تأثیر روند برابر است با:

$$DA_{\text{شهریور ۱۳۶۰}} = ۱۷۴۲۴ - (۴۴۲ \times ۷۸) = ۱۳۹۷۶٫۲$$

مرحله ۳- مقدار DA را برای ماه مورد نظر (شهریور) در کلیه سالها محاسبه می کنیم و سپس میانگین آنها را به دست می آوریم. در مورد مثال قبل میانگین DA شهریور سالهای ۵۴ تا ۶۰ برابر ۱۴۰۰۳٫۱ می باشد.

مرحله ۲- میانگین DA را برای کلیه آمارهای موجود (۸۴ ماه) محاسبه می کنیم. این میانگین برابر با ۱۹۰۱۵ می باشد.

مرحله ۵- مقادیر DA برای هر ماه را بر میانگین DA که در مرحله ۴ محاسبه شده تقسیم می‌کنیم و حاصل را در ۱۰۰ ضرب می‌کنیم. این مقدار برای ماه شهریور برابر خواهد بود با:

$$\frac{140031}{119018} \times 100 = 117.7$$

مرحله ۶- اعداد به‌دست آمده از مرحله ۵ را جمع، و بر عدد ۱۲ تقسیم می‌کنیم. (در صورتی که دوره ماهانه باشد). اگر میانگین به‌دست آمده برابر ۱۰۰ نبود باید با انجام يك تغییر نسبی شاخصهای ماهانه را به‌دست آورد. بدین منظور شاخص هر ماه را بر شاخص متوسط تقسیم، و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌کنیم. در مورد مثال قبل متوسط شاخص ۱۲ ماهه برابر ۹۹.۸ می‌باشد که با يك تغییر نسبی شاخص شهریور برابر خواهد بود با:

$$\frac{117.7}{99.8} \times 100 = 117.9$$

بقیه شاخصها برای ۱۲ ماه سال در جدول شماره (۱۶-۲) منعکس گردیده است. شاخصهای فصلی هم برای حذف تأثیر تغییرات فصلی از سریهای زمانی و هم برای تأثیر گذاشتن تغییرات فصلی در مورد آمارهایی که فاقد اثر تغییرات فصلی هستند کاربرد دارد. برای حذف تغییرات فصلی اطلاعات و ارقام بر شاخص فصلی تقسیم، و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌شود. برای نشان دادن تأثیر تغییرات فصلی باید آمار را در شاخص فصلی ضرب، و بر عدد ۱۰۰ تقسیم کرد.

مدلهای پیش‌بینی در سریهای زمانی

در قسمتهای اول این فصل مدل‌های پیش‌بینی مسانند روش میانگین متحرك و روش نمو هموار بدون توجه به تغییرات فصلی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور نشان دادن اثر تغییرات فصلی بر پیش‌بینیها باید آمار و ارقام مورد استفاده در مدل‌های مذکور به وسیله شاخص فصلی اصلاح گردند. به عنوان مثال در روش میانگین متحرك ساده که پیش‌بینی هر دوره بر مبنای میزان واقعی يك دوره قبل استوار است با استفاده از شاخص فصلی طی مراحل زیر می‌توان به پیش‌بینی پرداخت. به فرض اگر در اول اسفندماه سال ۶۰ بخواهیم پیش‌بینی فروش را برای همین‌ماه با در نظر گرفتن تغییرات فصلی انجام دهیم باید:

الف- تغییرات فصلی بهمن‌ماه سال ۶۰ را از میزان فروش واقعی این ماه حذف

کنیم. اگر A نشان‌دهنده میزان فروش واقعی بدون در نظر گرفتن تغییرات فصلی باشد داریم:

$$A_{\text{بهمن}} = \left(\frac{Y_{\text{بهمن}}}{\text{شاخص فصلی برای ماه بهمن}} \right) \times 100$$

$$A_{\text{بهمن}} = \frac{13607}{86^*} \times 100 = 15822$$

ب- پیش‌بینی فروش اسفند ماه سال ۶۰ را با توجه به تغییرات فصلی اسفند محاسبه کنیم:

$$F_{\text{اسفند}} = \frac{\text{شاخص فصلی اسفند} \times A_{\text{بهمن}}}{100}$$

$$F_{\text{اسفند}} = \frac{15822 \times 8272}{100} = 13352$$

با توجه به جدول شماره (۱۳-۲) ملاحظه می‌شود که میزان پیش‌بینی با میزان واقعی فروش (۱۳۳۸۱) تفاوت چندانی ندارد و دارای دقت کافی می‌باشد. سایر تغییرات مانند تغییرات ادواری و نامنظم را می‌توان با روشهایی شبیه تعیین شاخص فصلی مشخص، و پیش‌بینیها را با استفاده از شاخصهای مذکور اصلاح کرد.

* شاخصهای فصلی مورد استفاده از روش دگرسیون مندرج در جدول شماره (۱۶-۲) به دست آمده است.

مسائل و تمرینات فصل دوم

۲-۱ آمار زیر در ارتباط با میزان فروش مؤسسه‌ای در سه ماه گذشته در دست می‌باشد.

ماه	تقاضای واقعی
فروردین	۱۲۰
اردیبهشت	۱۸۰
خرداد	۱۵۰

اگر میزان پیش‌بینی فروش برای ماه فروردین ۸۰ واحد بوده باشد میزان تقاضا برای ماه تیر را با استفاده از روش نمو هموار و $\alpha = 0.2$ پیش‌بینی نمایید.

۲-۲ میزان تقاضا برای يك نوع پیراهن در يك فروشگاه لباس در سه ماه گذشته به صورت زیر می‌باشد:

مدیر تولید جهت برنامه‌ریزی تولید برای فروردین ماه سال آینده نیاز به پیش‌بینی تعداد پیراهن مورد نیاز دارد. شما با استفاده از روشهای پیش‌بینی زیر، تعداد پیراهن مورد نیاز را برای ماه مذکور پیش‌بینی کرده و سپس با توجه به خطای پیش‌بینی در هر مورد روش ارجح را انتخاب نمایید.

الف- میانگین متحرك با سیکل سه ماهه.

ب- میانگین متحرك وزنی سه ماهه با وزنهای ۰.۲۵، ۰.۳۵ و ۰.۴۰ به ترتیب

ماه	تقاضای واقعی (به عدد)
مهر	۵۳۰۰
آبان	۵۷۲۲
آذر	۵۵۶۰
دی	۵۶۰۰
بهمن	۵۶۷۵
اسفند	۵۷۸۲

برای ماههای دی، بهمن و اسفند.

ج- نمو هموار با $\alpha = ۰.۲$ و $\alpha = ۰.۶$

د- نمو هموار دوبل

۲-۳ شرکت جهان نوع بخصوصی خودکار که نوک آن از طلا می باشد تولید می کند. این شرکت جهت پیش بینی تقاضای محصول خود از روش قضاوتی استفاده می کند. نوسانات اخیر قیمت طلا ضررهای زیادی را برای این شرکت به دنبال داشته است. مدیریت معتقد است که یک روش پیش بینی دقیق تر می تواند به مقدار قابل توجهی در کاهش این نوع ضررها مفید واقع گردد. جدول زیر میزان تقاضای واقعی و میزان پیش بینی شده با استفاده از روش مورد استفاده شرکت برای دوازده ماه گذشته را نشان می دهد.

الف- میزان پیش بینی تقاضا را برای ماه آینده با استفاده از روشهای زیر برآورد نمایید:

- میانگین متحرك سه ماهه

- میانگین متحرك شش ماهه

- نمو هموار با $\alpha = ۰.۲$

- نمو هموار دوبل با $\alpha = ۰.۲$

ب- نمودار پیش بینی توسط هر یک از روشهای فوق را رسم نموده و با روش مورد استفاده شرکت مقایسه نمایند. همچنین تعیین کنید که کدام یک از روشهای فوق دارای خطای پیش بینی کمتری می باشد.

ماه	پیش‌بینی تقاضا	فروش واقعی
فروردین	۷۵	۸۰
اردیبهشت	۷۵	۷۸
خرداد	۷۵	۷۰
تیر	۷۵	۶۵
مرداد	۹۰	۸۵
شهریور	۱۰۰	۱۲۵
مهر	۱۰۰	۱۰۳
آبان	۹۰	۸۵
آذر	۹۰	۱۱۵
دی	۹۰	۹۵
بهمن	۱۰۰	۹۸
اسفند	۱۴۵	۱۲۵

۴-۲ يك آزمایشگاه ظهور و چاپ عکس می‌خواهد میزان تقاضای تعداد حلقه‌های فیلم را برای ماه آینده برآورد نماید. تعداد حلقه‌های فیلمی که درش هفته گذشته جهت ظهور و چاپ دریافت داشته به صورت زیر می‌باشد:

هفته	تعداد حلقه‌های فیلم
۶ هفته پیش	۱۵۰
۵ هفته پیش	۱۸۰
۴ هفته پیش	۱۴۰
۳ هفته پیش	۲۵۰
۲ هفته پیش	۱۸۰
۱ هفته پیش	۲۰۰

الف- میزان پیش‌بینی تقاضا برای ماه آینده را با استفاده از روش رگرسیون خطی و رگرسیون درجه ۲ محاسبه نمایید.

ب- نمودار میزان تقاضای واقعی و میزان پیش‌بینی شده به وسیله هر دو روش فوق را رسم نمایید و مشخص کنید که کدامیک از دو روش در برآورد تقاضای ماه آینده بهتر به نظر می‌رسد.

ج- خطای استاندارد پیش‌بینی هفتگی را محاسبه نمایید.

۵-۲ میزان فروش یک مدل پیراهن در یک فروشگاه بزرگ پوشاک در شش ماهه اول سال به صورت زیر می‌باشد:

ماه	میزان تقاضای واقعی (فروش)
فروردین	۴۳۵
اردیبهشت	۴۲۰
خرداد	۴۸۵
تیر	۵۱۰
مرداد	۴۶۵
شهریور	۴۵۰

صاحب فروشگاه می‌خواهد میزان تقریبی فروش خود را برای مهرماه برآورد نماید. شما با استفاده از روشهای زیر میزان فروش پیراهن فوق را برای مهرماه برآورد نمایید.

الف- نمو هموار دابل

ب- رگرسیون خطی

ج- رگرسیون درجه ۲

نتایج هر سه روش را در یک محور مختصات رسم کرده و با نمودار ارقام واقعی مقایسه نمایید.

طراحی نحوه استقرار ماشین آلات و کارگاهها

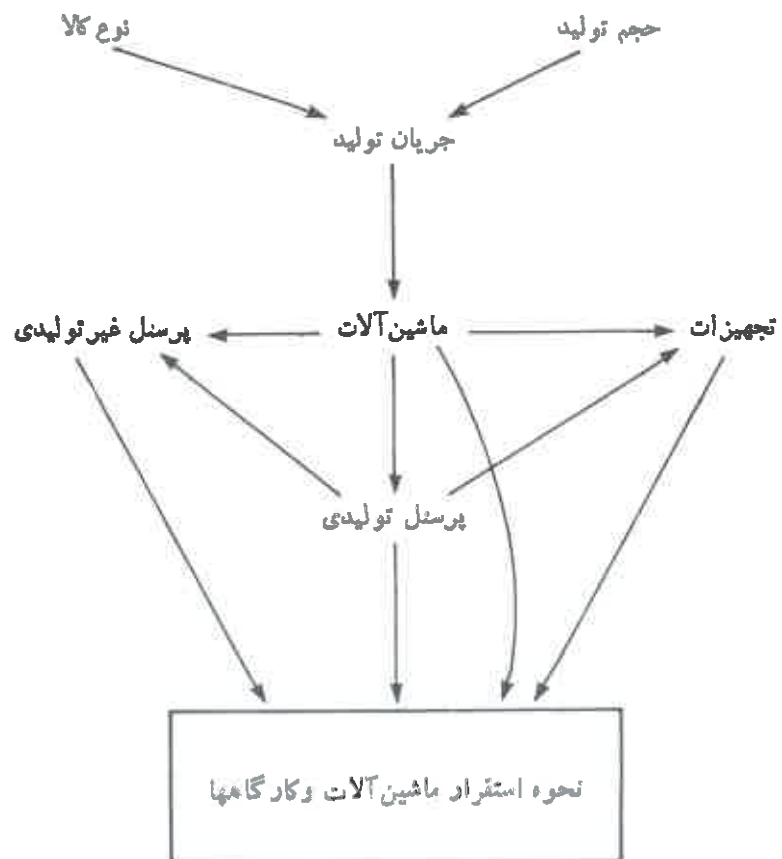
یکی از مسائل عمده در برنامه ریزی عملیاتی نحوه استقرار ماشین آلات، تجهیزات، کارگاهها و انبارها، در کارخانه می باشد. طرح استقرار، شامل تعیین محل و چگونگی ترکیب قرار گرفتن کارگاهها و وسائل و تجهیزات به نحوی است که از امکانات، مؤثرترین استفاده به عمل آید. در طراحی نحوه استقرار، عواملی چون نوع ماشین آلات و تکنولوژی مورد استفاده و ظرفیت تولیدی مؤسسه مؤثر می باشند زیرا این گونه عوامل در تعیین فضا و سطح مورد نیاز برای تولید نقش اصلی را ایفا می کنند. به عنوان مثال، نوع تکنولوژی و ظرفیت تولیدی یک مؤسسه تعیین کننده میزان موجودی انبار پای کار و موجودی انبار مرکزی می باشد. در طرح استقرار و آرایش کارگاه باید گنجایش و محل این انبارها مشخص شود. همچنین محل واحد تعمیرات و نگهداری ماشین آلات باید در جایی که معمولاً ماشین آلات در آن قسمت دچار اشکال می شوند تعیین و نحوه دسترسی سریع در ارائه خدمات تعمیراتی به آنها در نظر گرفته شود. در طرح استقرار محل انبار کالای ساخته شده نیز باید به عواملی چون حجم کالای تولیدی و ظرفیت خروجی سیستم، برنامه حمل کالا و نوع کالا توجه کرد. مثلاً اگر تولیدات کارخانه مستقیماً از انتهای خط تولید به وانگهای

1. Layout Planning

قطار برای حمل انتقال می‌یابد به فضای کمی برای انبار نیاز داریم، در صورتی که اگر کالا باید در انبار ذخیره شود نیاز به انبار بزرگتری هست.

به طور کلی پس از آنکه تعیین نوع کالا و طراحی آن توسط واحدهای مربوط انجام و حجم تولید مشخص شد، آرایش کارگاه آغاز می‌شود. هدف از آرایش کارگاه طراحی سیستمی است که قادر به تولید کالای مورد نظر به میزان خواسته شده با کمترین هزینه باشد. بدین ترتیب آرایش کارگاه و نحوه استقرار کارگاهها و ماشین آلات در تحقق هدفهای برنامه‌ریزی عملیاتی نقش حساسی را بازی می‌کنند.

نمودار شماره (۳-۱) مراحل عمده در طراحی آرایش کارگاه را نشان می‌دهد.



نمودار شماره ۳-۱

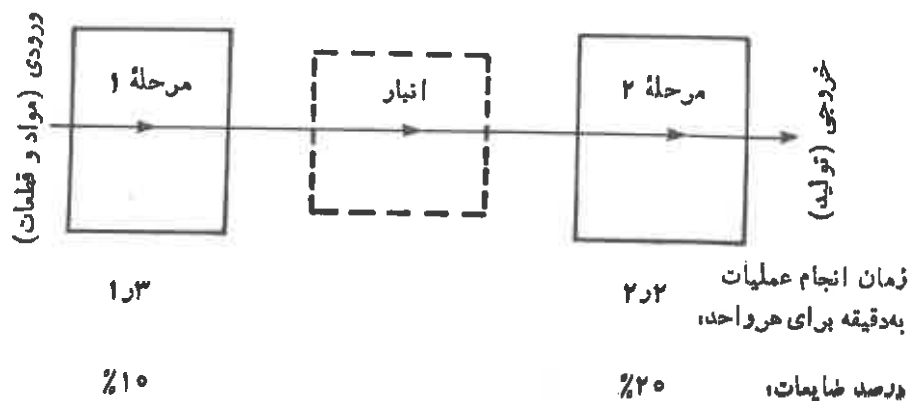
مراحل عمده در نحوه استقرار ماشین آلات و کارگاهها

همان طور که در نمودار مشخص شده نوع کالا و حجم آن، نوع جریان تولیدی را تعیین می کنند. مثلاً تولید يك كالاى معين در حجم انبوه، به يك جریان پیوسته تولیدی نیاز دارد. براساس جریان تولیدی انتخاب شده و حجم كالاى مورد نظر و همچنین با توجه به زمان انجام عملیات و بازدهی ماشین آلات، نوع و تعداد تجهیزات مشخص می شوند. با داشتن اطلاعاتی نظیر زمان كاری ماشین آلات و اضافه کردن زمانهای غیر تولیدی به آن می توان تعداد كارگرهای مستقیم تولید را برآورد كرد. به طور خلاصه تعیین كالا و حجم آن منجر به تعیین جریان تولیدی شده سپس این جریان نوع و تعداد ماشین آلات را معین می سازد که در نتیجه كارگرهای تولید مشخص می شوند. حال نوبت به افرادی می رسد که باید فعالیتهای تولیدی را پشتیبانی کنند. مثلاً ماشین آلات نیاز به تعمیرات و نگهداری دارند، مواد باید جا به جا شوند، برای اداره امور نیاز به پرسنل مدیریت و سرپرستی می باشد. تعیین ترکیب و تعداد دقیق عواملی که در بالا به آنها اشاره شد آرایش كارگاه نامیده می شود.

مثال ساده زیر نمایانگر نوع محاسباتی است که در تعیین تعداد ماشین آلات مورد نیاز برای طراحی استقرار صورت می گیرد:

مثال:

نمودار شماره (۲-۳) يك جریان تولیدی را که شامل دو مرحله متوالی می باشد، نشان می دهد، فرض کنید که میزان خروجی مورد نظر در مرحله ۲، برابر ۲۵۵ واحد در ساعت



نمودار شماره ۲-۳

جریان تولید در يك كارگاه كوچك

باشد. همچنین فرض کنید بازدهی نیروی کاری ۸۵ درصد است. سایر اطلاعات شامل زمان انجام عملیات و درصد ضایعات در نمودار شماره (۲-۳) آمده است. حال استقرار ماشین آلات مورد نیاز در مراحل ۱ و ۲ را با توجه به مفروضات زیر محاسبه می‌کنیم.

۱- جریان تولید به گونه‌ایست که وقتی کارگر بیکار است ماشین نیز بیکار می‌ماند.

۲- بین مراحل ۱ و ۲ به اندازه کافی انبار وجود دارد به طوری که در کار تولید

مراحل ۱ و ۲ از این نظر خللی وارد نمی‌شود.

۳- قطعات پس از طی هر مرحله مورد آزمایش کیفی قرار می‌گیرند.

ابتدا ورودی مرحله ۲ را محاسبه می‌کنیم. برای تولید ۲۵۰ واحد در ساعت در

مرحله ۲ و با توجه به ۲۰ درصد ضایعات، ورودی مرحله ۲ عبارتست از:

$$\text{ورودی مرحله ۲} = \frac{250}{0.80} = 312.5$$

در طرح چون هر واحد محصول نیاز به ۲۲ دقیقه زمان ماشین دارد و بازدهی نیروی کاری ۸۵ درصد است بنابراین تعداد ماشین آلات مرحله ۲ عبارتست از:

$$\text{تعداد ماشین آلات مرحله ۲} = \frac{312.5(22)}{60(0.85)} \approx 11$$

حال به مرحله ۱ برمی‌گردیم و ورودی مرحله ۱ را محاسبه می‌کنیم. از آنجا که خروجی مرحله ۱ برابر ورودی مرحله ۲ می‌باشد، با توجه به مقدار ضایعات مرحله ۱ داریم:

$$\text{ورودی مرحله ۱} = \frac{312.5}{0.90} \approx 347.2$$

$$\text{تعداد ماشین آلات مرحله ۱} = \frac{347.2(13)}{60(0.85)} \approx 7$$

مثال بالا مثال ساده‌ای بود که در آن عوامل بسیاری نظیر زمان تعمیرات ماشین آلات، غیبت‌های احتمالی کارگران و بسیاری از موارد دیگر در نظر گرفته نشده بودند.

انواع روش‌های نحوه استقرار

قبل از آنکه به شرح انواع روش‌های نحوه استقرار بپردازیم بی‌مناسبت نیست اشاره‌ای به دو نوع کلی سیستم‌های تولیدی و خدماتی بکنیم؛ زیرا روش‌های نحوه استقرار با توجه به نوع سیستم عملیاتی شکل می‌گیرند. اساساً دو نوع سیستم پیوسته و ناپیوسته در عملیات

تولیدی و خدماتی وجود دارند که در هر يك از آنها نحوه استقرار ماشین آلات و تجهیزات متفاوت می باشند.

سیستم پیوسته^۱

در سیستم پیوسته، تولید به طور انبوه و برای کالاهای یکسان صورت می گیرد. ماشین آلات تخصصی است و کارگران با تخصصهای عمومی می توانند کارها را انجام دهند. برنامه تولید کمتر تغییر می کند و کالاها به طور استاندارد تولید شده، بفروش رسیده، یا انبار می شوند. در این سیستم معمولاً بین بار ماشین آلات توازن برقرار است. در مورد خدمات نیز مشخصات سیستم همین گونه است و خدمات یکسانی به طور انبوه ارائه می شوند.

سیستم ناپیوسته^۲ (سفارشی)

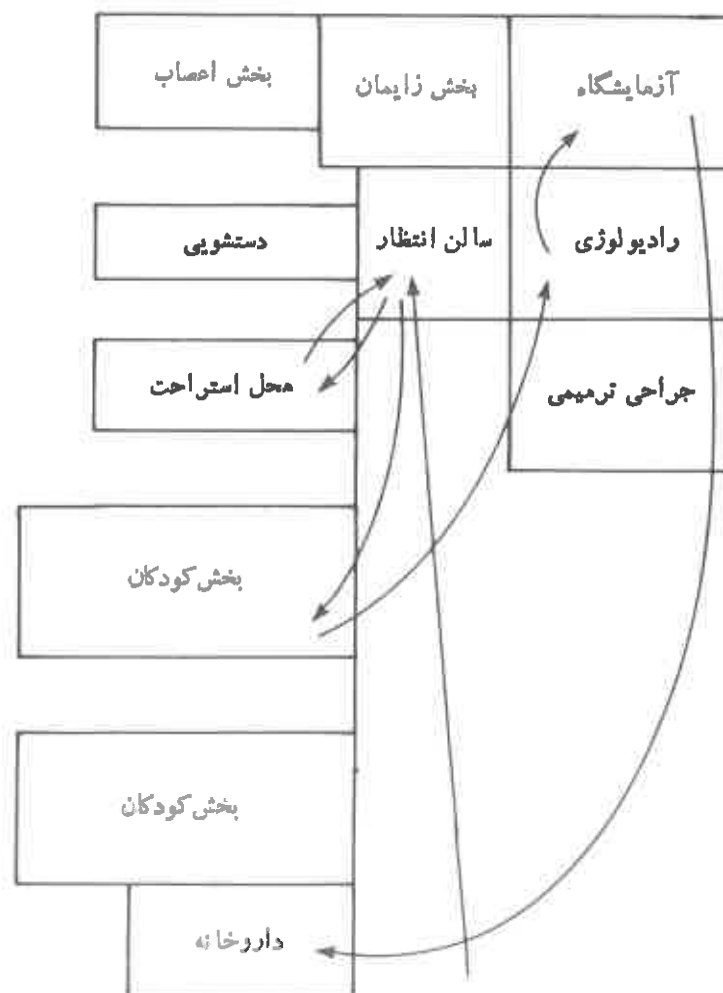
در این سیستم تولید به صورت کالاهای گوناگون و متنوع و در حجم کم انجام می گیرد. ماشین آلات در این سیستم کاربرد عمومی دارد و این کارگر متخصص است که باید کارهای مختلف را با این ماشین آلات عمومی انجام دهد. برنامه تولید همواره تغییر می کند و کارها بر اساس سفارشات دریافت شده انجام می پذیرد. در مورد خدمات نیز مشخصات سیستم همین گونه است و برای هر مشتری خدمتی مطابق درخواست او انجام می شود. حال به ذکر انواع روشهای نحوه استقرار می پردازیم. اصولاً می توان روشهای مذکور را به سه نوع کلی تقسیم کرد.

۱- نحوه استقرار براساس فرآیند تولید^۳

این نوع نحوه استقرار زمانی به کار گرفته می شود که جریان کار استاندارد و یکنواخت نباشد و تمام کالاهای مورد ساخت یکسان نیستند. بنا بر این این نحوه استقرار در سیستم سفارشی مورد عمل فراوان دارد. جریانهای غیر استاندارد کار، زمانی رخ می دهند که ما کالاهای متفاوت و مختلفی تولید می کنیم یا زمانی که يك نوع خاص کالا به صورتها و اشکال متفاوت تولید می شود. در روش استقرار براساس فرآیند تولید اجزاء، فرآیند تولید

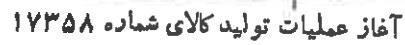
1. continuous system of operations
2. intermittent system of operations
3. Process layout

(کارگاهها و قسمتهای تولید و تجهیزات) براساس نوع وظیفه‌ای که انجام می‌دهند در کنار هم قرار می‌گیرند. مؤسسات توزیع‌کننده کالا، درمانگاهها، بیمارستانها و دانشگاهها نمونه‌هایی از فعالیتهایی را نشان می‌دهند که با این نحوه استقرار سازگار می‌باشند. در شکل (۳-۳) نحوه استقرار براساس فرآیند ارائه خدمات در يك درمانگاه را مشاهده می‌کنید.



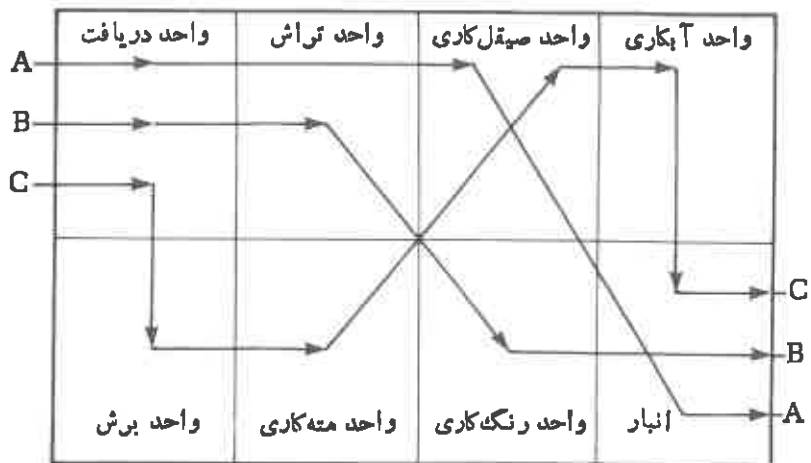
شکل ۳-۳

«نمونه‌ای از حرکات و جابه‌جاییهای يك بیمار»
نحوه استقرار براساس فرآیند تولید در يك درمانگاه



شکل ۴-۳

نحوه استقرار بر اساس فرآیند تولید در ساخت یک کالای خاص



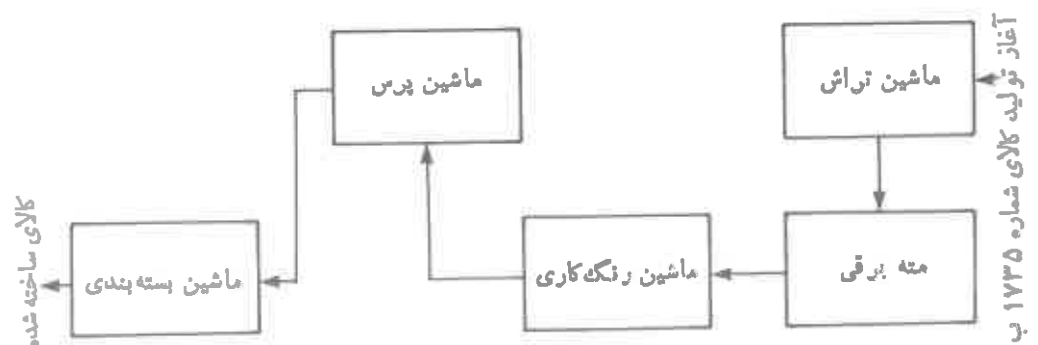
شکل ۴-۵

نحوه استقرار براساس فرآیند تولید در ساخت یک کالای خاص

مشخصه دیگر این نحوه استقرار آنست که ماشین آلات و تجهیزات مشابه در کنار هم قرار می گیرند و کالا برای ساخت یا مشتری برای کسب خدمات به مجموعه های فوق فرستاده می شود. شکل های (۳-۴) و (۳-۵) نحوه استقرار بر اساس فرآیند تولید را در یک مؤسسه تولیدی نشان می دهند.

۲- نحوه استقرار بر اساس نوع تولید یا خدمات^۱

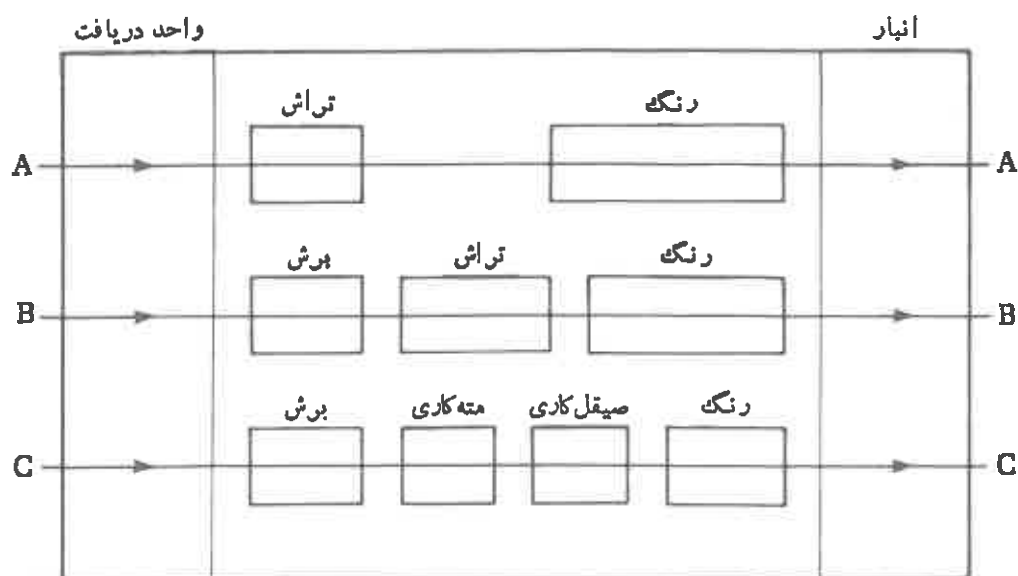
این نحوه استقرار زمانی به کار گرفته می شود که یک کالا یا خدمت استاندارد و مشابه به میزان بسیار زیاد تولید و عرضه می شود. همان طور که می توان حدس زد این نحوه استقرار با سیستم تولید پیوسته تناسب بیشتری دارد. هر واحد تولید به یک سری عملیات مشابه نیاز دارد و این نیاز برای تمام واحدها یکسان است. بدین ترتیب در این نحوه استقرار ماشین آلات، تجهیزات و کارگاهها به طور متوالی و متناسب با نظم عملیات تولیدی یا خدماتی خواهد بود. هر کارگاهی قسمت خاصی از عملیات تولید را انجام می دهد و کالا به قسمت بعدی برای تکمیل فرستاده می شود. ماشین شوییهای خودکار (کارواش)، سلف سرویسها، خط مونتاژ اتومبیل و کارخانه های نوشابه سازی نمونه های خوبی از کاربرد این نحوه استقرار را نشان می دهند. شکل های (۳-۶) و (۳-۷) نمونه هایی از این نحوه استقرار را در یک واحد تولیدی و شکل (۳-۸) نحوه استقرار در یک ماشین شویی اتوماتیک (کارواش) را نشان می دهند.



شکل ۳-۶

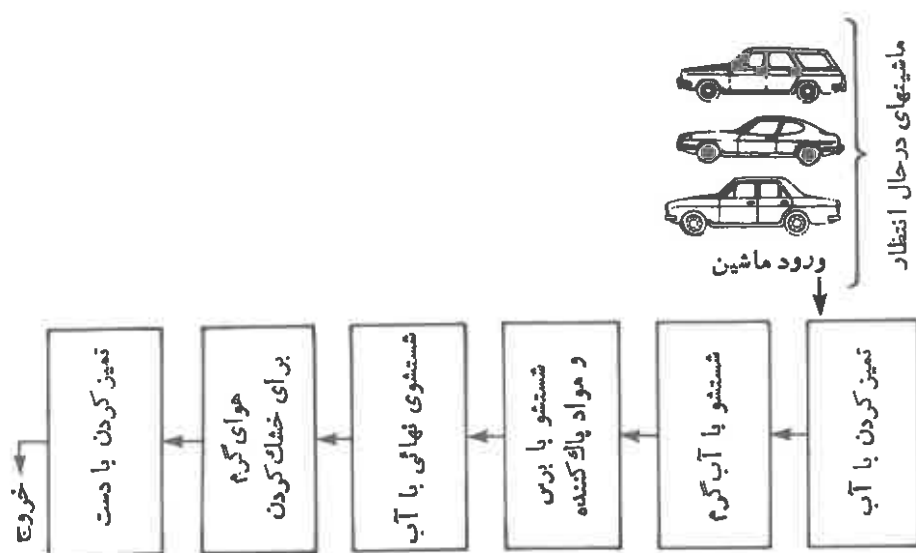
نحوه استقرار بر اساس نوع تولید

1. Product Layout



شکل ۳-۷

نحوه استقرار براساس نوع تولید



شکل ۳-۸

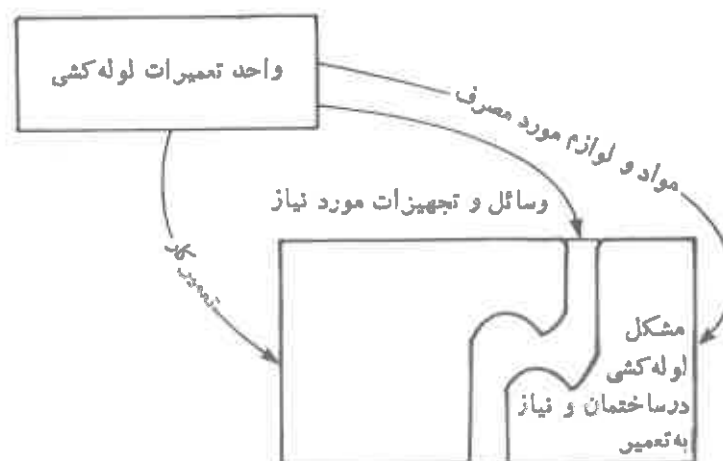
نحوه استقرار در یک ماشین شویی خودکار (کارواش)

۳- نحوه استقرار در حالت ثابت^۱

زمانی این نوع نحوه استقرار مورد استفاده قرار می‌گیرد که به علت اندازه و حجم، شکل، یا هر خصوصیت دیگری امکان حرکت دادن تولید وجود ندارد. در نحوه استقرار در حالت ثابت تولید در جای خود ثابت بوده و ابزار و تجهیزات بر حسب نیاز برای تکمیل تولید به پای کار آورده می‌شوند. برای ساختن کشتی، هواپیما و لکوموتیو اغلب از این نوع نحوه استقرار استفاده می‌شود و در عملیات کشاورزی که خدمات کود دادن، شخم زدن، بندپاشی و درو به وسیله تجهیزات در مزرعه انجام می‌گیرد در واقع نحوه استقرار در حالت ثابت می‌باشد. شکل (۳-۹) تعمیرات لوله کشی ساختمان را نشان می‌دهد که تجهیزات برای انجام تعمیر به پای کار آورده می‌شود. همچنین شکل (۳-۱۰) نشان دهنده نحوه استقرار در حالت ثابت برای مونتاژ واگنهای قطار می‌باشد.

به طور کلی هر سازمانی ترکیبی از انواع روشهای استقرار را مطابق نیازهای خود به کار می‌گیرد و این امر بیشتر در مورد نحوه استقرار، نوع تولید و فرآیند تولید مصداق دارد.

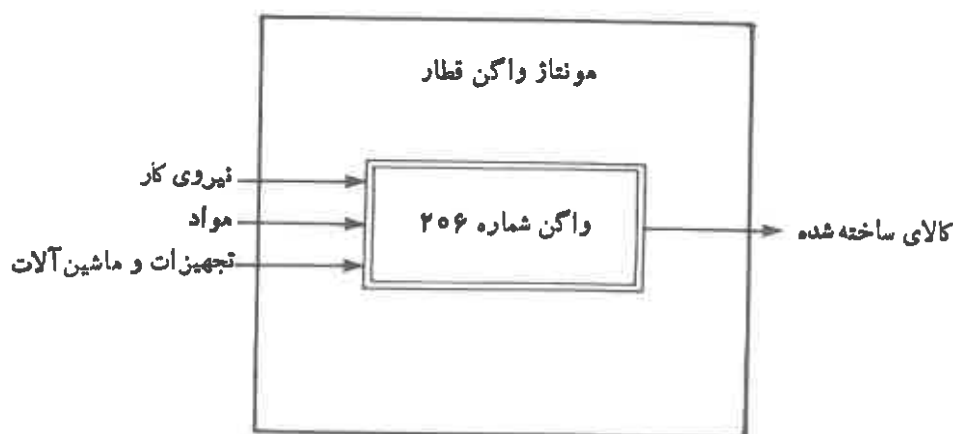
انتخاب و به کار گیری نحوه درست استقرار به عوامل متعددی بستگی دارد، از آن



شکل ۳-۹

نحوه استقرار در حالت ثابت برای تعمیر لوله کشی ساختمان

1. fixed-Position Layout



شکل ۳-۱۰

نحوه استقرار در حالت ثابت برای مونتاژ واگنهای قطار

جمله حجم و میزان تولید یا خدمات، چگونگی استاندارد بودن و یکپارختی کالا یا خدمات، مشخصات فیزیکی کالا، تکنولوژی مورد استفاده و منابع مالی، همه در انتخاب نحوه استقرار مؤثر می‌باشند. جدول شماره (۳-۱) وجوه افتراق بین سه روش کلی نحوه استقرار را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

مدلهای نحوه استقرار براساس فرایند تولید

مدلهای مختلف در برنامه‌ریزی و طراحی نحوه استقرار مفید می‌باشند، مدلهای ریاضی می‌توانند در تحلیل و تفهیم مسأله به‌مدیر کمک کنند، مدلهای کامپیوتری می‌توانند نتایج سریعی را به‌دست دهند، و مدلهای فیزیکی مانند ماکت^۱ و مدلهای مقیاسی^۲ می‌توانند ما را در تجسم جنبه‌های فیزیکی نحوه استقرار یاری دهند. در این قسمت به بحث درباره مدلهای ترسیمی، مدل حرکت و مسافت، مدل ارتباط فعالیتها و مدل کرافت می‌پردازیم. مدل اول در هر سه نوع نحوه استقرار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما نوع دوم و سوم بیشتر در نحوه استقرار براساس فرآیند تولید کاربرد دارند.

1. template

2. scale models منظور مدلهایی است که به‌مقیاس معینی نسبت به اندازه اصلی کوچک شده

منهضات عملیات تولید	نوعه استقرار بر اساس نوع تولید	نوعه استقرار بر اساس فرایند تولید	نوعه استقرار در حالت ثابت
منهضات کالا	نوعه استقرار متناسب با تولید يك كالاى استانه‌دارد و يكسان در حجم انبوه و به‌ميزان ثابت است.	نوعه استقرار متناسب با تولید كالاهاى متنوع، در حجم‌هاى متفاوت و به‌ميزان متغير است.	نوعه استقرار برائى يك كالاى خاص و تكى است.
جریان تولید کالا	خط تولید مستقیم و توانای جریان تولید برای تمامی واحدهای تولید يكى است.	جریان تولید متفاوت است و هر كالا به‌عملیاتی خاص برای ساخت نیاز دارد.	واحد تولید حرکت داده نمی‌شود و تجهیزات پای کار آورده می‌شوند.
مهارت‌های لازم نیروی انسانی	مهارت انجام کارهای یکپارچه و تکراری در زمان معین، انجام امور تخصصی كاملاً دقیق.	مهارت انجام امور متنوع در يك زمینه خاص و قدرت تطبیق.	انعطاف پذیری در انجام امور، قدرت انجام امور خاص و معین در مكانهاى مختلف.
کادر پشتیبانی	کارکنان اداری و کادر پشتیبانی برای برنامهریزی مواد، نیروی انسانی، تجزیه و تحلیل کار و انجام تعمیرات و نگهداری.	کادر پشتیبانی برای برنامهریزی مواد، اخذ سفارشات، و کنترل موجودی.	کادر پشتیبانی برای برنامهریزی و هماهنگی.
مواد مورد نیاز	مواد مورد نیاز قابل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی و ثابت است.	مواد مورد نیاز كاملاً قابل پیش‌بینی نیست و متغير می‌باشد.	مواد مورد نیاز قابل پیش‌بینی است و متنوع می‌باشند.

جدولی شماره ۱-۳

منهضات انواع سه‌گانه نوع استقرار

مثال:

در طراحی و ساخت يك واحد تولیدی یکی از کارهای اولیه فهرست کردن وسائل و تجهیزاتی بود که باید در موتورخانه کار گذاشته می شدند. این قسمت بعداً به ساختمان اصلی متصل می گردید. ابتدا ابعاد این قسمت و اندازه و ارتفاع دیگهای بخار، کمپرسورهای هوا، پمپهای آب و سایر وسائل تعیین شدند. سپس در مقیاس کوچکتر به اندازه هر يك از تجهیزات مدل‌های ساده‌ای برش داده شد و نهایتاً این مدل‌ها در صفحه‌ای که در مقیاس کوچکتر نشانگر قسمت مورد نظر بود جا به جا شد تا شقوق مختلف نحوه استقرار به دست آیند و بهترین آنها انتخاب شوند. پس از انتخاب یکی از انواع، سرپرست قسمت نگهداری نظر داد که برای تمیز کردن دیگهای بخار باید یکی از دیوارها برداشته شود یا محل استقرار آن تعویض گردد. بعد از جا به جایی نظر گروه دیگری از افراد فنی نیز خواسته شد و براساس نظرات ابراز شده نحوه استقرار مطلوب معین شد.

مدل‌های توسیمی^۱

شاید یکی از متداولترین تکنیکهای نحوه استقرار به کارگیری مدل‌های دوبعدی است. این مدل‌ها از طریق آزمایش و خطا در زمینه و صحنه مورد نظر آنقدر جا به جا می شوند تا مطلوبترین ترکیب و نحوه استقرار به دست آید. این روش برای هر سه نوع نحوه استقرار به کار می رود و گاهی اوقات نیز به طور سه بعدی و به صورت ماکت مورد استفاده قرار می گیرد.

مدل حرکت - مسافت^۲

در يك کارخانه که محصولات متفاوت تولید می کند، جریان کار هر روز با روز قبل متفاوت می باشد و باید مواد بسیاری دریافت و کالاهای مختلفی تحویل داده شوند، جریان ساخت کالاها یکسان و استاندارد نخواهند بود. هر کالا برای ساخت باید حرکات مختلفی را انجام دهد و بین کارگاهها و ماشینهای مختلف رفت و برگشت داشته باشد. در يك درمانگاه نیز يك بیمار سرپایی ممکنست بین شش قسمت مختلف رفت و آمد داشته باشد. اگر چه مسیر حرکت هر کالا بستگی به نوع آن کالا دارد اما در هر حال هر کالایی باید بین کارگاهها و ماشین آلات مختلف به حرکت در آید. همه این حرکات هزینه دربردارند و بدین جهت مدیران عملیاتی باید بکوشند این حرکات را به حداقل ممکن تقلیل دهند. البته حرکات به تنهایی عامل هزینه ساز نیست، بلکه مسافت طی شده نیز در حرکات مؤثر می باشد.

يك حرکت طولانی مسلماً هزینه‌ای بیش از يك حرکت کوتاه در بر دارد. در مدل حرکت-مسافت، تعداد حرکات يك کالا و فاصله طی شده مورد نظر می‌باشد. در این مدل کوشش می‌شود تا عامل C که هم تعداد حرکات و هم فاصله طی شده را نشان می‌دهد، حداقل گردد. عامل C را می‌توان اثر بخشی نحوه استقرار نامید.

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij} D_{ij} \quad (3-1)$$

در این مدل:

$N =$ تعداد کارگاهها و ماشین‌آلات

$L_{ij} =$ تعداد حرکات کالا بین کارگاهها و ماشین‌آلات

$D_{ij} =$ مسافت بین کارگاهها و ماشین‌آلات

در بسیاری موارد وسائل و تجهیزات حمل و نقل مواد بین کارگاههای مختلف متفاوت می‌باشند و به همین دلیل هزینه واحد مسافت طی شده بین کارگاههای مختلف نیز یکسان نخواهند بود. در این گونه موارد هزینه عامل C باید محاسبه شده و بهینه گردد.

برای محاسبه هزینه عامل C می‌توان يك واحد حرکت-مسافت (K_{ij}) را در رابطه (۳-۱) ضرب کرد به عبارت دیگر:

$$C_e = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij} D_{ij} K_{ij} \quad (3-2)$$

از رابطه فوق

هزینه حرکت يك واحد کالا از نقطه i به j K_{ij}

برای محاسبه عامل C ابتدا تعداد حرکات (L_{ij}) که بین کارگاههای مختلف انجام می‌گیرد را در يك دوره زمانی معین (مثلاً يك سال) برآورد می‌شود و نتایج آن در جدولی ماتریس مانند خلاصه می‌شود. نمونه این جدول برای يك کارگاه خاص در جدول (۳-۲) آمده است. اعداد مندرج در این جدول تعداد حرکات بین کارگاهها را نشان می‌دهند مثلاً عدد ۲۲۵ نمایانگر تعداد حرکات بین کارگاه ۲ و ۱ می‌باشد.

برآوردهای مذکور می‌توانند از اطلاعات تولید در گذشته، تجزیه و تحلیل جریان کار، یا از اطلاعات برنامه‌ریزی تولید به دست آید. مرحله بعدی تعیین فاصله (D_{ij}) بین کارگاهها و ماشین‌آلات مختلف است. این فواصل

بستگی به نحوه استقرار ماشین آلات و کارگاهها در برنامه دارد که فعلاً به صورت مقدماتی پیش بینی شده است. با استفاده از معادله (۳-۱) می توان اثر بخشی نحوه استقرار را با این اطلاعات تعیین کرد و با تغییراتی در نحوه استقرار محاسبه را تکرار و نهایتاً بهترین نحوه استقرار را به دست آورد.

کارگاهها	۵	۴	۳	۲	۱
۱	۳۷۰	۴۰۰	۱۳۰	۲۲۰	—
۲	۴۷۰	۴۰۰	۰	—	
۳	۴۰۰	۱۵۰	—		
۴	۱۰۰	—			
۵	—				

جدول شماره ۳-۲

برآورد تعداد حرکات کالا بین کارگاهها و ماشین آلات مختلف

اگرچه اثر بخشی نحوه استقرار تماماً به وسیله معادله (۳-۱) سنجیده نمی شود اما طرحهای مشابه را می توان از جهت هزینه های حمل و نقل به وسیله این معادله ارزیابی کرد. حال وضعیت دیگری را در نظر بگیریم. همان طور که در شکل (۳-۱۱) ملاحظه می کنید شش کارگاه به شش محل به چهار صورت مختلف اختصاص یافته اند. در تمامی این طرحها کوشش شده تا کارگاههای زیر حتی الامکان نزدیک هم قرار داشته باشند:

۱-۲ و ۲-۵ و ۱-۴ و ۵-۶ و ۴-۵ و ۲-۳ و ۱-۲

بنابراین از نظر طرز قرار گرفتن واحدها نسبت به هم این چهار طرح مشابه هم می باشند و طرح دیگری نمی تواند هزینه حمل و نقل بین کارگاهها را کمتر کند.

از این رو ما باید جریان کالا بین کارگاههای غیر مجاور یعنی ۴-۶ و ۳-۴ و ۱-۶ و ۱-۳ را ارزیابی کنیم. این بدان معناست که محاسبه D_{ij} فقط در مورد جریان کالا بین کارگاههای غیر مجاور انجام می گیرد. روش کار آزمایش و خطا است و یافتن بهترین نتیجه تضمین نمی شود. این مورد در مثال بعدی به طور واضحی بیان شده، پس از مطالعه آن شما قادر خواهید بود به تجزیه و تحلیلهای ساده نحوه استقرار پردازید.

۱	۲	۳
۲	۵	۶

۲	۵	۶
۱	۲	۳

۲	۲	۳
۱	۵	۶

۲	۵	۳
۱	۲	۶

شکل ۳-۱۱

طرق ممکن نحوه استقرار با توجه به مجاورت کارگاههای مورد نظر

مثال:

شرکت الف توزیع کننده لوازم و کابینتهای آشپزخانه به طور عمده می باشد. انواع کالاها پس از تولید انبار شده و سپس بر اساس سفارشات دریافت شده برای متقاضیان که اغلب پیمانکاران ساختمانی می باشند ارسال می شود. تمام سفارشات به وسیله یک جراثقال کوچک به محل بسته بندی مرکزی حمل و در آنجا بسته بندی می شود. سپس بسته بندیها به وسیله جراثقال به قسمت ارسال و دریافت کالاها فرستاده می شود. ما می خواهیم نحوه استقرار شرکت را ارزیابی کنیم و در جهت کاهش هزینه ها اصلاحات لازم را به عمل آوریم.

نحوه استقرار فعلی انبارها در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است. قسمت شماره ۱ واحد دریافت و ارسال کالا می باشد و قسمت شماره ۹ واحد بسته بندی است. چهارده قسمت دیگر انبار کالاهای مختلف می باشند.

	۲	۳	۴	۵	۶
قسمت شماره ۱ دریافت و ارسال کالا	۷	۸	قسمت شماره ۹ واحد بسته بندی	۱۰	۱۱
	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶

شکل ۳-۱۲

نحوه استقرار موجود در شرکت الف

طراحی نحوه استقرار... □ ۱۳۳

عمدتاً نقل و انتقال کالا بین واحد بسته بندی و سایر قسمت‌ها می‌باشد. کالاها از تمام قسمت‌ها به قسمت شماره ۹ انتقال می‌یابند و فقط از این قسمت است که به قسمت شماره ۱ منتقل می‌شوند.

بررسی اطلاعات مربوط به دو سال اخیر نشان می‌دهد که میانگین سالانه تعداد حرکت کالاها از قسمت‌های ۲ تا ۸ به قسمت ۹ عبارت بوده‌اند از:

۸-۳۳۰ ، ۷-۱۶۰ ، ۶-۱۵۰ ، ۵-۱۴۰ ، ۴-۳۲۰ ، ۳-۸۰ و ۲-۵۰۰
و همچنین میانگین تعداد حرکت کالاها از قسمت‌های ۱۰ تا ۱۶ به قسمت ۹ عبارت بوده‌اند از:
۱۶-۵۰۰ ، ۱۵-۲۴۰ ، ۱۴-۱۰۰ ، ۱۳-۲۴۰ ، ۱۲-۱۴۰ ، ۱۱-۱۰۰ و ۱۰-۲۵۰
جریان کالاها از قسمت ۹ به قسمت ۱ عبارت بوده از: ۲۵۰۰

قسمت‌های مجاور واحد بسته بندی			
قسمت‌های مجاور	واحد مسافت بین قسمت‌ها (D_{ij})	تعداد حرکات بین قسمت‌ها (L_{ij})	$L_{ij}D_{ij}$
۳-۹	۱	۸۰	$۱ \times ۸۰ = ۸۰$
۲-۹	۱	۳۲۰	$۱ \times ۳۲۰ = ۳۲۰$
۵-۹	۱	۱۴۰	$۱ \times ۱۴۰ = ۱۴۰$
۸-۹	۱	۳۳۰	$۱ \times ۳۳۰ = ۳۳۰$
۱۰-۹	۱	۲۵۰	$۱ \times ۲۵۰ = ۲۵۰$
۱۳-۹	۱	۲۴۰	$۱ \times ۲۴۰ = ۲۴۰$
۱۴-۹	۱	۱۰۰	$۱ \times ۱۰۰ = ۱۰۰$
۱۵-۹	۱	۲۴۰	$۱ \times ۲۴۰ = ۲۴۰$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij}D_{ij} = ۱۷۰۰$$

جدول شماره ۳-۳ (الف)

محاسبه اثر بخشی نحوه استقرار موجود برای کارگاه‌های مجاور

حال با استفاده از معادله (۳-۱) اثر بخشی نحوه استقرار فعلی را محاسبه می‌کنیم. جداول شماره (۳-۳ الف و ب) محاسبات برای نقل و انتقال کالاها در قسمت‌های مجاور و غیر مجاور را در بردارد. نحوه استقرار کنونی میزان جا به جایی با توجه به فاصله را ۱۲۳۰۰ بار نشان می‌دهد.

قسمت‌های غیر مجاور به واحد بسته بندی			
قسمت‌های غیر مجاور	واحد مسافت بین قسمت‌ها (D_{ij})	تعداد حرکات بین قسمت‌ها (L_{ij})	$L_{ij}D_{ij}$
۲-۹	۲	۵۰۰	$2 \times 500 = 1000$
۶-۹	۲	۱۵۰	$2 \times 150 = 300$
۷-۹	۲	۱۶۰	$2 \times 160 = 320$
۱۱-۹	۲	۱۰۰	$2 \times 100 = 200$
۱۲-۹	۲	۱۲۰	$2 \times 120 = 240$
۱۶-۹	۲	۵۰۰	$2 \times 500 = 1000$
۹-۱	۳	۲۵۰۰	$3 \times 2500 = 7500$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N L_{ij}D_{ij} = 10600$$

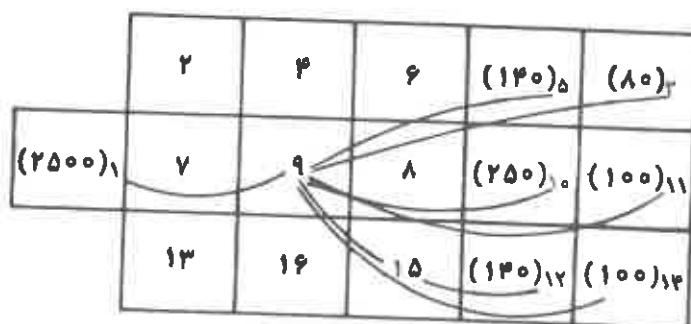
جدول شماره ۳-۳ (ب)

محاسبه اثر بخشی نحوه استقرار موجود برای کارگاه‌های غیر مجاور

بنابراین، اثر بخشی کل برای تمام قسمت‌ها برابر است با:

$$1700 - 10600 = 12300$$

برای بهبود نحوه استقرار، ما باید بکوشیم قسمت‌هایی را که جریان کالا بین آنها زیاده‌تر است نزدیکتر به هم قرار دهیم. مثلاً محل قسمت‌های ۸ و ۹ را می‌توان تغییر داد به طوری که قسمت بسته بندی نزدیکتر به واحد تحویل و دریافت قرار گیرد. همچنین می‌توان قسمت ۱۶ را نزدیکتر به محل بسته بندی قرار داد و قسمت ۱۲ را به محل دورتری منتقل کرد. نحوه استقرار با انجام این اصلاحات و تغییرات دیگر در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳
نحوه استقرار (۱)

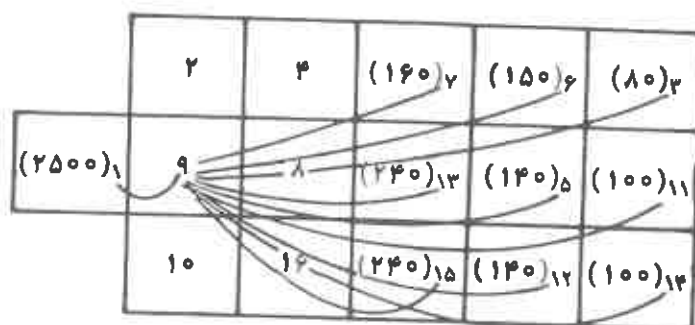
اثر بخشی:			
واحدهای غیر مجاور		واحدهای مجاور	
ردیف	قسمت‌ها	ردیف	قسمت‌ها
۲۲۰	۳-۹	۵۰۰	۲-۹
۲۸۰	۵-۹	۳۲۰	۴-۹
۵۰۰	۱۰-۹	۱۵۰	۶-۹
۳۰۰	۱۱-۹	۱۶۰	۷-۹
۲۸۰	۱۲-۹	۳۳۰	۸-۹
۳۰۰	۱۴-۹	۲۴۰	۱۳-۹
۵۰۰۰	۹-۱	۲۴۰	۱۵-۹
		۵۰۰	۱۶-۹
۶۹۰۰	جمع	۲۴۴۰	جمع
کل اثر بخشی = $۲۴۴۰ + ۶۹۰۰ = ۹۳۴۰$			
بهبود نسبت به نحوه استقرار قبلی ۲۲٪			

جدول شماره ۳-۴
اثر بخش نحوه استقرار جدید (۱)

جدول شماره (۳-۲) اثر بخشی نحوه استقرار جدید (۱) را نشان می‌دهد. می‌توان با انجام اصلاحاتی نحوه استقرار بهتری نیز به دست آورد. شکل (۳-۱۲) نحوه استقرار جدید (۲) را نشان می‌دهد و جدول شماره (۳-۵) نشان‌دهنده بهبودی نسبت به نحوه استقرارهای قبلی است. با اعمال این نحوه استقرار در هزینه‌های تحویل و تحول کالا و مواد، صرفه‌جویی شده و سفارشات را می‌توان سریعتر پاسخگو بود.

اثر بخشی :			
واحدهای مجاور		واحدهای غیر مجاور	
قسمت‌ها	$L_{ij}D_{ij}$	قسمت‌ها	$L_{ij}D_{ij}$
۹-۱	۲۵۰۰	۳-۹	۲۲۰
۲-۹	۵۰۰	۵-۹	۲۲۰
۲-۹	۳۲۰	۶-۹	۲۵۰
۸-۹	۳۳۰	۷-۹	۳۲۰
۱۰-۹	۲۵۰	۱۱-۹	۲۰۰
۱۶-۹	۵۰۰	۱۲-۹	۲۲۰
		۱۳-۹	۲۸۰
		۱۴-۹	۲۰۰
		۱۵-۹	۲۸۰
جمع	۲۲۰۰	جمع	۳۶۹۰
کل اثر بخشی $= ۲۲۰۰ + ۳۶۹۰ = ۵۸۹۰$			
میزان بهبودی نسبت به وضع اولیه ۳۴۲٪			
میزان بهبودی نسبت به وضع جدید (۱) ۱۳۲٪			

جدول شماره ۳-۵



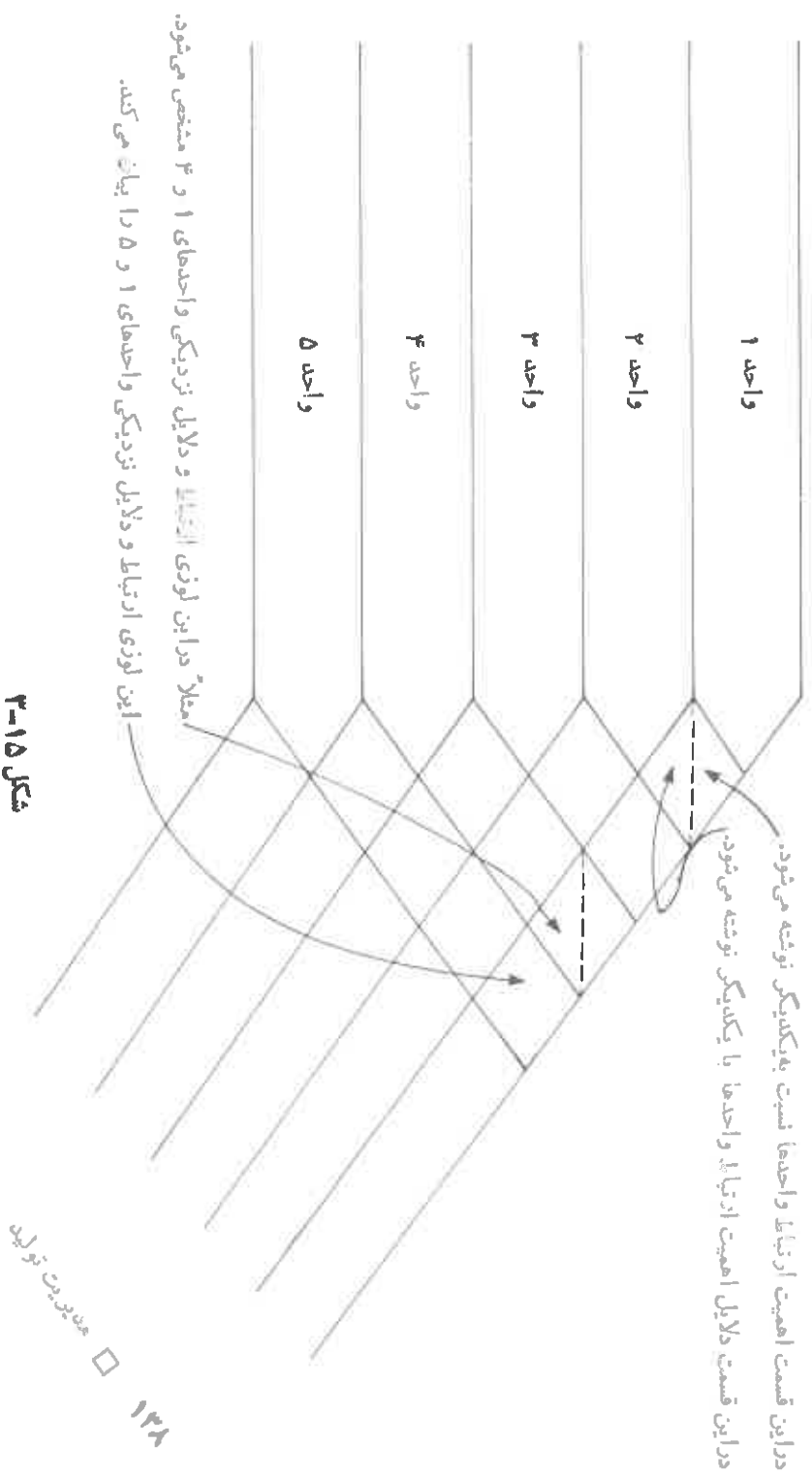
شکل ۱۴-۳

نحوه استقرار جدید (۲)

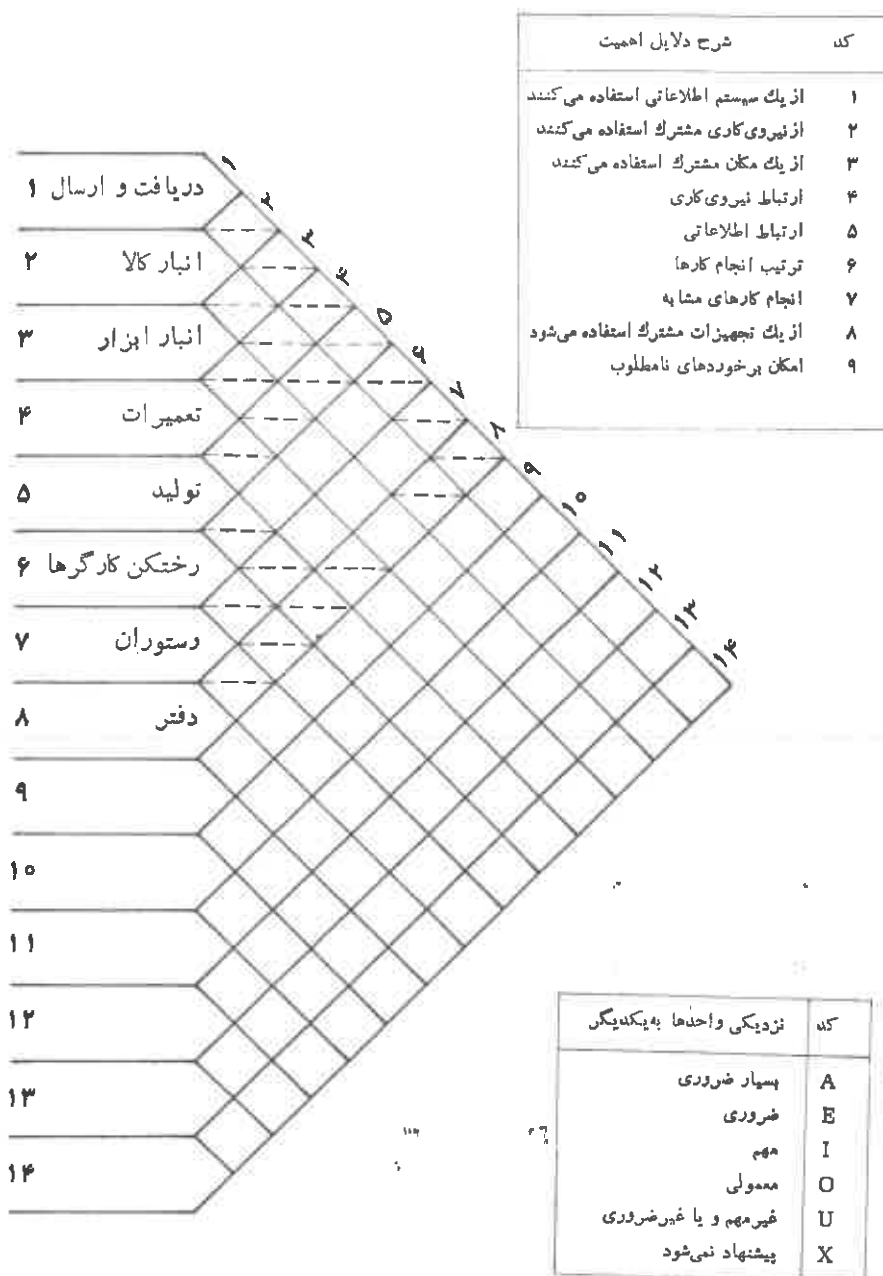
نمودار ارتباط فعالیتها

یکی دیگر از روشهای تعیین ترکیب و ترتیب قرار گرفتن ماشین آلات و کارگاهها در کارخانه، استفاده از روش نمودار ارتباط فعالیتها می باشد. نمودار شماره (۱۵-۳)، نمودار ارتباط فعالیتها برای یک کارخانه کوچک را که دارای هشت واحد می باشد نشان می دهد. در این نمودار ارتباط بین فعالیتها در چهار ضلعی هائی به شکل لوزی مشخص شده است. هر لوزی به دو قسمت مساوی تقسیم شده که در قسمت بالای آن میزان اهمیت و لزوم نزدیکی دو واحد مجاور نسبت به یکدیگر نوشته شده و در قسمت پائین لوزی دلیل یا دلایل این اهمیت ذکر گشته است. برای ساده کردن نمودار، میزان اهمیت نزدیکی واحدها به یکدیگر و دلایل آن به صورت دو دسته کد نظیر نمودار (۱۶-۳) تعیین گشته و در نمودار ارتباط فعالیتها فقط به وسیله کد نشان داده می شود. مثلاً ارتباط واحد دریافت با واحد انبار بسیار زیاد بوده و از اهمیت بالائی برخوردار است. این مسئله توسط کد A در نمودار مشخص می شود. دلایل اهمیت این ارتباط عبارتند از: هر دو واحد از یک سیستم اطلاعاتی مشترکی استفاده می کنند (کد ۱)، هر دو واحد از نیروی کاری مشترک استفاده می کنند (کد ۲) و همچنین هر دو واحد از یک مکان مشترک استفاده می کنند (کد ۳). به طور خلاصه اطلاعاتی که در لوزی ها نوشته می شود به صورت شکل شماره (۱۵-۳) تنظیم می گردد.

قدم بعدی انتقال اطلاعات نمودار (۱۶-۳) به مربعاتی به صورت نمودار (۱۷-۳) می باشد در مرکز در مربع نام واحد نوشته می شود و در چهار گوشه آن اهمیت ارتباط و



شکل ۳-۱۵
نحوه تنظیم و درج اطلاعات در نمودار ارتباط فدا لیتها



نمودار شماره ۱۶-۳

نمونه ای از يك نمودار ارتباط فعاليتها برای کارخانه ای که شامل هشت واحد می باشد

A-۲	E-	A-۱,۵	E-	A-۲,۵	E-	A-۳,۵	E-
۱		۲		۳		۴	
I-۵	O-۳,۴,۸	I-	O-۳,۴,۸	I	O-۱,۲	I-	O-۱,۲,۸
A-۲,۳,۴	E-۶,۷,۸	A	E-۵	A-	E-۵	A	E-۵
۵		۶		۷		۸	
		X-۸				X-۶	
I-۱	O-	I-۷	O-	I-۶	O-۸	I	O-۱,۲,۴,۷

نمودار شماره ۳-۱۷

نزدیکی این واحد با واحدهای دیگر سازمان به ترتیب اهمیت از گوشه بالای سمت چپ به گوشه پائین سمت راست نوشته می شود مثلاً اهمیت ارتباط و نزدیکی واحد ۱ در نمودار (۳-۱۶) با واحد ۲ از درجه A می باشد بنابراین در گوشه بالای سمت چپ واحد ۱ نوشته می شود: A-۲. واحد ۱ ارتباطی از نوع درجه E با هیچ واحد ندارد بنابراین در گوشه بالای سمت راست درجه E خالی می ماند. همچنین واحد ۱ با واحد ۵ ارتباطی از نوع درجه I دارد و بالاخره واحد ۱ با واحدهای ۳، ۴ و ۸ ارتباطی با درجه O دارد. اطلاعات بقیه واحدها به همین صورت از نمودار (۳-۱۶) تهیه شده که در نمودار (۳-۱۷) منعکس است. حال باید واحدها را بایکدیگر جا به جا نمود به طوری که واحدها براساس اهمیت ارتباطشان باهم در بهترین وضعیت قرار گیرند. فی المثل واحد ۵ با واحدهای ۲، ۳ و ۴ از اهمیت A برخوردار است، بنابراین باید در مجاورت واحدهای فوق قرار گیرد. همچنین واحد ۷ نیز باید در مجاورت واحدهای ۳ و ۵ واقع شود بنابراین واحدهای ۲، ۳، ۴ و ۵ باید همگی در مجاورت همدیگر قرار گیرند این جا به جایی در شکل (۳-۱۸) نشان داده شده است. نشان دادن واحدهائی که در نمودار (۳-۱۸) آمده به تمیاس می باشد. این کار نیز در نمودار (۳-۱۹) انجام شده است و بالاخره مرحله نهائی تطبیق دادن نمودار (۳-۱۹) به شکل واقعی محل کارگاه می باشد. سپس با استفاده از نمودار نهائی آرایش کارگاه، نمودار تفصیلی آرایش کارگاه حاصل می شود.

A-۲	E-	A-۱,۵	E	A-۳,۵	E-
۱		۲		۲	
I-۵	O-۳,۴,۸	I	O-۳,۴,۸	I-	O-۱,۲,۸
A-	E-۵	A-۲,۳,۴	E-۶,۷,۸	A-۲,۵	E-
۶		۵		۳	
X-۸					
I-۷	O-	I-۱	O-	I-	O-۱,۲
A-	E-۵	A-	E-۵		
۷		۸			
		X-۶			
I-۶	O-۸	I-	O-۱,۲,۴,۷		

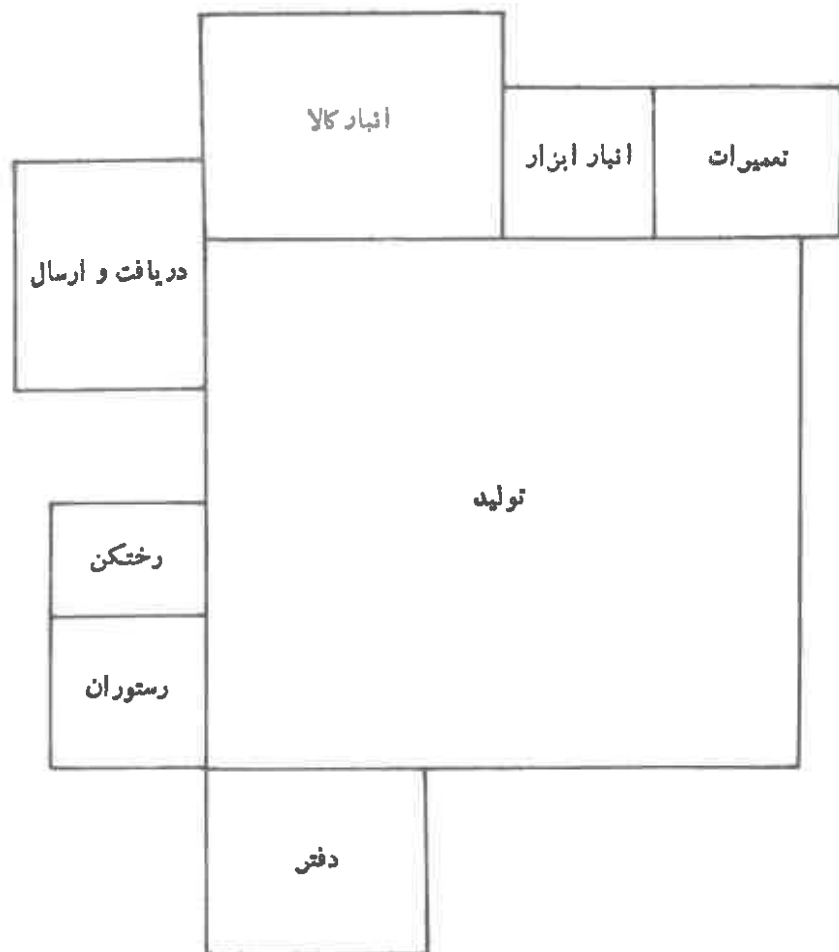
نمودار شماره ۱۸-۳

مدلهای نحوه استقرار کامپیوتری

مدلی که شرح آن گذشت مدل بسیار ساده‌ای است که در آن عوامل فراوانی نادیده انگاشته شده‌اند. اغلب اوقات اندازه و حجم ماشین‌آلات و کارگاهها یکسان نیست، محدودیتهای مکانی وجود دارد و دسترسی به سایر قسمت‌ها مشکلاتی را در بر دارد. . . از این رو مدلهای دیگری برای تعیین نحوه استقرار به کار می‌رود که دسته‌ای از آنها، مدلهای کامپیوتری است.

مدلهای بسیاری که به وسیله کامپیوتر مورد استفاده قرار می‌گیرند وجود دارند. ما به طور خلاصه یکی از آنها را به نام کرافت^۱ مورد مطالعه قرار می‌دهیم. کرافت روشی

1. CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique)
تکنیک کامپیوتری استقرار تجهیزات در کارخانه.



نمودار شماره ۳-۱۹

نمودار مرتب و به مقیاس درآورده شده آرایش کارگاه

است ابداعی، اکتشافی^۱ که به کمک یک سلسله قوانین کلی محل استقرار تجهیزات را جا به جا می کند و ترکیبات مختلف حاصله را مورد ارزیابی قرار می دهد تا هزینه های جا به جایی کالا و مواد تقلیل یابند. استفاده کننده از مدل این اطمینان را نخواهد داشت که بهترین طرح استقرار را به دست آورده است بلکه نظر آنست که طرح استقرار رضایت بخشی^۲ حاصل شود.

1. heuristic

2. satisfactory layout

کرافت می تواند کارخانجات و تأسیساتی را که شامل کارگاههای بیشماری در اندازه و شکلهای مختلف می باشند از نظر نحوه استقرار ارزیابی کند. محدودیتهایی که از نظر ساختمانی وجود دارند در مدل کرافت مورد نظر بوده، همچنین تأثیر تفاوت در هزینه جابجایی کالا و مواد بین کارگاههای مختلف نیز در محاسبات منعکس می شوند. برای استفاده از کرافت تحلیلگر باید اطلاعاتی در زمینه های زیر را فراهم آورد:

۱- يك طرح ابتدایی نحوه استقرار که اندازه کلی تأسیسات، تعداد کارگاهها، محل و اندازه آنها را مشخص سازد.

۲- يك جدول جریان نقل و انتقال کالا که حجم مواد و کالاهای نقل و انتقالی بین کارگاهها و قسمتهای مختلف را نشان دهد.

۳- يك جدول هزینه حمل و نقل کالاها که هزینه حمل و نقل هر کالایی را بین واحدها نشان دهد.

در مدل کرافت نحوه ارزیابی با به کارگیری معادله ای مانند رابطه (۳-۱) صورت می گیرد. پس از تعیین اثربخشی طرح استقرار اولیه، کرافت يك زوج از قسمتها را جابجا می کند و باز اثربخشی در حالت جدید معین و ترکیب بهتر انتخاب می شود و به همین ترتیب کار ادامه می یابد تا هزینه های جابجایی مواد و کالا به حداقل برسد و پاسخهای مشابهی به دست آید. نتیجه حاصل به صورت نمودار استقرار جا و مکان و هزینه جابجایی کالا و مواد از کامپیوتر خارج می شود. به عنوان مثال نمودارهای شماره (۳-۲۰) و (۳-۲۱) نشان دهنده نحوه استقرار ماشین آلات در يك کارگاه کوچک در مرحله اول و مرحله نهایی (مرحله پانزدهم) می باشد. همان طور که ملاحظه می شود واحدها و تجهیزات به صورت حروف مشخص شده و روش کرافت از طریق مقایسه و جابجایی آنها پس از پانزده بار تکرار به مرحله نهایی که نشانگر بهترین نحوه استقرار است رسیده است.

یکی دیگر از روشهای کامپیوتری نحوه استقرار روش کورولپ^۱ می باشد. در این روش از نمودار ارتباط فعالیتها استفاده به عمل می آید و اهمیت نزدیکی واحدها و فعالیتها با یکدیگر به جای حروف به صورت کمی صفر تا ده در نظر گرفته می شوند. روش کورولپ با واحدهایی که بیشترین ارتباط را با یکدیگر دارند کار را آغاز می کند و به ترتیب واحدهای دیگر را به آن می افزاید به طوری که مطلوبترین ارتباط بین واحدها حاصل شود.

نحوه قرار گیری واحدها																							
1	A	A	A	A	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
2	A	A	A	A	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
3	A	A	A	A	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
4	A	A	A	A	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
5	B	B	B	B	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
6	B	B	B	B	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
7	B	B	B	B	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
8	B	B	B	B	F	F	F	F	F	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
9	C	C	C	C	G	G	G	G	G	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
10	C	C	C	C	G	G	G	G	G	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
11	C	C	C	C	G	G	G	G	G	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
12	C	C	C	C	G	G	G	G	G	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
13	D	D	D	D	G	G	G	G	G	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
14	C	D	D	D	G	G	G	G	G	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
15	D	D	D	D	H	H	H	H	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
16	D	D	D	D	H	H	H	H	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
17	E	E	E	E	H	H	H	H	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
18	E	E	E	E	H	H	H	H	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
19	E	E	E	E	H	H	H	H	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	R	R	S
Total cost				47.90	Est. cost reduction				0.0	Move A				Move B				Move C				Iteration 0	

نمودار شماره ۲۰-۳

طریقه اولیه استقرار جا و مکان در روش کرافت

نحوه قرار گیری واحدها

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	A	A	A	A	A	F	F	F	F	Q	Q	Q	J	J	J	H	H	H	H	H	H	C	C	C
2	A		A	A	F				F	Q	Q	Q	J	J	J	H	H	H	H	H	H	C	C	C
3	A		A	A	F				F	Q	Q	Q	J	J	J	H	H	H	H	H	H	C	C	C
4	A	A	A	A	F				F	Q	Q	Q	K	K	L	L	L	L	H	H	H	C	C	C
5	B	B	B	B	F				F	Q	Q	Q	K	K	L	L	L	L	H	H	H	C	C	C
6	B		B	B	F				F	Q	Q	Q	K	K	L	L	L	L	H	H	H	C	C	C
7	B	B	B	B	F				F	Q	Q	Q	K	K	L	L	L	L	H	H	H	C	C	C
8	B	B	B	B	F	F	F	F	F	Q	Q	Q	N	N	V	V	V	V	S	S	S	H	H	H
9	T	T	T	T	P	P	P	P	P	O	O	O	N	N	V	V	V	V	S	S	S	H	H	H
10	T		T	T	P	P	P	P	P	O	O	O	N	N	V	V	V	V	S	S	S	H	H	H
11	T		T	T	T	T	T	T	T	G	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
12	T	T	T	T	T	T	T	T	T	G	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
13	D	D	D	T						I	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
14	D	D	D	T						I	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
15	D	D	D	T						I	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
16	D	D	D	T						I	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
17	T	T	T	T						I	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
18	T	T	T	T						I	G	G	W	W	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
19	T	T	T	T	T	T	T	T	T	G	G	G	U	U	U	U	U	E	E	E	E	E	E	E
Total cost					32.24					Est. cost reduction						0.01			Move A	P	Move B	T	Move C	Iteration 15

نمودار شماره ۳-۲۱

طرح نهایی استقرار جا و مکان در روش کرافت

مسائل رفتاری مدل‌های استقرار براساس فرایند تولید

مسائل رفتاری باید در کاربرد مدل‌های نحوه استقرار همواره مورد نظر مدیر عملیاتی باشد، چه مدل‌های نحوه استقرار در روابط کارکنان، رفتار مشتریان و ارباب رجوع و رضایت آنان مؤثر واقع می‌شود. زمانی که ما براساس مدلی فعالیتهای یکسان را در واحدهای مشابه قرار می‌دهیم گروههایی که دارای مهارتهای همسان هستند در کنار هم قرار می‌گیرند و در روابط افراد و میزان کارآمدی آنان مؤثر واقع می‌شود. گاهی اوقات نرم‌های گروههای متشکله با نرم‌های استاندارد شده به وسیله مدیریت یکی است و گاهی اوقات نیز پایتتر از آنها قرار دارد. اختلاف بین این نرم‌ها ممکنست موجب بروز تعارضهایی بین مدیریت و گروهها شود. در این گونه موقعیتها آگاهی از مسائل رفتاری و برخورد مناسب با گروهها از تکالیف مدیریت به‌شمار می‌آید.

گروههای متشکله کاری، اغلب به تخصص و تجربه خود می‌بالند و از این لحاظ بین آنان احساس تعلق و وابستگی تخصصی ایجاد می‌شود. تغییر نحوه استقرار ممکنست وضعیت موجود گروهی را به هم زند و موجب جدایی افراد گروه از هم بشود. در چنین صورتی کارکنان در مقابل نحوه جدید استقرار مقاومت می‌کنند و واکنشهای منفی مانند غیبت، جا به جایی و مسائل روابط صنعتی مشاهده می‌شود.

مشکلات هماهنگی نیز گاهی از شیفتگی تخصصی گروهی ناشی می‌شود. هر گروه خود را در کار و حرفه خویش متبحر و متخصص دانسته، هدف خود را مستقل از سایر گروهها مد نظر قرار می‌دهد. این شیوه برخورد ممکنست کار هماهنگی در کل سازمان را مشکل سازد و در اینجاست که مدیر عملیاتی باید با آگاهی از رفتارهای گروهی و اختیارات خود وارد عمل شود و در ایجاد هماهنگی و توجه دادن همه گروهها به هدف کلی کوشش کند. نحوه استقرار، بر رفتار مشتریان و ارباب رجوع نیز مؤثر واقع می‌شود. از آنجا که نحوه استقرار بر سهولت و سرعت پاسخ دهی به نیازهای ارباب رجوع تأثیر می‌کند هرگاه مدلی به کار گرفته شود که کارها را سریعتر و سهلتر سازد بر رضایت ارباب رجوع خواهد افزود. بدین ترتیب موضوع نحوه استقرار صرفاً جنبه عملیاتی و فنی نداشته و از نظر رفتاری نیز قابل ملاحظه و اهمیت است.

مسائل رفتاری و سایر عواملی را که قابل اندازه گیری کمی نیستند می‌توان با اندک تغییری در رابطه (۱-۴) مورد سنجش قرار داد. به این ترتیب که از رزق به عنوان یک شاخص اولویت استفاده می‌کنیم و امتیازهایی از ۱ تا ۱۰ را برای اولویت هر نوع نحوه استقرار به لحاظ کیفیت و عوامل رفتاری در نظر می‌گیریم. ۱ نشان دهنده حداقل اولویت و ۱۰

نشان‌دهنده حداکثر اولویت نوع مورد نظر می‌باشد. با قرار دادن امتیازها در معادله مذکور می‌توان نحوه استقرار را به‌طور کیفی نیز مورد سنجش قرار داد.

مدلهای استقرار بر اساس نوع تولید

سازمانهایی که دارای تولید انبوه از يك كالای خاص می‌باشند می‌توانند از يك نوع خاص نحوه استقرار یعنی خط مونتاژ^۱ استفاده کنند. در اوایل قرن بیستم این نحوه استقرار در صنایع ماشین‌سازی مورد استفاده موفقیت آمیزی قرار گرفت و تا به امروز نیز کاربرد فراوان داشته است. هر کارگر در خط تولید وظیفه خاصی را که قبلاً تجزیه و تحلیل و استاندارد شده است انجام می‌دهد و نتیجه کار گروه کاری به‌صورت كالای ساخته شده در انتهای خط تولید به‌دست می‌آید.

مدلهای ترسیمی^۲

برای تعیین نحوه استقرار به‌صورت خط مونتاژ می‌توان به‌طور آزمایش و خطا از ماکت و نقشه و الگو استفاده کرد و بسا ایجاد ترکیبهای مختلف به‌مطلوبترین نوع نحوه استقرار دست یافت. متأسفانه مدل ریاضی خاصی که بتواند به‌طور مستقیم ما را در طراحی نحوه استقرار در مؤسسات بزرگ یاری دهد وجود ندارد و برای این کار از تجربه و قضاوتهای فردی صاحب نظران و طراحان خبره باید بهره جست. البته مدل‌های ترسیمی همان‌طور که قبلاً اشاره شده برای هر سه نوع نحوه استقرار کاربرد دارد.

مدلهای کلی، اکتشافی^۳

مدلهای کلی، اکتشافی به کمک کامپیوتر در به‌دست آوردن يك طرح خوب ما را یاری می‌دهند. این مدل‌ها کمک می‌کنند تا طراح به‌سرعت طرحهای مختلف را ارزیابی کند. اصولاً مدل‌های کلی، اکتشافی يك سری قوانین منطقی هستند که به‌وسیله آنها می‌توان ترکیبهای مختلف را مورد سنجش قرار داد. کامپیوتر با سرعت بخشیدن به ارزیابی موارد مختلف، کاری را که انجامش با استفاده از دست و ذهن غیرممکن است، ممکن می‌سازد و به‌طراح امکان می‌دهد طرحهای بسیاری را در مدت زمان اندکی ارزیابی و تحلیل کند. قوانین مدل‌های کلی، اکتشافی از طریق تجربه، مشاهده و تئوری حاصل می‌شوند و شیوه‌ای برای یافتن طرحهای مطلوب نحوه استقرار می‌باشند.

1. assembly line
2. schematic models
3. Heuristic models

طراحی خط مونتاژ

مشکل اصلی در طراحی خط مونتاژ یافتن تعداد مطلوب افرادی است که هر يك باید وظیفه خاصی را در طول خط تولید انجام دهند تا بهترین نتیجه حاصل شود. به عبارت دیگر کوشش آنست که با صرف منابع کمتر نتایج بهتری به دست آید.

در اینجا دو نکته مهم وجود دارد اول آنکه در طراحی خط مونتاژ ما به دنبال حد مطلوب ظرفیت تولیدی هستیم و دوم آنکه توالی وظایف در خط مونتاژ باید همواره در نظر ما باشد، بدین معنی که ما باید بدانیم چه وظیفه‌ای اولین وظیفه است و چه وظایفی می‌بایست به ترتیب در پی آن انجام گیرند. در مثال زیر مسأله ظرفیت مطلوب خط مونتاژ، توالی و بازدهی آن به خوبی روشن شده است.

مثال:

مدیر عملیاتی شرکتی برای ایجاد يك کارخانه تولید پنجره‌های آلومینیومی طرح آزمایشی و مقدماتی خط مونتاژ را طراحی کرده است که شمای ترسیمی و اطلاعات مربوط به آن در شکل (۳-۲۲) و جدول (۳-۶) منعکس می‌باشد مدیر عملیاتی به دنبال یافتن بهترین طرح خط مونتاژ می‌باشد.

نقطه کاری (۱)	نقطه کاری (۲)	نقطه کاری (۳)	نقطه کاری (۴)	نقطه کاری (۵)	نقطه کاری (۶)
الف	ب	ج - د	ه - و	ز	ح
۷۰	۸۰	۶۰	۷۰	۵۰	۵۰

شکل ۳-۲۲

شمای ترسیمی خط مونتاژ آزمایشی کارخانه تولید پنجره آلومینیومی

وظیفه یا فعالیت	فعالیت وابسته قبلی	شرح وظیفه	زمان انجام وظیفه (ثانیه)
الف	—	سوار کردن قاب پنجره	۷۰
ب	الف	قرار دادن لاستیک دور شیشه در جای خود	۸۰
ج	الف	پیچ کردن قاب پنجره	۴۰
د	الف	سوار کردن قفل پنجره	۲۰
هـ	الف	سوار کردن دسته پنجره	۴۰
و	ب، ج	قرار دادن شیشه پنجره در جای خود	۳۰
ز	ج	پوشاندن جای پیچ‌ها	۵۰
ح	و، ز، هـ، د	بازرسی و کنترل پنجره آماده شده	۵۰
	جمع		۸۳۰

ظرفیت مطلوب ۲۳۰ پنجره در روز است

جدول شماره ۶-۳

مشخصات طرح اولیه خط مونتاژ تولید پنجره آلومینیومی

طرح فوق طرح خوبی است اگر:

۱- ظرفیت مورد نظر را از جهت تولید حاصل سازد.

۲- توالی انجام فعالیتها درست باشد.

۳- خط تولید راندمان و بازدهی مطلوبی داشته باشد.

حال به بررسی سه عامل فوق درمورد مثال ذکر شده می‌پردازیم:

۱- آیا ظرفیت مطلوب به دست آمده؟ اصولاً ظرفیت خط مونتاژ در رابطه با

طولانیترین زمانی است که يك نقطه کاری در مقایسه با نقاط دیگر دارا می‌باشد.

همچنان که در جدول (۳-۶) مشاهده می‌شود نقطه کاری ۲ با زمان ۸۵ ثانیه طولانیترین زمان بین نقاط کاری را دارا بوده و در نتیجه ظرفیت خط مونتاژ در هر ۸۵ ثانیه یک واحد تولید است؛ اگرچه سایر نقاط کاری نیاز به زمان کمتری برای انجام کار دارند. نقطه شماره ۲ را تنگنای عملیاتی^۱ می‌نامند، یعنی نقطه‌ای که جریان کار در خط مونتاژ به وسیله آن محدود می‌شود. زمان، در تنگنای عملیاتی تحت عنوان «حداقل زمان سیکل کاری»^۲ در خط مونتاژ نامیده می‌شود زیرا هر واحد برای تولید حداقل به این زمان نیاز دارد. (در مثال فوق هر پنجره برای تولید شدن حداقل به ۸۵ ثانیه زمان نیاز دارد.)

برای تعیین تعداد پنجره‌های تولید شده در روز می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\frac{\text{زمان کار مفید روزانه}}{\text{زمان لازم برای تولید هر واحد}} = \text{تعداد پنجره‌های تولید شده در هر روز}$$

اگر فرض کنیم که کار مفید روزانه ۸ ساعت است خواهیم داشت:

$$\frac{8 \times 3600}{85} = 360 = \text{تعداد پنجره‌های تولید شده در هر روز}$$

بنابراین تولید روزانه ۳۶۰ واحد است و از تولید مورد نظر که ۳۲۰ واحد است، بیشتر می‌باشد و از این نظر طراحی خط مونتاژ اشکالی ندارد.

از رابطه فوق می‌توان با معین بودن زمان مفید کاری روزانه و تعداد مورد نظر تولید، زمان لازم برای تولید هر واحد را حساب کرد. در مثال فوق اگر ۳۲۰ واحد تولید در روز مورد نظر ما باشد زمان لازم برای تولید هر واحد می‌تواند تا ۹۰ ثانیه هم طول بکشد.

$$\frac{8 \times 3600}{320} = 90 = \frac{\text{زمان کار مفید روزانه}}{\text{تعداد مورد نظر تولید}} = \text{سیکل تولید}$$

۲- آیا توالی فعالیتها درست است؟ در این مثال ساده با توجه به جدول شماره (۳-۶) خط مونتاژ به نحوی طراحی شده و توالی فعالیتها به درستی رعایت شده است. زیرا مثلاً فعالیت هر که به فعالیت الف وابسته است در طرح مذکور در نقطه‌ای کاری ۳ قرار گرفته و فعالیت الف نیز در نقطه کاری ۱ قبل از نقطه کاری ۳ قرار دارد.

۳- آیا خط مونتاژ راندمان مطلوبی را داراست؟ در خط مونتاژ فعلی ۶ نقطه کاری وجود دارد که در هر کدام يك کارگر مشغول کار است. به همه کارگران برای ۸ ساعت کار دستمزد پرداخت می شود و عاقلانه آنست که از تمامی وقت آنان استفاده شود. ولی در طرح موجود به علت تنگنای عملیاتی در نقطه کاری شماره ۲ نمی توان زودتر از ۸۰ یا ۹۰ ثانیه هر واحد کار را تمام کرد و در نتیجه نقاط کاری دیگر مدتی بیکاری دارند. در جداول شماره (۷-۳) الف و ب بازدهی نیروی کار برای سیکل های کاری ۸۰ و ۹۰ ثانیه ای (زمان های مورد نیاز برای تولید يك واحد) محاسبه شده است.

همچنان که مشاهده می کنید زمان تلف شده برای تولید پنجره در ۹۰ ثانیه بیشتر از ۸۰ ثانیه بوده و بازدهی نیروی کار در تولید پنجره در ۸۰ ثانیه بیشتر می باشد (۷۹٫۲٪) ضمناً به سادگی می توان ساعتهای را که در هر روز تلف می شود محاسبه کرد. در مورد تولید پنجره در سیکل ۹۰ ثانیه ای به طوری که در جدول مشاهده می شود ۱۶۰ ثانیه وقت تلف شده وجود دارد، و چون تولید روزانه ۳۲۰ واحد می باشد پس مجموعاً ۱۶۰×۳۲۰ ثانیه وقت تلف شده داریم که ۱۴۲ ماشین-ساعت در هر روز است. همین طور در سیکل ۸۰ ثانیه ای

نقاط کاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	مجموع زمان (ثانیه)	راندمان نیروی کار
زمان لازم برای ساخت در مراحل مختلف	۷۰	۸۰	۶۰	۷۰	۵۰	۵۰	۳۸۰	$\frac{۳۸۰}{۵۲۰} \times ۱۰۰ = ۷۰٫۲\%$
زمان لازم در نقاط مختلف کاری برای تولید يك واحد	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۵۲۰	—
زمان تلف شده در هر واحد تولید ^۲	۲۰	۱۰	۳۰	۲۰	۴۰	۲۰	۱۶۰	$\frac{۱۶۰}{۵۲۰} \times ۱۰۰ = ۲۹٫۶\%$

جدول شماره ۷-۳ (الف)

راندمان نیروی کار برای تولید پنجره در سیکل ۹۰ ثانیه ای

1. Efficiency

2. idle time

نقاط کاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	مجموع زمان (ثانیه)	راندمان نیروی کار
زمان لازم برای ساخت در مراحل مختلف	۷۰	۸۰	۶۰	۷۰	۵۰	۵۰	۳۸۰	$\frac{380}{280} \times 100 = 79.2\%$
زمان لازم در نقاط مختلف کاری برای تولید یک واحد	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۴۸۰	—
زمان تلف شده در هر واحد تولید	۱۰	۰	۲۰	۱۰	۳۰	۳۰	۱۰۰	$\frac{100}{280} \times 100 = 20.8\%$

جدول شماره ۷-۳ (ب)

راندمان نیروی کار برای تولید پنجره درسیکل ۸۰ ثانیه‌ای

نیز حدود ۱ ماشین-ساعت وقت تلف شده در روز داریم. اگر دستمزد کارگران به‌طور متوسط ساعتی ۵۰۰ ریال باشد در سیکل ۹۰ ثانیه‌ای ۷۱۰۰ ریال و در سیکل ۸۰ ثانیه ۵۰۰۰ ریال هر روز به‌هدر می‌رود.

بنابراین سیکل ۸۰ ثانیه‌ای مقرون به‌صرفه بوده و باید طراحی خط مونتاژ به‌دنبال تحقق آن باشد.

متوازن ساختن خط تولید

سؤالی که اغلب اوقات مدیر عملیاتی با آن رو به‌رو می‌باشد این است: چگونه می‌توان هزینه زمان تلف شده را کاهش داد؟ یکی از ساده‌ترین راهها تغییر محتوای کار در هر نقطه از خط مونتاژ می‌باشد. شاید ۸ وظیفه‌ای را که در جدول شماره (۶-۳) ذکر شده بتوان به‌صورت‌های دیگری نیز تعیین کرد به‌طوری‌که از نظر زمانی اختلاف کمتری بین آنها باشد. اگر زمان تولید در تمامی نقاط کاری یکسان باشد، ما هیچ زمان تلف شده نخواهیم داشت و خط مونتاژ کاملاً متعادل است. کوشش برای تقلیل اختلاف زمانی بین نقاط

1. Line balancing

مختلف کاری را «متوازن ساختن خط تولید» می‌نامند. البته به‌صفر رساندن زمان تلف شده ایده‌آل است و تلاش در آنست که حتی المقدور اختلاف زمانی بین نقاط کاری کمتر گردد. متوازن ساختن خط تولید در بهبودی خط مونتاژ نقش عمده‌ای دارد و باید در طراحی خط به آن توجه کافی داشت.

شیوه متوازن ساختن خط مونتاژ

گامهایی که در اصلاح خط مونتاژ برداشته می‌شوند عبارتند از:

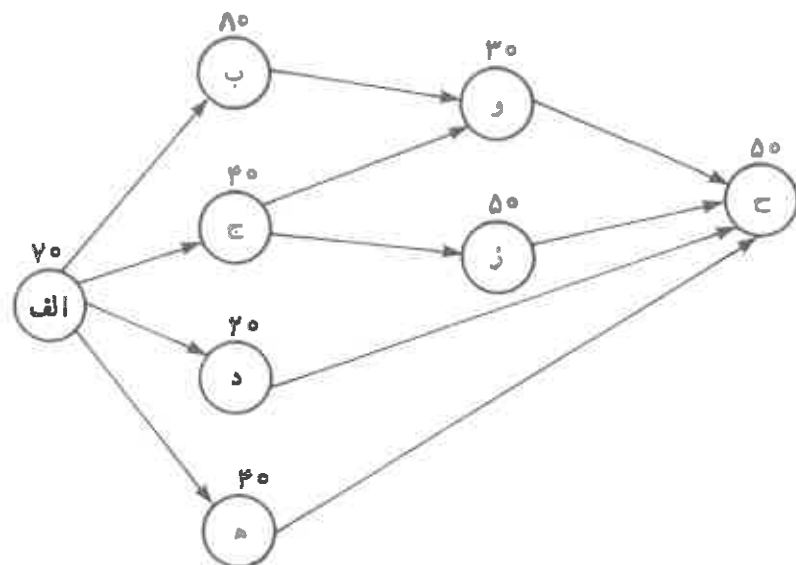
- مرحله یکم- شرح فعالیتها و وظایف تقسیم شده.
- مرحله دوم- تعیین تقدم و تأخر فعالیتها.
- مرحله سوم- تعیین حداقل تعداد نقاط کاری مورد نیاز.
- مرحله چهارم- تخصیص فعالیتها به نقاط کاری.
- مرحله پنجم- محاسبه و تعیین اثر بخشی و بازدهی خط.
- مرحله ششم- بررسی برای بهبود خط.

برای روشن شدن مطلب مثال کارخانه تولید پنجره آلومینیومی را در نظر گرفته، مراحل فوق را برای متوازن ساختن خط مونتاژ آن به‌کار می‌گیریم.

گام اول که شرح فعالیتها و وظایف می‌باشد در جدول (۳-۶) منعکس است. برای آنکه وظیفه و فعالیت اصلی را به وظایف فرعیتری تقسیم کنیم، از تجزیه و تحلیل شغل^۱ یا تجزیه و تحلیل محتوای شغل^۲ استفاده می‌کنیم. در این راه نمی‌توان افراط کرد و تقسیم کردن وظایف به وظیفه‌های جزئیتر، حدی دارد. یک وظیفه تقسیم شده و جزئی^۳ به وظیفه‌ای اطلاق می‌شود که می‌توان به‌طور منطقی انجام آن را به‌عهده یک کارگر گذاشت. وظایف، الف تا ح از زمره این وظایف تقسیم شده می‌باشند.

گام بعدی توجه به توالی انجام این وظایف و تقدم و تأخر آنها نسبت به هم می‌باشد. مثلاً پنجره‌ها تا تکمیل نشده باشند نمی‌توان آنها را بسته‌بندی کرد. طراح خط مونتاژ باید ارتباط فعالیتها را بشناسد و توالی درست فعالیتها را معین کند. برای نشان دادن تقدم و تأخر فعالیتها می‌توان از نمودار اسکلتی^۴ یا تقدم و تأخر مانند شکل (۳-۲۳) استفاده کرد. این نمودار براساس جدول شماره (۳-۶) تهیه شده است. در نمودار مذکور جهت پیکانها

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| 1. job analysis | 2. work content analysis |
| 3. elemental task | 4. precedence chart |



شکل ۳-۲۳

شمای ارتباط فعالیتها

جریان فعالیتها را نشان می‌دهد و طول آنها نشانگر معنای خاصی نیست. همچنین دایره‌ها، مشخص‌کننده وظایف می‌باشند.

همان‌طور که در شکل (۳-۲۳) مشاهده می‌شود فعالیت الف باید قبل از فعالیت‌های ب، ج، د... انجام گیرد و یا فعالیت (و) نمی‌تواند انجام پذیرد مگر آنکه فعالیت (ب) انجام شده باشد.

در مرحله سوم باید حداقل تعداد نقاط کاری مورد نیاز را معین کنیم. رابطه زیر در اغلب اوقات می‌تواند طراح خط مونتاژ را در تعیین تعداد نقاط کاری کمک کند و به‌طور تقریبی تعداد این نقاط را برای وی مشخص سازد:

$$\text{تعداد مورد نظر (تولید در روز)} = \frac{\text{زمان کل تولید (یک واحد کالا)}}{\text{زمان مفید کاری موجود در هر روز}}$$

$$\text{تعداد تقریبی نقاط کاری} =$$

$$\text{تعداد تقریبی نقاط کاری} = \frac{480 \times 320}{8 \times 3600}$$

$$\text{تعداد تقریبی نقاط کاری} = 422 \approx 5$$

بدین ترتیب ما حداقل به ۵ نقطه کاری نیاز داریم. البته ممکن است نوع کار، توالی آن و سایر عوامل مؤثر در کار طوری باشند که در عمل این تعداد زیادتر شود ولی رابطه فوق به عنوان يك برآورد طراح را یاری می دهد.

در مرحله چهارم طراح به طور آزمایشی ۸ وظیفه و فعالیت را به ۵ نقطه کاری یا بیشتر تخصیص می دهد. مجموع زمان فعالیت های تخصیص یافته به هر نقطه نباید از ۹۰ ثانیه تجاوز کند. به علاوه فعالیتها باید تقدم و تأخر منطقی خود را حفظ کنند. بدین ترتیب ممکن است چندین طرح حاصل شوند که حائز این شرایط باشند. در تولیدات پیچیده که نقاط کاری و فعالیتها بیشتر می باشند طرحهای ممکن، بیشتر خواهند بود. یکی از روشهای تعیین طرح مطلوب، روش طولانیترین زمان عملیات^۱ (LOT) است که روشی اکتشافی و آزمایش و خطا می باشد، اگرچه این روش تضمین نمی کند که بهترین طریق را به دست دهد، اما کمک می کند که از بین تعداد زیادی راههای مختلف راه رضایت بخشی بیابیم با استفاده از روش LOT می توان خط مونتاژ را ابتدا با مدت زمان مجاز تولید ۹۰ ثانیه و سپس با حداقل مدت زمان تولید ۸۰ ثانیه متوازن کرد.

مراحلی که در قاعده LOT به کار می روند عبارتند از:

- ۱- ابتدا زمان هر فعالیت به اضافه زمان فعالیت های وابسته به آن را محاسبه می کنیم (این محاسبه با استفاده از نمودار اسکلتی به سادگی انجام می شود)
- ۲- فعالیتها را به ترتیب اولویت زمانی (از طولانیترین زمان به کوتاهترین زمان) فهرست می کنیم.

۳- با در نظر گرفتن اینکه برای تخصیص هر فعالیت به يك نقطه کاری، فعالیت حاصل آن حتماً باید تخصیص داده شده باشد و یا به فعالیتی وابسته نباشد، فعالیت های واجد شرایط را جدا می کنیم.

۴- از بین فعالیت های واجد شرایط آن فعالیتی که زمان انجام آن به اضافه زمان فعالیت های وابسته به آن بیشترین است، اول انتخاب می کنیم و به نقطه کاری شماره يك تخصیص می دهیم.

۵- فعالیت تخصیص داده شده را از فهرست مرحله ۲ حذف می کنیم و به همین ترتیب فعالیت های واجد شرایط را به نقطه کاری شماره يك تخصیص می دهیم تا اینکه:
الف- مجموع زمان فعالیت های تخصیص داده شده بیشتر از زمان سیکل تولید نباشد.
ب- فعالیت واجد شرایطی برای تخصیص به نقطه کاری وجود نداشته باشد.

زمان فعالیت	زمان فعالیت	فعالیت‌های وابسته بعدی	زمان فعالیت + زمان فعالیت‌های وابسته
الف	۷۰	ب، ج، د، ه، و، ز، ح	$۷۰ + ۸۰ + ۲۰ + ۲۰ + ۲۰ + ۳۰ + ۵۰ + ۵۰ = ۳۸۰$
ب	۸۰	و، ح	$۸۰ + ۳۰ + ۵۰ = ۱۶۰$
ج	۲۰	و، ز، ح	$۲۰ + ۳۰ + ۵۰ + ۵۰ = ۱۷۰$
د	۲۰	ح	$۲۰ + ۵۰ = ۷۰$
ه	۲۰	ح	$۲۰ + ۵۰ = ۷۰$
و	۳۰	ح	$۳۰ + ۵۰ = ۸۰$
ز	۵۰	ح	$۵۰ + ۵۰ = ۱۰۰$
ح	۵۰	—	۵۰

جدول شماره ۸-۳

و مراحل ۲ و ۵ را برای فعالیت‌های باقیمانده تکرار می‌کنیم تا کل فعالیت‌ها به نقاط کاری تخصیص داده شوند.

حال مراحل ششگانه فوق را در مورد مثال قبلی به کار می‌بریم.

۱- با استفاده از نمودار اسکلتی به تنظیم جدول شماره (۸-۳) می‌پردازیم که زمان هر فعالیت به اضافه زمان فعالیت‌های وابسته به آنها را نشان می‌دهد.

۲- زمان‌های به دست آمده را از طولانی‌ترین زمان به کوتاه‌ترین زمان مدرج می‌کنیم، جدول (۹-۳) نشان‌دهنده فعالیت‌ها به ترتیب اولویت زمانی است.

۳- تنها فعالیت واجد شرایط در این مرحله فعالیت الف است که به هیچ فعالیت‌ای وابسته نیست. ۴- فعالیت الف را به نقطه کاری شماره ۱ تخصیص می‌دهیم.

۵- پس از تخصیص فعالیت الف ۲۰ ثانیه وقت آزاد داریم ($۷۰ - ۹۰ = ۲۰$). حال

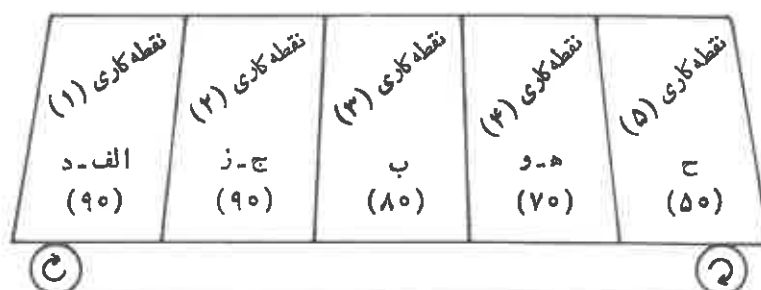
فعالیت‌های واجد شرایط عبارتند از فعالیت‌های ب، ج، د، ه (زیرا فعالیت ماقبل آنها به نقطه کاری شماره ۱ تخصیص داده شده است) از بین فعالیت‌های فوق فعالیت ج بیشترین زمان را در جدول (۹-۳) دارد اما اگر این فعالیت را به نقطه کاری شماره ۱ تخصیص دهیم جمع زمان‌های نقاط کاری ۱ به ۱۱۰ ثانیه می‌رسد که بیشتر از زمان سیکل تولید

فعالیت	زمان فعالیت به اضافه زمان فعالیت‌های وابسته
الف	۳۸۰
ج	۱۷۰
ب	۱۶۰
ز	۱۰۰
هـ	۹۰
و	۸۰
د	۷۰
ح	۵۰

جدول شماره ۳-۹

است و امکان پذیر نمی باشد. با کمی دقت متوجه می شویم که تنها فعالیت د می تواند به نقطه کاری شماره ۱ تخصیص داده شود. بنابراین نقطه کاری شماره ۱ شامل دو فعالیت الف و د با ۹۰ ثانیه زمان می باشد.

ع- با تکرار مراحل ۴ و ۵ نقاط کاری بعدی معین می شوند. شکل (۳-۲۴) نشان دهنده نقاط کاری و فعالیت‌های تخصیص داده شده به هر نقطه می باشد.



شکل ۳-۲۴

شمای ترسیمی خط مونتاژ کارخانه تولید پنجره آلومینیومی
با استفاده از روش LOT درسیکل ۹۰ ثانیه ای

در مورد اثربخشی^۱ و بازدهی^۲ یا راندمان^۳ خط مونتاژ باید گفت طراحی اثربخش نامیده می‌شود که ما را به هدف مورد نظرمان برساند و طراحی کارآمد است که تناسب بین داده‌ها و ستاده‌ها در آن محفوظ باشد. در مرحله پنجم ما باید این دو شاخص را در مورد عملکرد خط مونتاژ تعیین کنیم. جداول شماره (۳-۱۰) و (۳-۱۱) اثربخشی و راندمان خط مونتاژ را در وضعیت جدید نشان می‌دهند.

نقاط کاری	۱	۲	۳	۴	۵	مجموع زمان (ثانیه)	راندمان نیروی کار
زمان لازم برای ساخت واحد کالا در مراحل مختلف	۹۰	۹۰	۸۰	۷۰	۵۰	۳۸۰	$\frac{380}{450} \times 100 = 84.4\%$
زمان لازم در نقاط مختلف کاری برای تولید یک واحد	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۴۵۰	
زمان تلف شده در هر واحد تولید	۰	۰	۱۰	۲۰	۲۰	۷۰	$\frac{70}{450} \times 100 = 15.6\%$

[اثربخشی این خط یک واحد در هر ۹۰ ثانیه یا ۳۲۰ واحد در هر روز کاری است.]

جدول شماره ۳-۱۰

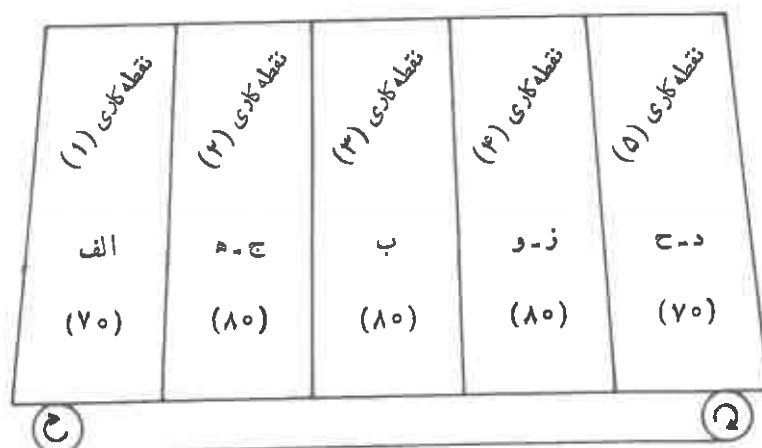
راندمان و اثربخشی نیروی کار در وضعیت جدید خط مونتاژ (تولید ۹۰ ثانیه)

اکنون با سیکل ۸۰ ثانیه‌ای و از طریق روش LOT فعالیتها را به نقاط کاری تخصیص می‌دهیم. نتیجه^۴ این تخصیص و راندمان آن در شکل (۳-۲۵) و جدول شماره (۳-۱۱) آمده است.

همان‌طور که در جدولهای مذکور مشاهده می‌شود بازدهی و اثربخشی این دو طرح بهتر از طرحهای قبلی است، اکنون به ذکر مثال دیگری در زمینه متوازن ساختن خط مونتاژ می‌پردازیم:

1. effectiveness

2. efficiency



شکل ۳-۲۵

شمای ترسیمی خط مونتاژ کارخانه پنجره آلومینیومی
با استفاده از روش LOT در سیکل ۸۰ ثانیه‌ای

نقاط کاری	۱	۲	۳	۴	۵	مجموع زمان (ثانیه)	راندمان نیروی کار
زمان لازم برای ساخت واحد کالا در مراحل مختلف	۷۰	۸۰	۸۰	۸۰	۷۰	۳۸۰	$\frac{۳۸۰}{۴۰۰} \times ۱۰۰ = \%۹۵$
زمان لازم در نقاط مختلف کاری برای تولید یک واحد	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۴۰۰	—
زمان تلف شده در هر واحد تولید	۱۰	۰	۰	۰	۱۰	۲۰	$\frac{۲۰}{۴۰۰} \times ۱۰۰ = \%۵$

[اثر بخشی این خط یک واحد در هر ۸۰ ثانیه یا ۳۶۰ واحد در هر روز کاری است.]

جدول شماره ۳-۱۱

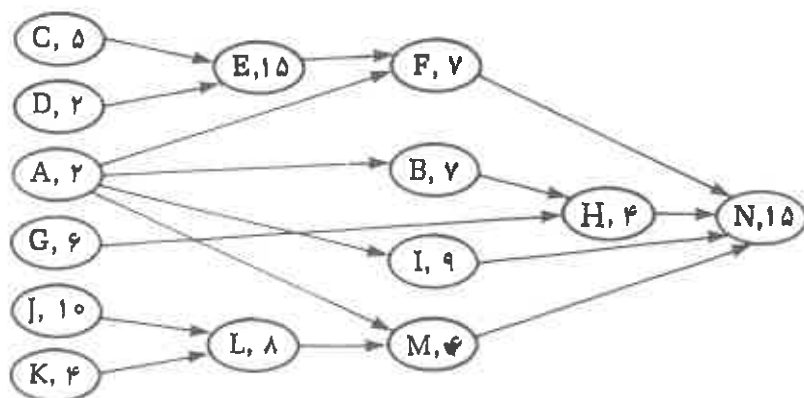
راندمان و اثر بخشی نیروی کار در وضعیت جدید خط مونتاژ (تولید ۸۰ ثانیه)

مثال:

شرکت صنعتی آکام تولیدکننده موتورهای آب می باشد، در یکی از خطوط مونتاژ، قطعات تشکیل دهنده محصول روی یک ریل با سرعتی ثابت حرکت می کنند و کارگرها عملیات مونتاژ را روی آنها انجام می دهند. میزان تولید ۳ عدد در ساعت تعیین شده است. فهرست و فعالیتها در جدول شماره (۳-۱۲) آمده است، در این جدول فعالیتها با حروف اختصاری A تا N، قطعات تشکیل دهنده محصول با B-۱ تا B-۱۱ و قطعات نیمه ساخته آن با SA-۱ تا SA-۳ نشان داده شده است.

فعالیت	زمان فعالیت (دقیقه)	شرح فعالیت	فعالیت وابسته قبلی
A	۲	بازرسی بدنه	—
B	۷	مونتاژ قطعه B-۲ به بدنه	A
C	۵	مونتاژ قطعه B-۲ به B-۱	—
D	۲	مونتاژ قطعه B-۳ به B-۱	—
E	۱۵	آزمایش SA-۱	D ، C
F	۷	مونتاژ SA-۱ به بدنه	E ، A
G	۶	مونتاژ B-۶ به B-۵	—
H	۲	مونتاژ SA-۲ به بدنه	G ، B
I	۹	مونتاژ B-۷ به بدنه	A
J	۱۰	مونتاژ B-۹ به B-۸	—
K	۲	مونتاژ B-۱۰ به B-۸	—
L	۸	مونتاژ B-۱۱ به B-۸	J ، K
M	۶	مونتاژ SA-۳ به بدنه	A ، L
N	۱۵	آزمایش موتور	به تمامی فعالیتها

جدول شماره ۳-۱۲
قطعات تشکیل دهنده محصول



شکل ۳-۲۶

نمودار اسکلتی فعالیت‌های مونتاژ پمپ

حال برای نشان دادن تقدم و تأخر فعالیت‌ها به ترسیم نمودار اسکلتی می‌پردازیم؛ این نمودار در شکل (۳-۲۶) نشان داده شده است.

در شکل مذکور اعداد نشان دهنده زمان انجام فعالیت به دقیقه و حروف نشان دهنده فعالیت‌ها می‌باشند. همان‌طور که در نمودار فوق مشخص است فعالیت‌های C، D، A، G، J و K در ستون اول رسم شده‌اند زیرا تمامی این فعالیت‌ها وابسته به فعالیت‌هایی نیستند و می‌توانند همزمان باهم شروع شوند. فعالیت E به فعالیت C و D وابسته است و بنابراین در ستون دوم قرار دارد، همچنین فعالیت L نیز به دو فعالیت J و K بستگی دارد و این فعالیت نیز در ستون دوم واقع شده است. سایر فعالیت‌ها به همین ترتیب در ستون‌های خود قرار گرفته‌اند.

پس از رسم نمودار اسکلتی باید تعداد نقاط کاری را به دست آورد. اگر این امکان وجود داشت که يك نفر تمامی این فعالیت‌ها را خودش یکی پس از دیگری انجام می‌داد و هیچ زمان تلف شده‌ای وجود نداشت، مدت صد دقیقه طول می‌کشید که يك واحد محصول مونتاژ گردد اما از آنجا که میزان تولید مورد نیاز ۳ عدد در ساعت است (به عبارت دیگر در هر بیست دقیقه يك محصول باید مونتاژ گردد) بنابراین برای اینکه کار ۱۰۰ دقیقه‌ای را در بیست دقیقه انجام دهیم نیاز به ۵ نفر می‌باشد و یا به عبارتی حداقل پنج نقطه کاری برای طراحی اولیه خط مونتاژ مورد نیاز است.

در مرحله بعدی با استفاده از روش LOT به تخصیص فعالیتها به نقاط کاری می پردازیم. بدین منظور ابتدا جدولهای شماره (۳-۱۳) و (۳-۱۴) را تنظیم کنیم.

زمان فعالیت (دقیقه)	زمان فعالیت به اضافه زمان فعالیتهای وابسته بعدی	فعالیت
۵	۴۲	C
۲	۳۹	D
۱۵	۳۷	E
۷	۲۲	F
۲	۵۰	A
۷	۲۶	B
۲	۱۹	H
۹	۲۲	I
۶	۲۱	M
۶	۲۵	G
۱۰	۳۹	J
۴	۳۳	K
۸	۲۹	L
۱۵	۱۵	N

جدول شماره ۳-۱۳

حال به تخصیص فعالیتها می پردازیم. بدین منظور از بین فعالیتهای واجد شرایط آن فعالیتی را که بیشترین زمان را در ستون «زمان فعالیت به اضافه زمان فعالیتهای وابسته بعدی» دارد ابتدا تخصیص می دهیم همان طور که جدول شماره (۳-۱۴) نشان می دهد. بیشترین زمان متعلق به فعالیت A می باشد، پس فعالیت A را به نقطه کاری ۱ تخصیص

زمان فعالیت به اضافه زمان فعالیت وابسته بعدی	فعالیت
۵۰	A
۴۲	C
۳۹	D
۳۹	J
۳۷	E
۳۳	K
۲۹	L
۲۶	B
۲۵	G
۲۴	I
۲۲	F
۲۱	M
۱۹	H
۱۵	N

جدول شماره ۱۴-۳

می‌دهیم. اما زمان انجام فعالیت A فقط ۲ دقیقه است و چون سیکل تولید ۲۰ دقیقه می‌باشد هنوز مدت ۱۸ دقیقه دیگر زمان آزاد در نقطه کاری ۱ وجود دارد که می‌توان از آن برای انجام سایر فعالیتها استفاده کرد. فعالیتهای واجد شرایط برای تخصیص عبارتند از C، D، G، J، K، B، I (فعالیتهای B و I به دلیل آنکه فعالیت ماقبل آنها یعنی A به نقطه کاری تخصیص داده شده است واجد شرایط برای تخصیص شده‌اند) از بین فعالیتهای مذکور فعالیت C بیشترین زمان را در ستون «زمان فعالیت به اضافه زمان فعالیت وابسته بعدی» داراست و از این رو به نقطه کاری شماره ۱ تخصیص می‌یابد. اکنون مجموع زمانهای کاری نقطه ۱ به ۷ دقیقه رسیده و هنوز ۱۳ دقیقه وقت آزاد در آنجا وجود دارد. فعالیتهای واجد شرایط برای تخصیص عبارتند از: D، J، G، K، B، I فعالیتهای

D و J بیشترین زمان را دارند و می‌توان هر دو را به نقطه کاری شماره ۱ تخصیص داد. حال، جمع زمانهای کاری نقطه ۱ به ۱۹ دقیقه می‌رسد و با کمی دقت متوجه می‌شویم که هیچ فعالیت واجد شرایط دیگری که يك دقیقه زمان لازم داشته باشد وجود ندارد بنابراین نقطه کاری شماره ۱ با داشتن فعالیت‌های A، C، D، J تکمیل می‌شود. اگر سایر فعالیت‌ها را نیز به همین ترتیب تخصیص دهیم نقاط کاری و فعالیت‌های تخصیصی مطابق شکل (۲۷-۳) خواهند بود.

راندمان تخصیص فعالیت‌ها به نقاط کاری در جدول شماره (۱۵-۳) آمده است.

نقطه کاری (۱)	نقطه کاری (۲)	نقطه کاری (۳)	نقطه کاری (۴)	نقطه کاری (۵)	نقطه کاری (۶)
A, C, D, J	K, E	B, L	H, I, G	M, P	N
(۱۹)	(۱۹)	(۱۵)	(۱۹)	۱۳	۱۵

شکل ۲۷-۳

شمای تخصیص فعالیت‌ها به نقاط کاری در خط مونتاژ

در مرحله آخر می‌توان بررسی برای بهبود و اصلاح خط را از طریق آزمایش و خطا ادامه داد، البته روشهای دیگری به غیر از «طولانیترین زمان عملیات» نیز وجود دارند که می‌توانند ما را در اصلاح و متوازن ساختن خط یاری دهند. پاره‌ای روشهای کامپیوتری جستجویی و آزمایش و خطا نیز در دسترس مدیران عملیاتی هست که در موارد لزوم می‌توانند از آنها بهره گیرند.

اصولاً چون هر روشی ممکن است نتیجه خاصی را به دست دهد گاهی مدیران ترجیح می‌دهند که از چند روش به جای يك روش استفاده کنند.

1. computerized heuristic methods

نقاط کاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	مجموع زمان (ثانیه)	راندمان نیروی کار
زمان لازم برای ساخت واحد کالا در مراحل مختلف	۱۹	۱۹	۱۵	۱۹	۱۳	۱۵	۱۰۰	$\frac{100}{120} \times 100 = 83.3\%$
زمان لازم در نقاط مختلف کاری برای تولید یک واحد	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۲۰	
زمان تلف شده در هر واحد تولید	۱	۱	۵	۱	۷	۵	۲۰	$\frac{20}{120} \times 100 = 16.6\%$

جدول شماره ۱۵-۳

راندمان نیروی کار

در بعضی موارد ممکن است بازدهی خط مونتاژ به علت تقسیم بیش از حد وظایف دچار اشکال شده باشد در این گونه موارد می توان با افزودن بعضی وظایف به کارگران در هر نقطه کاری ضمن غنی ساختن شغل آنان بازدهی را افزایش و زمان تلف شده را تقلیل داد. همچنین مطالعه درست زمان و حرکت در انجام فعالیتها و استفاده از تکنیکهای بهبود روشهای کار نیز می تواند در اصلاح خط مونتاژ مفید باشد.

در اینجا لازم به یادآوری است که طرحهای خط مونتاژ تنها برای تولید کالا مورد استفاده ندارد و در پاره ای خدمات که فی المثل مشتری از میزها و باجه های مختلف متوالیاً رد می شود و خدمت مورد نظر خود را دریافت می دارد، بسیاری از مسائلی که در نحوه استقرار خط مونتاژ ارائه شد، کاربرد پیدا می کند.

مسائل و تمرینات فصل سوم

۳-۱ کتابخانه دانشگاه در نظر دارد محل قسمت خرید و آماده سازی کتب را با قسمت کتب مرجع تعویض کند. در صورتی که اطلاعات زیر در زمینه موجود در دست باشد اثر این تغییر چه خواهد بود؟ هزینه حمل و نقل را به انتخاب خود فرض کنید.

حجم کتب مبادله شده بین واحدها در هر ماه

نحوه استقرار فعلی		
۱	۲	۳
۶	۵	۴

قسمت‌ها	قسمت‌ها					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	—	۱۰۰	۰	۱۰۰	۲۰۰	۰
۲	—	—	—	۰	۰	۰
۳	—	—	—	۱۰	۱۰۰	۰
۴	—	—	—	—	۰	۱۰۰
۵	—	—	—	—	—	۰
۶	—	—	—	—	—	—

طراحی نحوه استقرار... □ ۱۶۷

۳-۲ يك چاپخانه كوچك می‌خواهد ۷ قسمت خود را در ساختمان يك طبقه جایگزین سازد. طبقه مذکور دارای ۴۰ متر عرض و ۵۰ متر طول می‌باشد. اندازه قسمت‌ها عبارتند از:

- ۱- قسمت طراحی ۱۰×۱۰
- ۲- قسمت برش ۲۰×۱۰
- ۳- قسمت بسته‌بندی و حمل و نقل ۱۰×۱۰
- ۴- قسمت انبار ۲۰×۱۵
- ۵- قسمت چاپ ۲۵×۲۰
- ۶- قسمت صحافی ۲۰×۲۰
- ۷- قسمت نقاشی و امور هنری ۲۰×۲۰

میانگین حجم کار مبادله شده بین واحدها در هر سال به شرح زیر برآورد شده است:

قسمتها	قسمتها					
	طراحی	برش	حمل و نقل	انبار	چاپ	صحافی
طراحی	—	—	—	—	—	—
برش	—	—	—	۱۰۰	—	۴۰۰
حمل و نقل	—	—	—	۵۰۰	—	—
انبار	—	۶۰۰	۱۰۰	—	۴۰۰	۱۰۰
چاپ	—	—	—	—	—	۱۲۰۰
صحافی	—	۱۰۰	۱۰۰۰	—	۲۰۰	—
امور هنری	—	۱۰۰	—	—	۱۰۰	—

با توجه به اطلاعات بالا، نحوه استقرار قسمت‌ها در این چاپخانه را چگونه طراحی می‌کنید؟

۳-۳ ۱۲ قسمت در يك سازمان به‌طور آزمایشی مطابق شکل زیر استقرار یافته‌اند:

۱	۲	۳	۴
۵	۶	۷	۸
۹	۱۰	۱۱	۱۲

حجم کار مبادله شده بین قسمت‌ها درجدول زیر مندرج است:

به این قسمت‌ها					از این قسمت‌ها
۱۰	۹	۸	۷	۶	
۲۰۰	—	—	۶۰۰	۳۰۰	۱
۲۰۰	—	۲۰۰	۳۰۰	۶۰۰	۳
۵۰۰	—	—	—	۱۰۰	۵

در صورتی که هزینه حمل و نقل برای هر واحد کالا در يك واحد فاصله ۱۰۰ ریال باشد طرح مطلوب استقرار را تنظیم کنید.

۳-۴ اطلاعات زیر برای يك خط مونتاژ در دست است. حداکثر بازدهی روزانه را در این خط محاسبه کنید.

وظیفه	زمان تولید هر واحد (دقیقه)	فعالیت‌های وابسته ماقبل
الف	۵	د
ب	۲	د
ج	۳	—
د	۷	هـ - ز - ح
هـ	۸	ج
و	۴	الف - ب
ز	۶	ج
ح	۳	هـ

۳-۵ در جدول زیر اطلاعات لازم برای مونتاژ يك کالا آمده است.

فعالیت وابسته	زمان فعالیت	فعالیت
—	۲۵	A
A	۱۵	B
A	۲۰	C
A'B'C	۱۵	D
A	۱۲	E
A'B'C'D'E	۲۲	F
F	۱۰	G
F	۸	H
H	۵	I

در صورتی که میزان تقاضا برای کالای مذکور ۱۵ واحد در روز بوده و زمان مفید

کاری در روز ۴۲۰ دقیقه باشد مطلوب است:

۱- رسم نمودار اسکلتی مونتاژ کالا

۲- محاسبه سیکل تولید کالا

۳- تعیین حداقل تعداد گروههای کاری با استفاده از تکنیک LOT.

۴- محاسبه بازدهی خط مونتاژ و گروههای کاری

۳-۶ فروشگاه قدس طریقه استقرار واحدهای مختلف یکی از شعبی که قرار است به زودی

احداث شود را مورد مطالعه قرار می دهد. بدین منظور از دانشجویان دانشگاه علامه

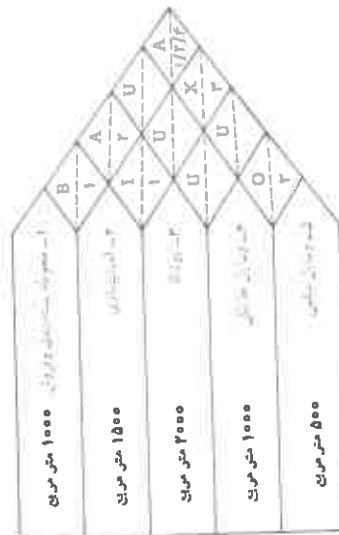
طباطبائی کمک خواسته شده است شما با توجه به نمودار و اطلاعات آمده در زیر

نحوه استقرار واحدهای این فروشگاه را در زمینی به ابعاد ۱۰۰ × ۶۰ متر طراحی

نمائید. سلسله مراتب نحوه طراحی استقرار را بترتیب طی نمائید.

نزدیکی واحدها بیکدیگر

کد	اهمیت نزدیکی واحدها بیکدیگر
A	بسیار ضروری
E	ضروری
I	مهم
O	معمولی
U	غیر ضروری
X	پیشنهاد نمی‌شود



دلایل اهمیت نزدیکی واحدها

کد	شرح دلیل اهمیت
۱	شیوه بازاریابی و فروش
۲	حفاظت
۳	استفاده از نیروی کاری مشترک
۴	تماسهای زیاد و ضروری

۳-۷ شرکت آلفا که تولیدکننده اره برقی می‌باشد در نظر دارد واحدهای مختلف تولید خود را که شامل ۷ قسمت است در فضای به ابعاد ۸۰ × ۱۰۰ متر استقرار دهد. ابعاد هر قسمت بصورت زیر می‌باشد:

واحد	طول (به متر)	عرض (به متر)
دریافت کالا	۲۰	۲۰
آبکاری	۲۰	۲۰
ماشین کاری	۲۰	۲۰
مونتاژ	۳۰	۳۰
اطاق آزمایش	۳۵	۳۵
بسته بندی	۲۵	۳۵
واحد ارسال	۲۰	۲۰

تعداد نقل و انتقالات بین واحدهای مختلف در جدول زیر نشان داده شده است. فرض کنید نقل و انتقال بین کارگاههای مجاور هزینه‌ای در بر نداشته باشد و هزینه نقل و انتقال بین کارگاههای غیرمجاور با بستگی به فاصله کارگاهها ازهمدیگر داشته باشد. شرکت آلفا ترجیح می‌دهد واحدهای دریافت و ارسال در دو طرف ساختمان و مقابل هم قرار گرفته و همچنین واحدهای مونتاژ و آزمایش نیز مجاور یکدیگر قرار گیرند. یک طرح استقرار مناسب برای این شرکت طراحی نمایید.

واحدها	دریافت	آبکاری	ماشین کاری	مونتاژ	آزمایش	بسته بندی	ارسال
مونتاژ	—	—	—	—	—	—	—
آبکاری	—	—	—	۲۰۰	—	۸۰۰	—
ماشین کاری	—	—	—	۱۰۰۰	—	—	—
دریافت	—	۱۲۰۰	۲۰۰	—	۸۰۰	۲۰۰	—
آزمایش	—	—	—	—	—	۲۴۰۰	۲۰۰
بسته بندی	—	۲۰۰	۲۰۰۰	—	۴۰۰	—	—
ارسال	—	۲۰۰	—	—	۲۰۰	—	—

۳-۸ شرکت گاما تولیدکننده موتورهای آب می‌باشد. این شرکت در حال طراحی استقرار واحدهای مختلف خود در زمینی به ابعاد ۱۲۰۰×۸۰۰ متر می‌باشد. ۶ واحد هر کدام به ابعاد ۴۰۰×۴۰۰ متر می‌بایست در این زمین استقرار یابند. تعداد

واحد	دریافت	برش	سیم پیچی	صیقل کاری	رنگ کاری	ارسال
دریافت	—	۱۰۰	۵۰	۵۰	۲۵	۲۵
برش	—	—	۱۵۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
سیم پیچی	—	—	—	۵۰	۵۰	۱۰۰
صیقل کاری	—	—	—	—	۵۰	—
رنگ کاری	—	—	—	—	—	۲۰۰
ارسال	—	—	—	—	—	—

نقل و انتقال بین واحدهای مختلف تولید در یکسال گذشته در جدول زیر آمده است. فرض کنید که نقل و انتقال بین واحدهای مجاور هزینه‌ای در بر نداشته و هزینه نقل و انتقال بین واحدهای غیرمجاور برای هر واحد کالا و برای مسافت یک کارگاه برابر ۱۰۰ ریال باشد یک طرح استقرار مناسب برای این شرکت طراحی نمایید.

۳-۹ فعالیت‌های زیر در ارتباط با مونتاژ یک کالای خاص می‌باشند.

فعالیت وابسته	زمان انجام (به دقیقه)	فعالیت
—	۴۰۵	A
A	۱۰۱	B
A, B	۵۰۹	C
—	۵	D
D	۱۰۵	E
A, B, C	۱۰۲	F
A, B, C	۱۰۲	G
D, E	۱۰۲	H
D, E	۱۰۲	I
A, B, C, D, E, F, G, H, I	۵۰۸	J
J	۵۰۹	K

فرض کنید که سیکل تولید ۵ دقیقه باشد

الف- نمودار اسکلتی خط مونتاژ فوق را رسم نمایید.

ب- حداقل تعداد گروههای کاری را بدست آورید.

ج- بازدهی خط مونتاژ و گروههای کاری را محاسبه نمایید.

۳-۱۰ یک کارخانه تولیدکننده درب بازکن الکتریکی می‌خواهد خط مونتاژ خود را

موازنه نماید. لیست فعالیتها، زمان انجام و فعالیتهای وابسته در زیر آمده است.

فعالیت وابسته	زمان انجام فعالیت (به ثانیه)	فعالیت
—	۳۰	A
A	۶۰	B
A	۷۰	C
A	۵۰	D
A	۲۰	E
A, B, C	۴۰	F
A, C	۵۰	G
A, B, C, D, E, F, G	۵۰	H

میزان تقاضا ۴۰۰ واحد در روز بوده و در هر روز ۸ ساعت کاری وجود دارد.

الف- نمودار اسکلتی خط مونتاژ را رسم نمایید.

ب- حداقل تعداد گروههای کاری را محاسبه نمایید.

ج- کارآئی گروههای کاری را محاسبه نمایید.

جایابی سیستمهای عملیاتی^۱ «تعیین محل کارخانه»

مدیر عملیاتی در ابتدای برنامه‌ریزی با مسأله تعیین محل سیستم عملیاتی مواجه است. در يك سازمان كوچك مثل يك كارگاه جوشكاری مدیر واحد برای جایابی به عواملی نظیر در دید مشتری بودن، هزینه ساختمان یا اجاره و امثال اینها توجه دارد. اما در يك سازمان بزرگ مدیر باید عوامل بسیار دیگری از قبیل نزدیکی به بازار فروش کالا، دسترسی به نیروی کار، نزدیکی به مواد اولیه و انرژی را در نظر داشته باشد.

تعیین محل برای سیستم عملیاتی از تصمیمات مهم سازمان بوده و عوامل درون سیستم و برون سیستم بر آن اثر دارند. عوامل درون سیستم مانند نوع تکنولوژی مورد استفاده، ظرفیت تولید، و وضعیت مالی سازمان و نیروی کار مورد نیاز آن می‌باشد. عوامل برون سیستم نیز مانند اوضاع و شرایط اقتصادی، سیاسی و اجتماعی موجود می‌باشد. اغلب هزینه‌های ثابت و برخی از هزینه‌های متغیر يك سیستم عملیاتی بسا تصمیم درمورد تعیین محل سازمان ارتباط داشته و از این رو اثر بخشی، بازدهی و سودآوری سازمان تحت تأثیر مستقیم تصمیم مذکور قرار می‌گیرد.

1. Facility location

عوامل مؤثر در تعیین محل سیستم عملیاتی

عوامل بسیاری در تعیین محل يك سازمان چه تولیدی، و چه خدماتی تأثیر دارند. عمده این عوامل عبارتند از:

- ۱- ورودی سیستم
- ۲- خروجی سیستم
- ۳- مشخصات سیستم عملیاتی
- ۴- قوانین حقوقی و مالیاتی

ورودی سیستم - ورودی سیستم شامل مواد اولیه، نیروی کار و دیگر ورودی‌ها می‌باشد. درخصوص مواد اولیه هزینه حمل و نقل نقش مهمی دارد زیرا هرچه مواد اولیه سنگینتر و پرحجم‌تر باشند هزینه حمل بیشتر شده و نتیجتاً مقرون به صرفه‌تر است که سازمان در نزدیکی مواد اولیه قرار گیرد.

یکی دیگر از ورودی‌های سیستم نیروی کار می‌باشد. برای بسیاری از سازمانها دسترسی به نیروی کار و هزینه دستمزد بیشتر از نزدیکی به مواد اولیه اهمیت دارد. سیستمهایی که از کارگر استفاده بسیاری دارند نزدیکی به نیروی کار، سطح مهارت کارگران و هزینه دستمزد آنان نقش مهمی را در تعیین محل سازمان ایفا می‌کنند و باید به عوامل مذکور توجه کامل بشود. همچنین سیستمهایی که نیاز به انرژی بسیار دارند مانند صنایع فولاد نزدیکی آنها به محل‌های تأمین انرژی بسیار مهم می‌باشد.

خروجی سیستم - خروجی سیستم عمدتاً کالا و خدماتی است که سازمان عرضه می‌نماید. هزینه توزیع این کالاها و خدمات تأثیر فراوانی بر تعیین محل سازمان دارد. فرضاً هرچه کالای تولیدی سنگین‌تر و حجیم‌تر باشد نزدیکی به بازار فروش اهمیت بیشتری می‌یابد، همچنین سازمانهایی که کالاها و خدمات آنها مستقیماً مورد استفاده مشتری قرار می‌گیرد نزدیکی به بازار فروش واجد اهمیت فراوان است. مثلاً محل رستوران، سینما، و پارک باید نزدیک به بازار و مشتریان خود قرار گیرد تا مورد استفاده واقع شود.

مشخصات سیستم عملیاتی - مشخصات سیستم عملیاتی مانند نوع و روش تولید، تکنولوژی مورد استفاده، میزان آلوده سازی محیط و امثال اینها در تعیین محل سازمان مؤثر می‌باشد. فرضاً سیستمهایی که سر و صدای زیادی ایجاد می‌کنند و یا سیستمهایی که محیط را بیش از حد آلوده می‌سازند، مثل صنایع پتروشیمی باید در محل‌هایی دور از محیط‌های مسکونی ایجاد گردند. یا بعضی از صنایع مثل نساجی که نیاز به میزان رطوبت

معینی دارند باید در مناطقی تأسیس گردند که شرایط جوی متناسب با نیاز مذکور باشد.

قوانین حقوقی و مالیاتی - قوانین حقوقی گاهی اوقات تأسیس بعضی از سیستمها را در مناطق خاصی ممنوع اعلام نموده است، بنابراین در تعیین محل سازمان باید به قوانین و مقررات موجود توجه داشت. همچنین قوانین مالیاتی نیز معافیت‌هایی را برای برخی از مناطق در نظر می‌گیرند که این امر خود بر انتخاب محل سازمان تأثیر می‌گذارد.

مراحل مطالعات جایابی سیستمهای عملیاتی

در اغلب موارد مطالعات مربوط به جایابی طی سه مرحله انجام می‌گیرد. ابتدا به‌طور کلی يك منطقه برای سازمان مشخص می‌گردد. سپس در منطقه مذکور محدوده‌ای انتخاب شده و سرانجام محل مورد نظر در آن محدوده تعیین می‌گردد.

مرحله اول - انتخاب منطقه

برای انتخاب منطقه مورد نظر باید به عوامل زیر توجه نمود:

محل بااذا - نزدیکی سازمان به بازار فروش دارای اهمیت است. بخصوص اگر کالای تولیدی سازمان حجیم و سنگین باشد هزینه حمل و نقل رقم مهمی در ارتباط با هزینه کالا باشد نزدیکی به بازار فروش بیشتر اهمیت پیدا می‌کند. همچنین زمانی که سازمان کالا را بر اساس سفارش تولید می‌کند تماس مستقیم با مشتری بسیار مهم بوده و باید سعی شود سازمان در نزدیکی بازار مشتری قرار گیرد.

محل مواد اولیه - دسترسی سریع و آسان به مواد اولیه، قطعات و ابزار نیز از عوامل مهم در تعیین سیستم عملیاتی می‌باشند، بطور کلی وقتی هزینه حمل و نقل مواد اولیه و ابزار درصد مهمی از هزینه تمام‌شده کالا را تشکیل دهد عامل نزدیکی به مواد اولیه و قطعات اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

تسهیلات حمل و نقل - وجود تسهیلات حمل و نقل مانند خط آهن، جاده، راه آبی در تصمیم‌گیری تعیین منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند. مثلاً مؤسساتی که تولیدکننده کالای حجیم و سنگین و ارزیان قیمت می‌باشند دسترسی به راه آبی یکی از عوامل مهم تعیین منطقه برای آنهاست.

عرضه نیروی کار - نیروی کار یکی از مهمترین و پرهزینه‌ترین عوامل سیستم است. بنابراین در تعیین منطقه باید به میزان در دسترس بودن نیروی کار، میزان تخصص‌ها و مهارت‌های مورد نیاز، و میزان دستمزدهای متداول در منطقه توجه داشت.

محل سایر شعبات سازمان و مؤسسات مشابه - در تعیین منطقه باید به محل سایر شعبات سازمان از نقطه نظر کاهش هزینه‌های عملیاتی مثل هزینه انبارداری توجه داشت. همچنین محل مؤسسات مشابه در تصمیم‌گیری نسبت به انتخاب منطقه از نظر عواملی مانند میزان مشتری مهم می‌باشد.

مرحله دوم - انتخاب محدوده

انتخاب محدوده در داخل منطقه‌ای که قبلاً تعیین شده انجام می‌گیرد. اغلب عوامل مؤثر در انتخاب محدوده قابل کمی‌شدن نمی‌باشند بنابراین بیشتر جنبه قضایاتی به خود می‌گیرند. این عوامل عبارتند از:

اولویت‌های مورد نظر مدیریت - یکی از عوامل مؤثر در تعیین محدوده نظر مدیران عالی سازمان و اولویت‌های آنان می‌باشد.

دفاة عمومی - تسهیلاتی مانند مدرسه، مسجد، بیمارستان، پلیس و آتشنشانی در تعیین محدوده تأثیر دارد.

طرزتلقی ساکنان محدوده - طرزتلقی و نحوه برخورد ساکنان و اهالی محدوده نسبت به سازمان و فعالیتهای آن نقش مهمی را در انتخاب محدوده ایفا می‌کند. مثلاً اگر ساکنان محدوده نسبت به ایجاد يك صنعت خاص نظر موافق نداشته باشند، تأسیس صنعت مذکور در آن محل با اشکال توأم خواهد بود.

وجود امتیازات خاص برای برخی از محدوده‌ها - در بعضی مواقع دولت برای توسعه و عمران مناطق محروم امتیازات و تشویق‌های خاصی را قائل می‌شود. توجه به این امتیازات می‌تواند در تعیین محدوده مؤثر واقع گردد.

مرحله سوم - انتخاب محل

این آخرین مرحله جایابی سیستم عملیاتی می‌باشد. در تعیین محل باید به عوامل زیر توجه داشت:

اندازه محل - اندازه محل باید وسعت کافی برای سیستم پیشنهادی و توسعه‌های احتمالی آینده را دارا باشد.

مشخصات و ذوع زمین - مشخصات زمین مثل ترکیب خاک و میزان آبکشی آن باید با مشخصات ساختمان مورد نظر هماهنگی و تناسب داشته باشد.

امکان دلع مواد زائد و فضولات صنعتی - محل سازمان باید در جایی واقع گردد که دفع مواد زائد و فضولات با هزینه معقولی امکان پذیر باشد.

تسهیلات حمل و نقل - محل سازمان باید حتی المقدرو در مکانی باشد که امکان دسترسی به وسایل نقلیه عمومی مثل راه آهن، خطوط آبی و بزرگراه‌ها وجود داشته باشد.

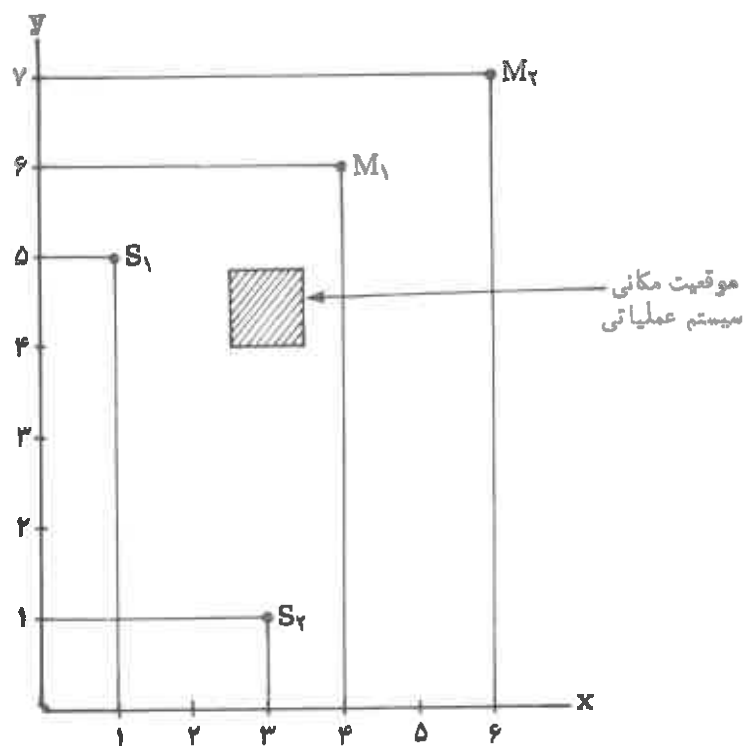
بهای زمین - قیمت زمین یکی از مهمترین عوامل تعیین محل بوده و باید کوشش شود که مناسب ترین محل با توجه به هزینه آن انتخاب شود.

مدلهای جایابی سیستمهای عملیاتی

انواع مختلفی از مدل‌های کمی برای جایابی سیستمهای عملیاتی به منظور یافتن بهترین موقعیت مکانی تهیه و تنظیم گردیده است. در اینجا به شرح برخی از متداولترین این مدلها می پردازیم.

مدل میانه^۱ - مدل میانه مکان سیستم عملیاتی را بر اساس حداقل هزینه حمل و نقل محل سیستم تعیین می کند. فرض کنید می خواهیم يك واحد جدید در يك منطقه ایجاد نماییم مواد اولیه از دو منبع مختلف S_1 و S_2 تهیه می شود و کالاهای تولیدی به دو مرکز بخش M_1 و M_2 ارسال می گردد. ابتدا يك محور مختصات را در نظر گرفته و نقاط S_1 و S_2 و M_1 و M_2 را روی آن نشان می دهیم. مقیاس محور مختصات می تواند متر، کیلومتر، مایل و... باشد. با توجه بداین نقاط باید دریابیم محل جدید سیستم عملیاتی به منظور حداقل کردن هزینه حمل و نقل در روی محور مختصات در کجا قرار می گیرد.

نمودار شماره (۴-۱) نشان دهنده موقعیت مکانی منابع اولیه و مراکز بخش می باشد و جدول شماره (۴-۱) نشانگر پیش بینی میزان حمل و نقل مواد و کالا بین سیستم عملیاتی مورد نظر و نقاط S_1 ، S_2 ، M_1 و M_2 می باشد.



نمودار شماره ۴-۱

نمودار موقعیت مکانی منابع اولیه و مراکز پخش

مختصات نقاط منابع اولیه و مراکز پخش		میزان ترافیکی	میزان کل مواد و کالای حمل و نقل شده	نقاط منابع اولیه و مراکز پخش
x_i	y_i			
۱	۵	۶۰	۶۰	S_1
۳	۱	۱۳۰	۷۰	S_2
۴	۶	۱۷۰	۴۰	M_1
۶	۷	۲۲۰	۵۰	M_2

جدول شماره ۴-۱

پیش‌بینی میزان حمل و نقل مواد و کالا

در مدل میانه میزان کالا و مواد در فواصل طی شده به طور افقی و عمودی نسبت به موقعیت مکانی سیستم عملیاتی مورد نظر اندازه گیری می شود. در این مدل حرکات به صورت مورب مجاز نمی باشد. هزینه کل حمل و نقل عبارتست از حاصل ضرب فواصل طی شده در میزان کالا و مواد:

$$C = \sum_{i=1}^n L_i D_i \quad (۲-۱)$$

در رابطه فوق:

$n =$ تعداد مسیرهای طی شده

$D_i =$ مسافت طی شده بین سیستم عملیاتی مورد نظر و نقاط منابع اولیه و مراکز پخش

$L_i =$ میزان کالا و مواد حمل و نقل شده

از آنجائی که مسافت طی شده در روی محورهای افقی و عمودی اندازه گیری می شوند میزان کل مسافت طی شده به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$D_i = |x - x_i| + |y - y_i| \quad (۲-۲)$$

در رابطه بالا x و y مختصات محل سیستم عملیاتی مورد نظر می باشد. محاسبه مختصات نقاط x و y با توجه به حداقل ساختن هزینه حمل و نقل به ترتیب زیر است:

۱- محاسبه میانه میزان کالا و مواد حمل و نقل شده - کل میزان مواد اولیه ای که به سیستم عملیاتی آورده می شود برابر است با $۱۳۰ = ۷۰ + ۶۰$ و کل میزان کالائی که از سیستم عملیاتی به مراکز توزیع حمل می گردد برابر است با $۹۰ = ۵۰ + ۴۰$ بنابراین میانه میزان کل موادی که به سیستم آورده شده و کالائی که از سیستم خارج شده برابر ۱۱۱ و ۱۱۰ می باشد (زیرا هر دو رقم ۱۰۹ واحد از ۲۲۰ فاصله دارند).

۲- تعیین محل میانه به دست آمده روی محور x ها - با توجه به نمودار شماره (۲-۱) روی محور x ها اول S_1 و بعد S_7 نسبت به مرکز محور مختصات قرار گرفته است. بنابراین همان طور که در جدول (۲-۱) مشاهده می شود میزانهای ۱ تا ۶ متعلق به S_1 با $x=1$ و ۶ تا ۱۳۰ متعلق به S_7 با $x=3$ می باشد. از آنجائی که میانه به دست آمده ۱۱۱ و ۱۱۰ می باشد و این میانه بین میزانهای ۶۱ تا ۱۳۰ واقع شده $x=3$ بهترین نقطه در روی محور x ها برای سیستم عملیاتی مورد نظر می باشد.

۳- تعیین محل میانه به دست آمده دوی محدود y ها - با توجه به نمودار شماره (۲-۱) روی محور y ها اول S_1 و بعد S_2 قرار گرفته است بنابراین با توجه به جدول شماره (۲-۱) میزان های ۱ تا ۷۵ متعلق به S_2 با $y=1$ و میزان های ۷۱ تا ۱۳۵ متعلق به S_1 با $y=5$ می باشد. از آنجائی که میانه به دست آمده ۱۱۱ و ۱۱۵ می باشد و این میانه بین میزان های ۷۱ تا ۱۳۵ قرار دارد $y=5$ بهترین نقطه در روی محور y ها برای سیستم عملیاتی مورد نظر می باشد.

بدین ترتیب بهترین محل برای سیستم عملیاتی مورد نظر نقطه ای با مختصات $\begin{cases} x=3 \\ y=5 \end{cases}$ می باشد در این نقطه هزینه حمل و نقل برای سیستم تولید و توزیع حداقل می باشد. هزینه کل حمل و نقل عبارتست از:

$$C = \sum_{i=1}^n L_i(|x - x_i| + |y - y_i|) \quad (2-2)$$

هزینه کل در جدول شماره (۲-۲) محاسبه شده است. با فرض اینکه مسافت طی شده با هزینه حمل و نقل رابطه مستقیم دارد می توان کل مسافت طی شده را با واحد پولی نشان داد. لازم به یادآوری است که محاسبات انجام شده در مراحل ۲ و ۳ را می توان با در نظر گرفتن نقاط توزیع (M_1 و M_2) نیز انجام داد و مختصات نقطه مطلوب را به دست آورد. مدل میانه یک مدل بسیار ساده بوده لیکن دارای معایب چندی می باشد که مهمترین آنها عبارتند از:

- این فرض که می توان در هر نقطه ای از محور مختصات سیستم عملیاتی جدید را ایجاد نمود، همواره درست نیست زیرا در عمل ممکنست با موانع مختلفی مواجه گردیم و نتوانیم در محل مطلوب به دست آمده از مدل سیستم عملیاتی را بنا کنیم.
- مواردی از قبیل تعیین مشخصات زمین و در دسترس بودن نیروی کار و بسیاری عوامل دیگر که قبلاً به آنها اشاره شد در این مدل مورد توجه قرار نگرفته است.

مدل حمل و نقل - مدل حمل و نقل با استفاده از هزینه حمل و نقل هر یک از مکان های مورد نظر بهترین محل سیستم عملیاتی را معین می کند. در این مدل کوشش بر آن است که محل سیستم عملیاتی بر اساس حداقل هزینه حمل و نقل تعیین شود. این مدل ظرفیت سیستم عملیاتی و میزان تقاضای بازار را نیز در نظر می گیرد. مدل حمل و نقل یک حالت خاص از برنامه ریزی خطی می باشد. در این قسمت با ذکر یک مثال به کاربرد مدل حمل و نقل در

1. the Distribution model

(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)
منابع و مراکز پخش	X_i	سیستم عملیاتی X	$ X - X_i $	Y_i	سیستم عملیاتی Y	$ Y - Y_i $	کل مسافت $(۷) + (۴)$	L_i	$L_i \times D_i$ $(۸) \times (۹)$
S_1	۱	۳	۲	۵	۵	۰	۲	۶۰	۱۲۰
S_2	۳	۳	۰	۱	۵	۴	۴	۷۰	۲۸۰
M_1	۴	۳	۱	۶	۵	۱	۲	۴۰	۸۰
M_2	۶	۳	۳	۷	۵	۲	۵	۵۰	۲۵۰
$\text{کل هزینه} = \sum_{i=1}^n L_i D_i = ۷۲۰$									
<p>توجه: هر واحد مسافت يك واحد پولي فرض شده است.</p>									

جدول شماره ۲-۴

محاسبه کل هزینه برای تعیین محل سیستم عملیاتی

جایابی اشاره می‌گردد و الگوریتم مسدل مذکور را می‌توان در کتب پژوهش عملیات مطالعه کرد.

مثال:

یک شرکت برای تولید کاغذ بسته‌بندی دارای ۲ کارگاه در دوشهر X و Y می‌باشد ظرفیت کارگاه X برابر ۲۰۰۰۰۰۰ بند و ظرفیت کارگاه Y برابر ۳۰۰۰۰۰۰ بند کاغذ در سال می‌باشد. این شرکت دارای سه مرکز توزیع در سه شهر A، B و C می‌باشد و تقاضا برای کاغذ بسته‌بندی در هر یک از شهرهای فوق به ترتیب برابر ۱۵۰۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰۰ بند در سال است. پیش‌بینی می‌شود تقاضا برای کاغذ بسته‌بندی سالانه به میزان ۱۰۰۰۰۰۰ بند افزایش داشته باشد بنابراین شرکت در صدد تأسیس یک کارگاه جدید می‌باشد. مطالعات اولیه نشان داده که امکان تأسیس واحد جدید در دوشهر I و II وجود وجود دارد. جدول شماره (۳-۴) نشان‌دهنده اطلاعات مربوط به هزینه حمل و نقل از کارگاههای موجود و پیشنهادی تا محل‌های توزیع می‌باشد. حال با استفاده از مدل حمل و نقل می‌خواهیم محل کارگاه جدید را با توجه به حداقل هزینه حمل و نقل مشخص سازیم. بدین منظور مراحل زیر باید طی شود:

۱- ابتدا فرض می‌کنیم که واحد جدید در شهر I بنا شود و براین اساس حداقل هزینه حمل و نقل ممکن را محاسبه می‌کنیم.

ظرفیت سیستم عملیاتی (به ۱۰۰۰۰)	مراکز توزیع			کارگاهها
	C	B	A	
۲۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۲۰۰	X
۳۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۰۰	Y
۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۳۰۰	I
۱۰۰	۳۷۵	۲۵۰	۱۷۰	II
	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰	میزان تقاضا

جدول شماره ۳-۴

اطلاعات مربوط به هزینه حمل و نقل

۲- حال فرض می‌کنیم که واحد جدید در شهر II بنا شود و براین اساس حداقل هزینه حمل و نقل ممکن را محاسبه می‌کنیم.

۳- بهترین محل را از بین دو شهر فوق با توجه به کمترین هزینه محاسبه شده در مراحل قبل انتخاب می‌کنیم.

در مرحله اول فرض می‌کنیم که واحد جدید در شهر I بنا شود. براین اساس حداقل هزینه حمل و نقل را محاسبه می‌کنیم. آخرین تابلوی این محاسبات در جدول (۴-۲) نشان داده شده است. (در این قسمت از شرح تفصیلی محاسبات صرفنظر شده است.)

در مرحله دوم فرض می‌کنیم که واحد جدید در شهر II بنا شود. براین اساس نیز حداقل هزینه حمل و نقل را محاسبه می‌کنیم. نتایج حاصل در جدول (۴-۵) آمده است. با توجه به هزینه کل حمل و نقل به دست آمده در جداول قبل پیشنهاد می‌شود که واحد

ظرفیت	مراکز توزیع			کارگاهها
	C	B	A	
۲۰۰	۳۰۰ ۵۰	۱۰۰ ۰	۲۰۰ ۱۵۰	X
۳۰۰	۲۰۰ ۵۰	۲۰۰ ۲۵۰	۵۰۰ ۰	Y
۱۰۰	۲۰۰ ۱۰۰	۱۰۰ ۰	۳۰۰ ۰	I
	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰	تفاضل
$\text{کل هزینه} = ۲۰۰ \times ۱۵۰ + ۳۰۰ \times ۵۰ + ۲۰۰ \times ۲۵۰$ $+ ۲۰۰ \times ۵۰ + ۲۰۰ \times ۱۰۰ = ۱۳۵۰۰۰$				

جدول شماره ۴-۴

حداقل هزینه حمل و نقل برای کارگاه پیشنهادی در شهر I

ظرفیت	مراکز توزیع			کارگاهها
	C	B	A	
۲۰۰	۳۰۰ ۱۵۰	۱۰۰ ۰	۲۰۰ ۵۰	X
۳۰۰	۲۰۰ ۵۰	۲۰۰ ۲۵۰	۵۰۰ ۰	Y
۱۰۰	۳۷۵ ۰	۲۵۰ ۰	۱۷۰ ۱۰۰	I
	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰	تقاضا
$\begin{aligned} \text{کل هزینه} &= ۲۰۰ \times ۵۰ + ۳۰۰ \times ۱۵۰ + ۲۰۰ \times ۲۵۰ \\ &+ ۳۰۰ \times ۵۰ + ۱۷۰ \times ۱۰۰ = ۱۴۲۰۰۰ \end{aligned}$				

جدول شماره ۴-۵

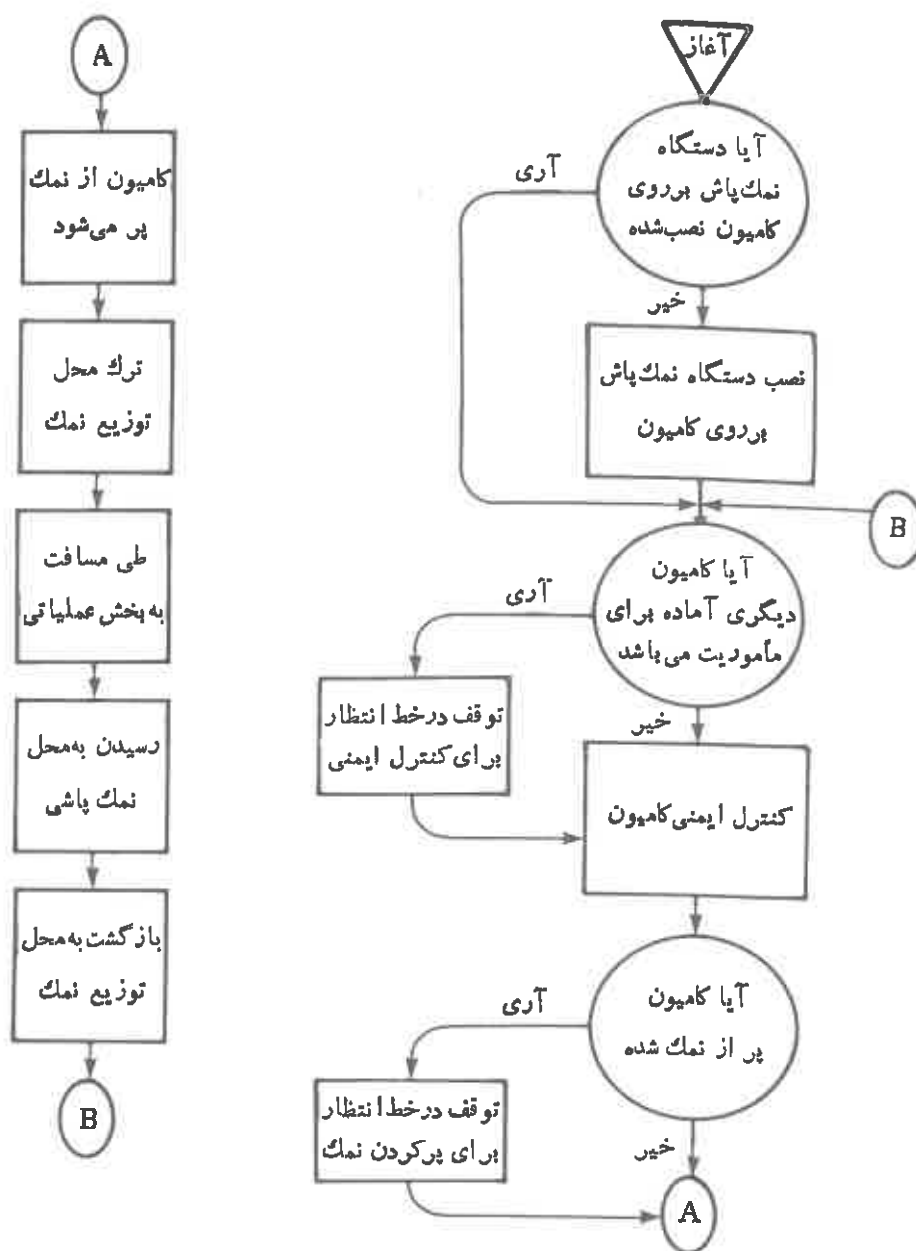
حداقل هزینه حمل و نقل برای کارگاه پیشنهادی در شهر II

جدید در شهر I بنا گردد.

مدل حمل و نقل مدلی ساده بوده که بهترین محل سیستم عملیاتی را براساس حداقل هزینه حمل و نقل تعیین می‌کند و بنابراین سایر متغیرها را در نظر نداشته و این یکی از نقاط ضعف اصلی مدل مذکور می‌باشد.

مدل شبیه‌سازی^۱ - برای مسائل پیچیده‌تر جایابی مدل‌های کامپیوتری شبیه‌سازی طراحی شده‌اند. بسیاری از این مدل‌ها با توجه به مورد خاص تنظیم گردیده‌اند و برخی دیگر از آنها موارد استفاده عمومی دارند. در اینجا با ذکر یک مثال کاربرد مدل شبیه‌سازی در جایابی را بیان داشته و شرح تفصیلی مدل مذکور را به منابع مربوطه واگذار می‌کنیم.

1. the Simulation model



نمودار شماره ۴-۲

فلوجارت مدل شبیه‌سازی برای عملیات نمك پاشی خیابانها

مثال:

فرض کنید شهرداری يك منطقه سردسیر برای جلوگیری از یخبندان خیابانها در نظر دارد محل هایی را برای استقرار کامیونهای حاوی نمك تعیین کند تا در مواقع لزوم کامیونها بتوانند در حداقل زمان و با طی حداقل مسافت خیابانها را نمك پاشی کنند. هر کامیون را برای بخشی از منطقه در نظر می گیریم. در تخصیص کامیونها به هر بخش هدف آن است که تعادلی بین هر بخش و زمان و مسافت طی شده به وجود آید. البته در نظر گرفتن ظرفیت کامیونها مسأله را پیچیده تر می کند. با استفاده از مدل شبیه سازی قاعده ای برای تخصیص کامیونها به هر بخش تنظیم می شود. در این قاعده هر بخش عبارتست از طولی از يك خیابان که بتوان به وسیله يك کامیون پر از نمك، آن را نمك پاشی کرد. بنابراین در این قاعده وقتی کامیون پر از نمك گردید و آماده برای رفتن به بخش مورد نظر شد با توجه به سه عامل زیر بخش تعیین می گردد.

- ۱- بخش باید بتواند با يك کامیون نمك پاشی شود.
 - ۲- بخش نباید تا این زمان نمك پاشی شده باشد.
 - ۳- بخش باید نزدیکترین نقطه به محل توزیع نمك باشد.
- فلوچارت مدل شبیه سازی برای مثال فوق در نمودار (۲-۴) نشان داده شده است.

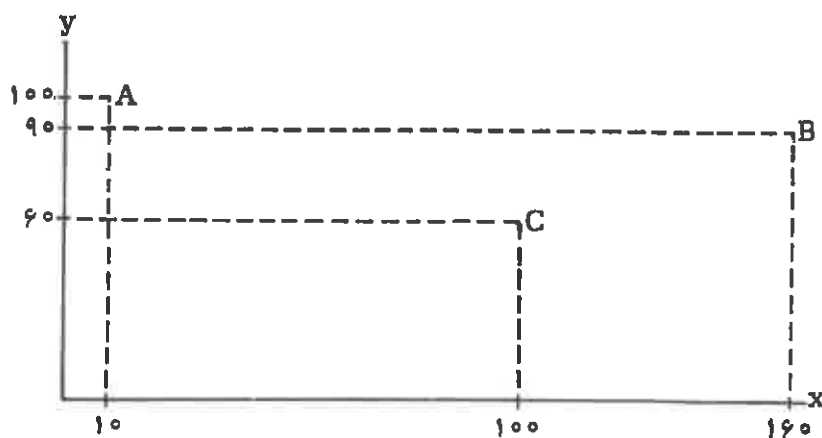
مسائل و تمرینات فصل چهارم

۴-۱ عوامل مؤثر در تعیین محل سیستمهای عملیاتی را توضیح دهید.

۴-۲ مراحل مهم در مطالعات مربوط به جایی کدامند؟ توضیح دهید.

۴-۳ مدل‌های مختلف کمی جایی را نام برده و مدل میانه را شرح دهید.

۴-۴ کارخانه‌ای که دارای ۳ واحد تولید A، B و C می‌باشد در نظر دارد واحد مونتاژ خود را در بهترین نقطه نسبت به محل‌های تولیدکنونی ایجاد کند. محل واحدهای تولید در نمودار زیر مشخص شده است.



محل واحدها	X	Y
A	۱۰	۱۰۰
B	۱۶۰	۹۰
C	۱۰۰	۶۰

میزان تولیداتی که پیش‌بینی می‌شود سالانه از کارخانجات A، B و C برای مونتاژ به کارخانه جدید فرستاده شوند عبارتند از:

از کارخانه A	۹۰
از کارخانه B	۱۵۰
از کارخانه C	۱۲۰

بهترین محل برای تأسیس واحد مونتاژ را تعیین کنید.

۴-۵ چگونه می‌توان مسأله قبل را از طریق مدل حمل و نقل حل کرد؟

۴-۶ مسئولان شهرداری يك شهر بزرگ می‌خواهند در مورد تعیین بهترین محل برای ایستگاه اصلی جمع‌آوری زباله تصمیم بگیرند. در حال حاضر محل فرعی برای جمع‌آوری زباله‌ها وجود دارد که ظرفیت روزانه آنها از این قرار است:

ظرفیت روزانه	مختصات ایستگاههای فرعی زباله		محل ایستگاههای جمع‌آوری زباله
	y	x	
۳۰	۱۲	۲	۱
۱۲۰	۲	۶	۲
۳۰	۹	۱۱	۳
۲۰	۱۳	۱	۴

با استفاده از مدل میانه بهترین محل برای تأسیس ایستگاه اصلی جمع‌آوری زباله را تعیین کنید.



مطالعه کار^۱

مطالعه کار عبارتست از به کارگیری تکنیکهایی مانند روش سنجی^۲ و کارسنجی^۳ برای بهبود کارآیی و افزایش اثربخشی در سازمان. بنا براین مطالعه کار مستقیماً با بازدهی در ارتباط است. مطالعه کار را سالها تحت عنوان «بررسی زمان و حرکت»^۴ می شناختند اما با توسعه کاربرد آن در زمینه های گوناگون، مطالعه کار مفهوم وسیعتری یافت. هرگاه بخواهیم با استفاده از منابع موجود بازدهی را افزایش دهیم، مطالعه کار یکی از طرق مطلوب می باشد. مطالعه کار به طور سیستماتیک در یافتن مشکلات و ارائه راه حل برای آنها مدیریت را یاری می دهد. دلائل اهمیت مطالعه کار را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- مطالعه کار وسیله مؤثری برای افزایش کارآیی است.
- ۲- مطالعه کار به طور منظم و همه جانبه کلیه اجزای عملیات را مد نظر قرار می دهد.
- ۳- مطالعه کار یکی از طرق دقیق و مطمئن برای تعیین استانداردهای کاری می باشد.
- ۴- نتایج حاصل از مطالعه کار در سازمان را به سرعت می توان مشاهده کرد.
- ۵- مطالعه کار را در هر سازمانی اعم از خدماتی، تولیدی، تولید دستی یا ماشینی

1. Work Study
3. Work measurement

2. method study
4. time & motion study

می‌توان به‌کار گرفت.

۶- مطالعه کار یکی از مؤثرترین و بهترین ابزارهای تحقیق برای مدیران است. همان‌گونه که اشاره شد مطالعه کار شامل تکنیکهای مختلفی می‌باشد. عمده‌ترین تکنیکها در مطالعه کار، روش سنجی و کارسنجی است.

روش سنجی عبارتست از ثبت منظم و بررسی دقیق روشهای انجام کار و پیشنهاد روشهای اصلاحی به منظور کاهش هزینه‌ها، ساده‌تر کردن عملیات و افزایش بازدهی. کارسنجی عبارتست از به‌کارگیری تکنیکهایی برای تعیین زمان انجام کار معین به وسیله یک فرد واجد شرایط در سطحی قابل قبول.

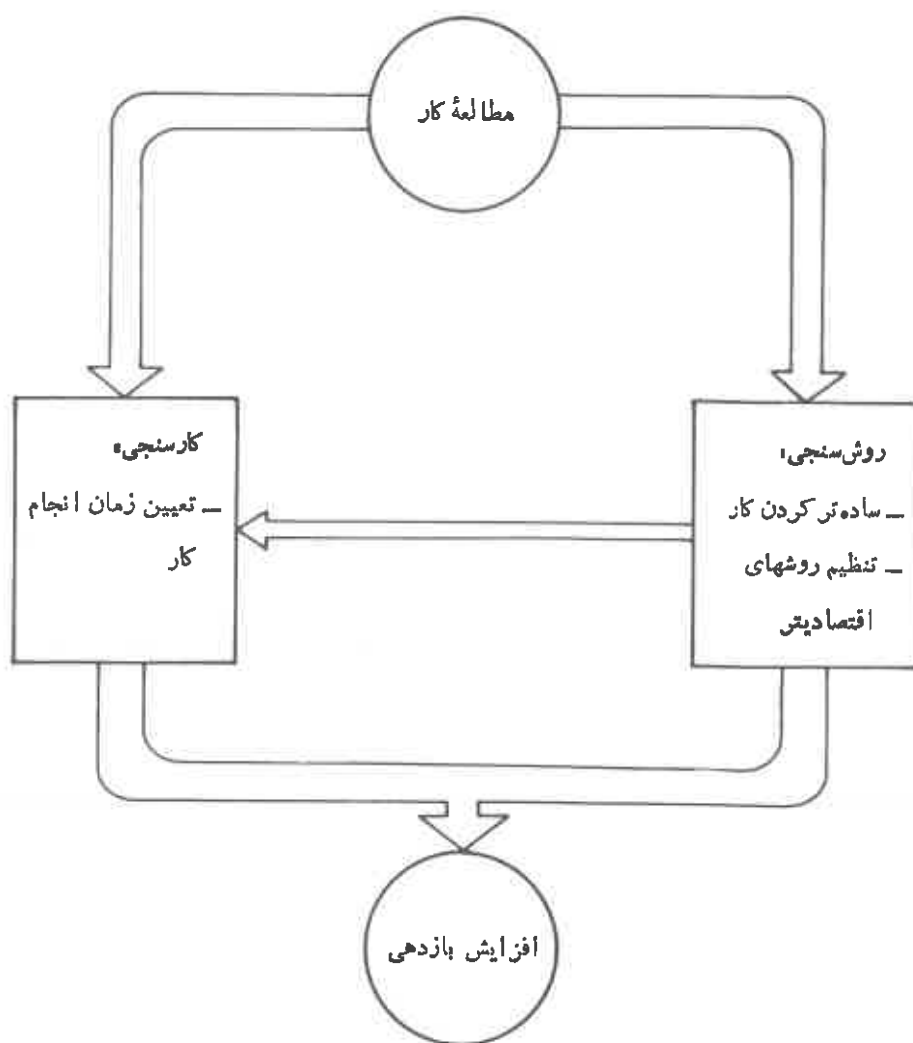
بدین ترتیب کارسنجی و روش سنجی در ارتباط نزدیک با یکدیگر می‌باشند. روش سنجی بیشتر در ارتباط با کاهش عملیات غیر ضروری در یک کار خاص می‌باشد و کارسنجی در ارتباط با کاهش زمانهای زائد و تعیین زمان استاندارد است؛ ارتباط بین روش سنجی و کارسنجی در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. اهداف روش سنجی و کارسنجی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

اهداف روش سنجی

- بهبود روشهای کار.
- بهبود نحوه استقرار ماشین آلات.
- کاهش میزان خستگی کارکنان.
- ارتقاء کیفیت کالای تولیدی.
- استفاده بهتر از منابع و امکانات سازمان.
- سرعت بخشیدن به جابجایی مواد.
- کاهش مخاطرات و سوانح حین کار.

اهداف کارسنجی

- تعیین زمان مورد نیاز برای انجام یک کار از طریق مقایسه روشهای ممکن و انتخاب سریعترین روش.
- تعیین نیروی انسانی لازم برای انجام کار.
- تعیین ابزار و تجهیزات مورد نیاز.
- تدارک اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی بهتر.
- کمک به تعیین زمان دقیق تحویل.



شکل ۱-۵

ارتباط بین روش سنجی و طراحی شغل

- کمک به تعیین بودجه بندی دقیق نیروی انسانی.
- کمک به برقراری یک سیستم هزینه یابی استاندارد.
- کمک به برقراری سیستم تشویقی کارکنان.
- کنترل بهتر کارکنان.

مراحل انجام روش سنجی

مراحل انجام روش سنجی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- ۱- تجزیه و تحلیل مسأله و مشکل - ابتدا مشکل را مشخص و سپس تمام اطلاعات مربوط به آن را جمع‌آوری می‌کنیم. مسأله موردنظر ممکن است کاهش هزینه‌ها، اصلاح تنگناها و یا کاهش میزان خستگی کارکنان، به منظور افزایش بازدهی باشد.
- ۲- بررسی روش موجود - در این مرحله کلیه اطلاعات مربوط به روش مورد عمل جمع‌آوری می‌شود و نقاطی که از اصول اصلی کار تخلفی شده، مشخص می‌گردد.
- ۳- تنظیم روش پیشنهادی - در این مرحله یک روش اصلاحی با توجه به اصول اساسی کار تنظیم می‌شود.
- ۴- اجرای روش پیشنهادی - در این مرحله یک روش جدید به اجرا درمی‌آید. به منظور انجام مراحل فوق یک سری تکنیکهای خاص ابداع شده است که به طور اختصار به برخی از آنها اشاره خواهد شد.

تکنیکهای تجزیه و تحلیل روشهای انجام کار

الف - نمودار جریان کار

در تجزیه و تحلیل حرکات، نمودارهای جریان کار بسیار مفید می‌باشند نمودار جریان کار عبارتست از یک شمای ترسیمی برای نشان دادن نحوه انجام یک کار با تولید یک کالا که مراحل مختلفی را طی می‌کند. در نمودارهای جریان کار، معمولاً اطلاعاتی نظیر: میزان کار، مسافت، نوع کار و ابزار مورد استفاده و زمان لازم برای انجام کار نشان داده می‌شود. به منظور ساده کردن تنظیم نمودارهای جریان کار از علائمی که در جدول (۱-۵) آمده است استفاده می‌شود.

هرگاه دو فعالیت در یک زمان واحد انجام گیرند از علائم ترکیبی استفاده می‌شود. مانند ⊕ که نشان‌دهنده عمل در حین جابه‌جایی است یا ⊗ که نشانگر کنترل در حین عمل می‌باشد. اشیائی که در حین انتقال رنگ آمیزی می‌شوند یا بطریهای شیر که هنگام پرشدن توزین هم می‌شوند، نمونه‌هایی از عملیات ترکیبی می‌باشند.

انواع نمودارهای جریان کار

نمودارهای جریان کار با توجه به کاربرد آنها به سه دسته‌ای مختلف قابل تنظیم است. انواع این نمودارها عبارتند از:

علائم	عنوان علائم	شرح علائم
○	عمل	هر نوع عملی که منجر به تغییر مشخصات فیزیکی یا شیمیایی شود.
➡	جاب‌جایی	هر نوع تغییر در محل شیئی.
□	کنترل	کنترل کمی یا کیفی.
D	تأخیر	هر نوع توقف غیر ضروری برای انجام عمل بعدی.
▽	انبار	نگهداری شیئی.

جدول ۵-۱

علائم نمودارهای جریان کار

۱- نمودار فراگرد عملیات^۱

۲- نمودار مراحل فراگرد عملیات^۲

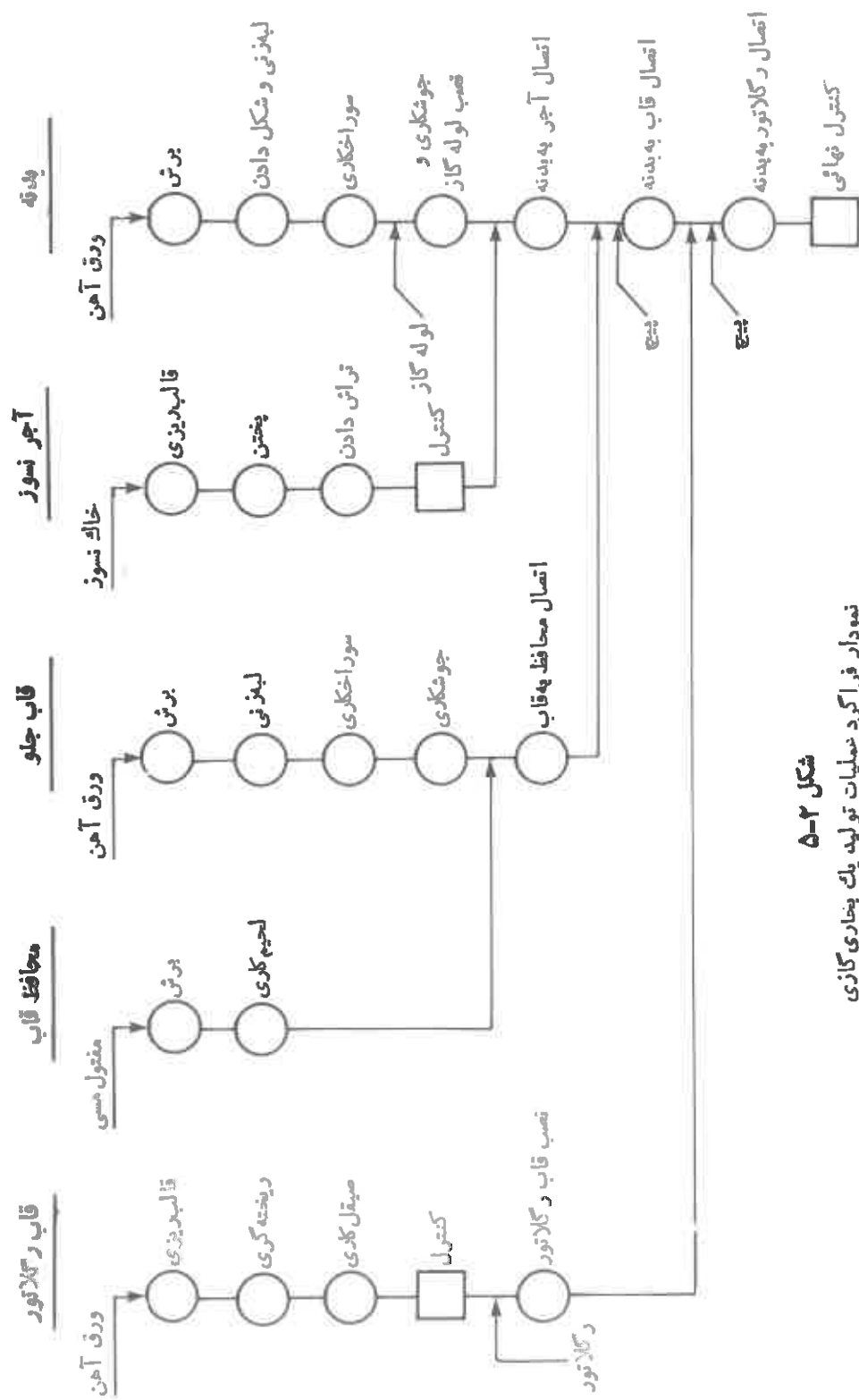
۳- نمودار جریان عملیات^۳

نمودار فراگرد عملیات - در نمودار فراگرد عملیات بیشتر از علائم «عمل» و «کنترل» استفاده می‌شود. شکل شماره (۵-۲) نمودار فراگرد عملیات را برای یک کارخانه تولید بخاری گازی نشان می‌دهد. برای تنظیم این نمودار ابتدا تقدم و تأخر فعالیتها را مشخص کرده، سپس عملیات مربوط به قطعه اصلی را درست راست نمودار و قطعاتی را که در مراحل مختلف به آن متصل می‌شوند به ترتیب از راست به چپ ترسیم می‌کنیم. عملیات تولیدی به صورت عمودی و مواد یا قطعاتی که از خارج تأمین می‌شوند یا پیش ساخته می‌باشند به صورت افقی در نمودار نشان داده می‌شوند. از این نمودار بیشتر در سیستمهای

1. Process chart

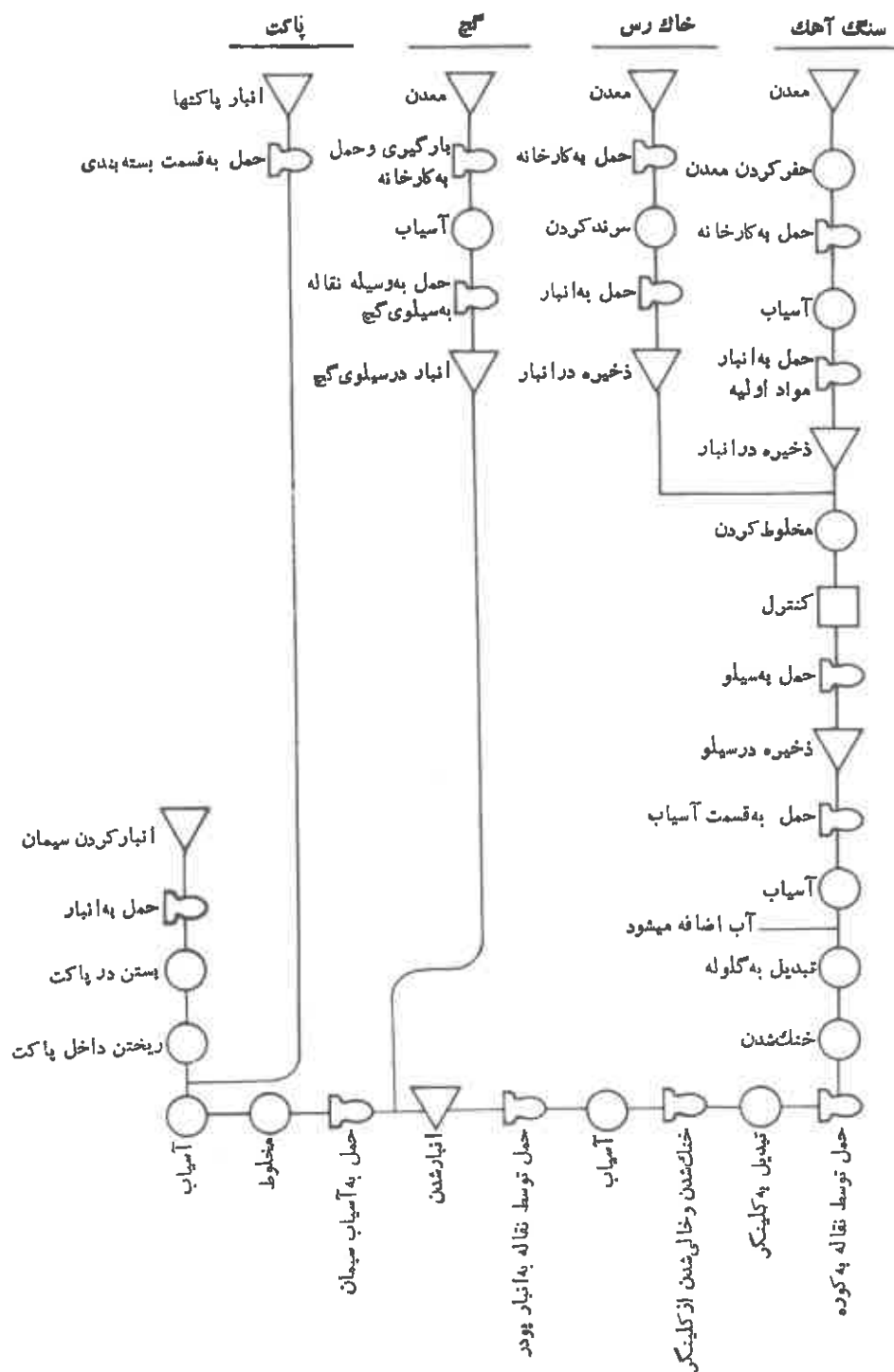
2. Flow Process chart

3. Flow diagram



شکل ۵-۲

نمودار فراگرد عملیات تولید یک بخاری گازی



شكل ۵-۳

نمودار مراحل فراگرد عمليات يك كارخانه سيمان

تولیدی سفارشی استفاده می‌کنند زیرا در این سیستم‌ها، حمل و نقل، تأخیر و انبار را نمی‌توان از قبل پیش‌بینی کرد و اغلب فعالیت‌های «عمل» و «کنترل» مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

نمودار مراحل فراگرد عملیات - این نمودار کاملتر از نمودار فراگرد عملیات است و در آن از تمامی علائم جریان کار استفاده می‌شود. نمودار مسدود بیشتر در بررسی سیستم‌های تولیدی پیوسته کاربرد دارد. شکل شماره (۴-۵) نمودار مراحل فراگرد عملیات یک کارخانه تولید سیمان را نشان می‌دهد.

نمودار مراحل فراگرد عملیات را می‌توان به صورت دیگری نیز که در شکل شماره (۴-۵) آمده تنظیم کرد. در این نمودار اطلاعاتی مانند «زمان انجام هر فعالیت» و «مسافت طی شده بین فعالیت‌ها» و «نوع ماشین‌آلات مورد استفاده» نیز ذکر می‌شود.

نمودار جریان عملیات - در این نوع نمودار جریان حمل و نقل و جابه‌جایی مواد و کارکنان در کارگاه نشان داده می‌شود. برای تنظیم این نمودار ابتدا محیط کار و تجهیزات آن به‌مقیاس معینی ترسیم شده که در واقع نقشه استقرار ماشین‌آلات در کارگاه می‌باشد. سپس جریان مواد و جابه‌جایی کارکنان را بین ماشین‌آلات و تجهیزات مشخص می‌کنیم. شکل شماره (۵-۵) نمودار ساده‌ای از جریان عملیات در یک کارگاه را نشان می‌دهد. در این نمودار مواد اولیه از انبار به قسمت A منتقل شده و در این قسمت عملیات مربوطه انجام گرفته و سپس قطعه نیم‌ساخته به قسمت B برای انجام عملیات منتقل می‌شود. پس از آن قطعه برای کنترل به قسمت C فرستاده می‌شود و آنگاه در قسمت D در انتظار حمل به خارج کارگاه باقی می‌ماند. اغلب از این نمودار برای اصلاح نحوه استقرار ماشین‌آلات استفاده می‌شود. فرضاً در مثال بالا در صورت امکان می‌توان با تعویض محل قسمت‌های A و B میزان جابه‌جایی را کاهش داد.

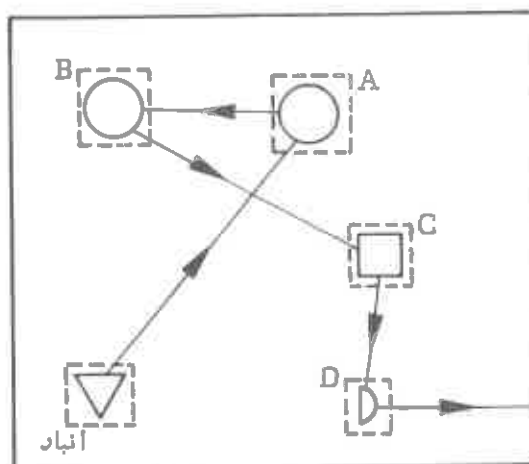
ب- روش تجزیه و تحلیل عملیات

در این روش به شرح جزئیات عملیات یک کار می‌پردازیم. هدف از تجزیه و تحلیل عملیات به دست آوردن حداکثر بازدهی از ماشین‌آلات و افراد با حداقل خستگی می‌باشد. در این روش تأکید بر حرکات دست، پا و بازو به منظور یافتن روش‌های ساده‌تر و اقتصادی‌تر انجام کار می‌باشد. قبل از شروع به تجزیه و تحلیل عملیات باید نمودار فعالیت‌های فعلی فرد و ماشین تنظیم شود. نمودار شماره (۶-۵) نشان‌دهنده حرکات دست راست و چپ یک اپراتور برای اتصال دو صفحه فلزی می‌باشد.

نوع تجهیزات	مسافت (به متر)	زمان انجام (به دقیقه)	عملیات					شرح فعالیت
			⇨	D	▽	□	○	
—	—	—						انبار
نقاله	۱۰	۲						حمل مواد از انبار پای ماشین برش
—	—	۵						توقف برای تنظیم ماشین برش
ماشین برش عمودی	—	۲۰						برش
—	—	۱۰						توقف برای رسیدن نقاله
نقاله	۲۰	۶						حمل به کارگاه تراشکاری
—	—	۱۵						کنترل قبل از ماشینکاری
ماشین پر نیرو رسال	—	۲۰						ماشینکاری

شکل ۴-۵

نمودار مراحل فراگرد عملیات تولید پلک کالای






شکل ۵-۵

نمودار جریان عملیات

در تجزیه و تحلیل عملیات باید به اصول اقتصادی حرکات توجه کرد. اصول مذکور درمورد استفاده از دست، بازوها، پا و بکارگیری ابزار، به طوری که حداقل خستگی ایجاد شود، نکاتی را ارائه می‌دهد. اصول مذکور عبارتند از:

- ۱- دو دست باید کار خود را باهم آغاز کنند و باهم خاتمه دهند.
- ۲- دو دست جز در زمان استراحت مجاز، نباید بیکار باشند.
- ۳- حرکات بازوها و دستها باید در خلاف جهت هم و به صورت متقارن انجام پذیرند.
- ۴- ضمن اینکه کار به طور رضایتبخشی انجام می‌گیرد حرکات دست و بدن باید در حداقل ممکن باشند.
- ۵- از نیروی شتایی^۱ در جهت سهولت کار استفاده شود و اگر نیروی مذکور باید به وسیله فرد خنثی شود، لازم است آن را به حداقل رساند.
- ۶- حتی الامکان از حرکات ناموزون و خلاف جهت دستها جلوگیری شود.
- ۷- حتی المقدور از حرکات آزاد و ساده تر به جای حرکات مقطع استفاده شود.
- ۸- حرکات باید طوری تنظیم شوند که با حرکات طبیعی بدن هماهنگی داشته باشند.
- ۹- تطابق چشمی باید حتی المقدور کمتر انجام گیرد.

1. momentum

علامت جدول:		طرح قطعات:			
○	انجام عمل		صفحات فلزی		
→	انتقال		پیچ		
▽	نگهداشتن		مهره		
D	تاخیر				
حرکات دست چپ	○	→	▽	D	حرکات دست راست
صفحه فلزی شماره ۱ را برمی دارد					صفحه فلزی شماره ۲ را برمی دارد
صفحه شماره ۱ را به شماره ۲ نزدیک می کند					صفحه شماره ۲ را به شماره ۱ نزدیک می کند
سو را خنثی و دو صفحه را با هم میز آن می کند					سو را خنثی و دو صفحه را با هم میز آن می کند
دست برای برداشتن پیچ حرکت می کند					دو صفحه را کنار هم نگه می دارد
پیچ را برمی دارد					دو صفحه را کنار هم نگه می دارد
پیچ را به طرف سو رانده و پیچ را داخل سو رانده می کند					دو صفحه را کنار هم نگه می دارد
پیچ را داخل سو رانده می کند					دست برای برداشتن مهره حرکت می کند
دو صفحه را نگه می دارد					مهره را برمی دارد
دو صفحه را نگه می دارد					مهره را به طرف پیچ می آورد
دو صفحه را نگه می دارد					مهره را در پیچ می بیند
دو صفحه را نگه می دارد					مهره را محکم می کند
دو صفحه را نگه می دارد					صفحات پیچ شده را نگه می دارد
دو صفحه را نگه می دارد					صفحات را به طرف چپ می برد
دو صفحه را نگه می دارد					آنها را در چپ می اندازد

نمودار شماره ۵

نمودار. عملیات دست راست و چپ برای اتصال دو صفحه

- ۱۰- محل معین و ثابتی باید برای ابزار وجود داشته باشد.
- ۱۱- ابزار و مواد باید نزدیک محل کار و استفاده از آنها قرار داشته باشند.
- ۱۲- در مواردی که استفاده از نقاله‌های سقفی و جرثقیلها، کار را ساده می‌سازد باید از آنها استفاده شود.
- ۱۳- مواد و قطعات باید طوری قرار گیرند که با توالی فعالیتها، تناسب داشته باشند.
- ۱۴- نور باید برای رؤیت کافی باشد.
- ۱۵- ارتفاع محل کار و صندلیها باید قابل تغییر باشند تا بتوان مطابق قد و قامت فرد آنها را تنظیم کرد.
- ۱۶- در صورت امکان ابزارهای کار باهم ترکیب شوند.
- ۱۷- مواد و ابزار کار باید از قبل آماده شده باشند.
- ۱۸- جایی که هر انگشت حرکت خاصی را مانند ماشین نویسی انجام می‌دهد سنگینی کار باید با توجه به قدرت هر انگشت توزیع شود.
- ۱۹- اهرمها، نقاله‌ها و چرخهای دستی باید در جایی قرار گیرند که کارگر بتواند با حداقل تغییر در وضعیت بدنی خود بهترین کارآیی را حاصل کند.

نمودار فعالیت^۱

نمودار دیگری که در تجزیه و تحلیل عملیات و به‌طور کلی مطالعه کار مورد استفاده قرار می‌گیرد نمودار فعالیت یا نمودار جریان کار انسان و ماشین^۲ می‌باشد. در این نمودار کار انجام شده به وسیله کارگر و ماشین به اجزاء تشکیل دهنده آنها تجزیه می‌گردد و یک مقیاس زمانی، گذشت زمان را نشان می‌دهد. به وسیله این نمودار می‌توان درصد زمان کار و بیکاری برای فرد و ماشین را به سادگی محاسبه کرد. نمودارهای فعالیت، برای بررسی کارهای تکراری که به وسیله انسان و ماشین صورت می‌گیرد مفید می‌باشد. نمودار شماره (۵-۷) عملیات اپراتور و ماشین کارت‌خوان را نشان می‌دهد و تحلیلگر می‌تواند با کاهش زمان بیکاری فرد و ماشین بازدهی را افزایش دهد. جدول شماره (۵-۲) نیز زمان کار و بیکاری اپراتور را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

نمودار چند فعالیتی^۳

نمودار چند فعالیتی در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یک فرد با چند وسیله

1. Activity Chart
2. Man & Machine Process Chart
3. Multiple Activity Chart

زمان (ثانیه)	حرکات اپراتور	عملیات ماشین	زمان (ثانیه)
۵			
۲	حلقه کش دور بسته کارتها را در می آورد		
۲	کارتهای را در محل مخصوص قرار می دهد	بیکاری	
۶	دسته مخصوص را در محل خود میزبان می کند		
۸	تکمه مربوط را فشار می دهد		
۱۰			
۱۲		دستگاه شروع به خواندن	
۱۴		کارتهای می کند	
۱۶			
۱۸	بسته کارتها را از قسمت خارجی بر می دارد		
۲۰	کش دور آن را می بندد	بیکاری	

نمودار شماره ۷-۵

نمودار فعالیت اپراتور و ماشین کارتخوان

و یا چند ماشین کار می کند و یا چند نفر با یک ماشین مشغول کار می باشند. تجزیه و تحلیل این نمودار نشان دهنده ترتیب انجام فعالیتها، زمان لازم برای هر فعالیت و ارتباط بین وسائل و تجهیزات با کارگر می باشد. به طور کلی دو نوع نمودار چند فعالیتی وجود دارد:

- ۱- نمودار چند فعالیتی فرد و ماشین.
- ۲- نمودار چند فعالیتی افراد و ماشینها.

در نمودار چند فعالیتی برای هر کارگر یا ماشین یک ستون خاص از علائم وجود دارد و زمان برای هر دو عامل به صورت نموداری نشان داده می شود. از این نمودار برای طراحی عملیات یا تغییر آن استفاده می شود. استفاده از نمودار چند فعالیتی موجب بهره وری بیشتر از ماشین آلات و نیروی کار می گردد. ضمن آنکه هماهنگی و ایمنی کار نیز بدین وسیله افزایش می یابد. همچنین با به کارگیری این نمودار می توان ابزار و تجهیزات را بر اساس نیازهای افراد تغییر داد.

ماشین		اپراتور		
زمان (ثانیه) %		زمان (ثانیه) %		
۴۰	۸	۶۰	۱۲	کار
۶۰	۱۲	۴۰	۸	بیکاری

جدول شماره ۵-۳

جدول زمانی اپراتور و ماشین کارت خوان

نمودار شماره (۵-۸) نمونه‌ای از نمودار چند فعالیتی برای دوکارگر و یک ماشین برای انجام وظایف آماده‌سازی، تکثیر، جمع‌آوری، و دوخت جزوات می‌باشد. اگر زمان تکثیر ۳۴ دقیقه، زمان جمع‌آوری ۳۰ دقیقه و زمان دوخت ۵۰ دقیقه باشد و یک کارگر عهده‌دار انجام کلیه وظایف فوق باشد، زمان لازم برای انجام فعالیتها به وسیله وی عبارتست از:

$$\text{دقیقه } ۱۱۴ = ۰۵۰ + ۰۳۰ + ۰۳۴$$

در این حالت زمان اشغال ماشین تکثیر در سیکل کاری ۳۴ دقیقه می‌باشد. درصد اشتغال کارگر نیز در این حالت عبارتست از:

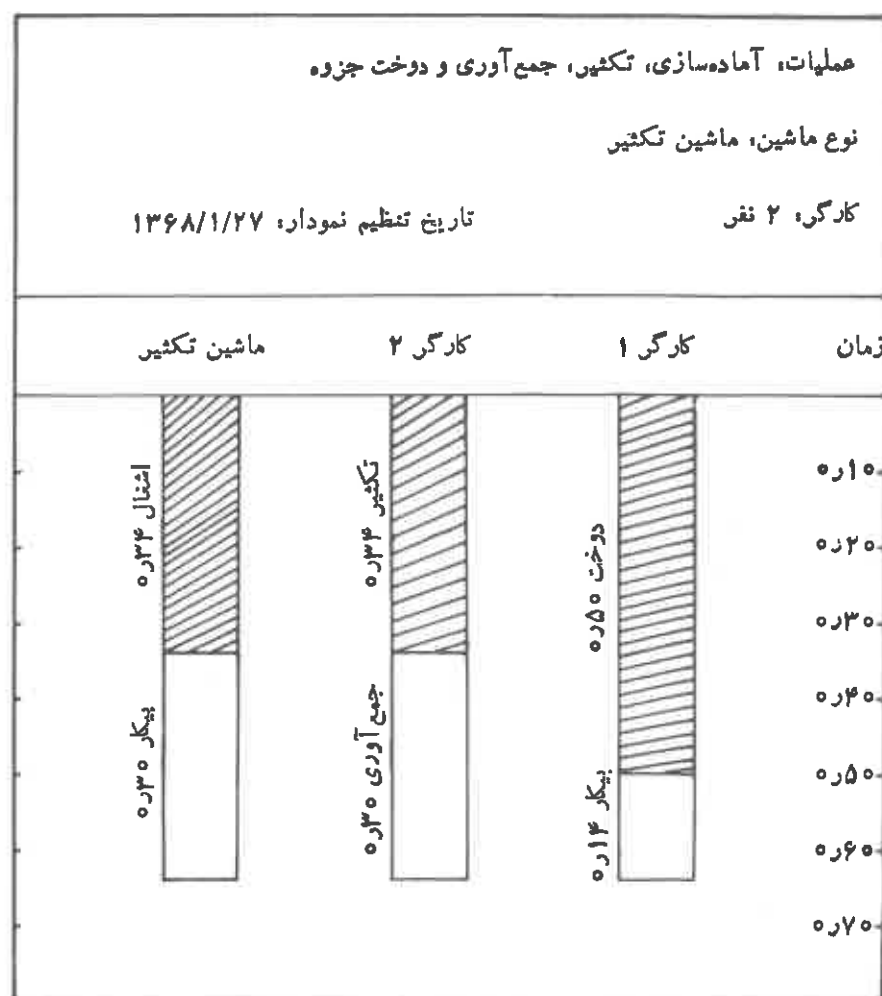
$$\frac{۱۱۴}{۱۱۴} \times ۱۰۰ = \%۱۰۰$$

درصد اشغال ماشین در سیکل کاری عبارتست از:

$$\frac{۰۳۴}{۱۱۴} \times ۱۰۰ = \%۲۹٫۸۲$$

به عبارت دیگر در این حالت کارگر صد درصد زمان سیکل را بکار مشغول است و ماشین تنها ۲۹٫۸۲ درصد زمان سیکل اشغال می‌باشد. حال اگر دوکارگر عهده‌دار انجام فعالیتها فوق باشند (نمودار شماره ۵-۸) درصد اشتغال کارگران در این حالت عبارتست از:

$$\frac{۰۵۰ + ۰۳۴ + ۰۳۰}{۰۵۰ + ۰۳۰ + ۰۳۴ + ۰۱۴} \times ۱۰۰ = \%۸۹٫۰۶$$



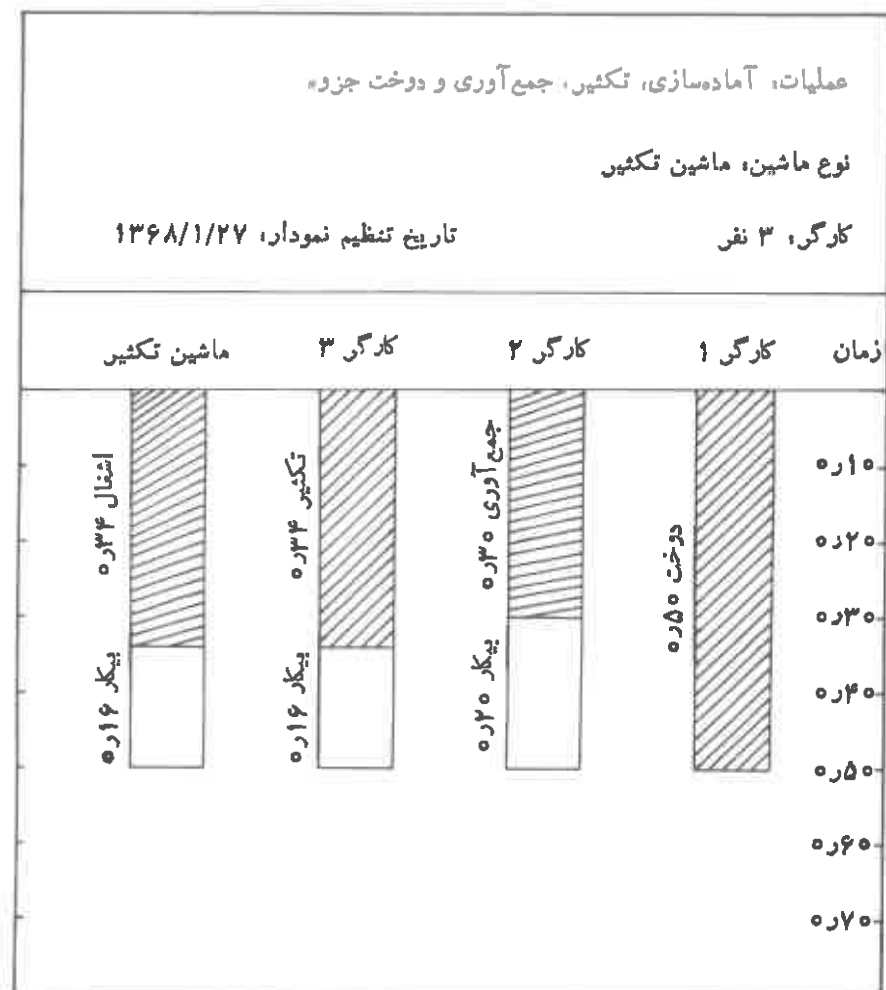
نمودار شماره ۸-۵

نمودار چند فعالیتی دو کارگر و یک ماشین

درصد اشغال ماشین در این حالت عبارتست از:

$$\frac{۰۳۴}{۰۶۴} \times ۱۰۰ = ۵۳٫۱۲\%$$

همچنین اگر سه کارگر فعالیتهای فوق را انجام دهند (نمودار شماره ۹-۵) درصد اشغال کارگران در این حالت عبارتست از:



نمودار شماره ۹-۵

نمودار چند فعالیتی سه کارگر و یک ماشین

$$\frac{۰۵۰ + ۰۳۴ + ۰۳۰}{۰۵۰ + ۰۳۴ + ۰۱۶ + ۰۳۰ + ۰۲۰} \times ۱۰۰ = ۷۶\%$$

زمان اشغال ماشین در این حالت عبارتست از:

$$\frac{۰۳۴}{۰۵۰} \times ۱۰۰ = ۶۸\%$$

همچنانکه مشاهده می‌شود هرچقدر تعداد کارگران افزایش پیدا کند زمان بیکاری آنان اضافه شده و زمان بیکاری ماشین کاهش می‌یابد. بهترین ترکیب برای تعداد کارگران تابعی از ظرفیت ماشین، تعداد نیروی انسانی موجود، تقاضا برای تکثیر، هزینه کارگر و ماشین می‌باشد.

روش تجزیه و تحلیل تربلیگ^۱

در این روش که به وسیله گیلبرت^۲ ابداع شده، کلیه فعالیت‌های انسان در قالب ۱۸ نوع علامت با رنگ‌های خاص و حروف الفبا مشخص شده است. به کمک علائم مذکور فعالیتها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. این علائم در جدول شماره (۳-۵) نشان داده شده است.

نمودار سیمو^۳

نمودار مذکور شامل شرح تفصیلی جزء به جزء حرکات همزمان دست چپ و راست است. در این نمودار يك محور زمانی مشترك، برای دست چپ و راست برمی‌گزینند و حرکات با استفاده از علائم تربلیگک نموده و تجزیه و تحلیل می‌شوند. مقیاس زمانی در این نمودار $\frac{1}{2000}$ دقیقه می‌باشد. در نمودار سیمو، ارتباط حرکات يك دست نسبت به دست دیگر در يك زمان مشخص تعیین می‌شود. برای تنظیم این نمودار ابتدا از جریان يك فعالیت فیلمبرداری می‌شود سپس يك دور کامل از فعالیت مذکور را برگزیده و از نظر زمانی و حرکات، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند. نمونه‌ای از این نوع نمودار در شکل شماره (۱۰-۵) نشان داده شده است.

لازم به یادآوری است که نمودار سیمو نوعی روش مطالعه خرد یا جزء به جزء حرکات به شمار می‌آید.

1. Therblig 2. Gilberth
3. S.I.M.O. (Simultaneous-Motion-Cycle Chart)

ردیف	نوع عمل	علامت	مشتق	رنگی	شرح عمل
۱	موتناؤ	#	A	بنفش	موتناؤ کردن قطعات
۲	باز کردن و جدا سازی	#	DA	بنفش روشن	جدا کردن قطعات به هم متصل شده
۳	تاخیر اجتناب پذیر	م	AD	لیمویی	تاخیر هایی که می توان از آنها جلوگیری کرد
۴	تاخیر اجتناب ناپذیر	م	UD	زرد	تاخیر هایی که نمی توان از آنها جلوگیری کرد
۵	انتقال با بار	و	TL	سبز	انتقال محموله از یک قسمت به قسمت دیگر
۶	انتقال بدون بار	و	TE	زیتونی	جا به جایی بدون بار (حرکت با دست خالی)
۷	چستجو	و	SH	سیاه	چستجو برای یافتن یک شیء
۸	برنامه	و	PN	قهوه ای	تفکر قبل از عمل
۹	استراحت	و	R	پرتهالی	توقف، مکث یا استراحت بین دو کار
۱۰	درجای خود قرار دادن	و	P	آبی	قرار دادن شیء در محل خودش
۱۱	یافتن	و	F	خاکستری	عکس العمل پس از چستجو
۱۲	بازرسی	و	I	طلایی سیر	بررسی کیفیت کالا
۱۳	آماده کردن برای استفاده	و	PP	آبی آسمانی	آماده کردن قطعات برای استفاده
۱۴	برداشتن	و	G	قرمز	برداشتن شیء با دست
۱۵	استفاده	و	U	ارغوانی	استفاده از ابزار برای انجام فعالیت
۱۶	نگهداشتن	و	H	زرد طلایی	نگهداشتن شیء پس از برداشتن
۱۷	انتخاب	و	ST	خاکستری روشن	انتخاب یک شیء از میان مجموعه ای از اشیاء
۱۸	رها کردن	و	RL	قرمز تند	رها کردن شیء

جدول شماره ۳-۵
علائم ترابلیسکی

نمودار سیمو

تاریخ،
شماره فیلم،
شماره عملیات،

نوع عملیات،
نام کارگر،
نام قطعه،

شرح عملیات دست راست	علامت	زمان	مقیاس زمانی ($\frac{1}{20000}$) دقیقه	زمان	علامت	شرح عملیات دست چپ
برداشتن چکش	G	۱۰	۰ ۱۰	۱۲	G	برداشت قلم
حرکت به سمت میز کار	TL	۱۵	۲۰	۱۰	TL	
پیکار	AD	۱۵	۳۰ ۲۰	۱۸		قرار دادن قلم روی کار
چکش زدن	U	۱۰	۵۰	۱۰		نگهداشتن قلم

نمودار شماره ۱۰-۵

تکنیکهای تجزیه و تحلیل کارسنجی (زمان سنجی)

روش زمان سنجی با استفاده از کرومومتر، مرحله‌ای که برای زمان سنجی باید طی شود عبارتند از:

- ۱- انتخاب فعالیت مورد نظر.
- ۲- تعیین کیفیت فعالیت مذکور.
- ۳- مشخص کردن روش مطلوب انجام فعالیت (از طریق روش سنجی).
- ۴- انتخاب ابزار سنجش دقیق.
- ۵- انتخاب کارگری که مجری فعالیت است.

- ۶- اطمینان دادن به کارگر و سرپرست او در زمینه تحقیق (زمان سنجی).
 ۷- آگاه ساختن کارگر در استفاده از روش مطلوب.
 ۸- تجزیه فعالیت به اجزاء کوچکتر و درج آنها در فرمهای مخصوص. هدف از این تجزیه عبارتست از:
 - جدا کردن عملیات تولیدی و غیرتولیدی یا زمانهای کار و بیکاری از هم.
 - به دست آوردن اطلاعات کامل و دقیق از عملیات.
 - به دست آوردن بازدهی هر یک از کارکنان.
 - معین کردن جزئیات دقیق عملیات.
 - جمع آوری اطلاعات برای تعیین استاندارد.
 ۹- جدا ساختن عوامل ثابت از عوامل متغیر، مانند زمان انجام عملیات به وسیله ماشین که یک عامل ثابت است و زمان انجام عملیات دستی که جزء عوامل متغیر به حساب می آید.
 ۱۰- تعیین تعداد مشاهدات لازم برای سنجش عملیات.

برای تعیین تعداد مشاهدات، با دقت مورد نظر فرمول زیر پیشنهاد شده است.^۱

$$N' = \left(\frac{40 \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

تعداد مشاهدات لازم با سطح اعتماد ۹۵٪ و دقت ۵٪
 $N' = \pm 5\%$

$N =$ تعداد مشاهدات انجام شده

$X =$ زمان هر مشاهده

به عنوان مثال فرض کنید برای زمان سنجی یک فعالیت ۴ مشاهده صورت گرفته حال با استفاده از نتایج این چهار مشاهده می توان تعداد مشاهدات لازم برای سطح اعتماد ۹۵٪ و دقت ۵٪ را از طریق فرمول مذکور به دست آورد:

$$N = 4$$

$$X_1 = 4 \quad X_2 = 5 \quad X_3 = 4 \quad X_4 = 5$$

$$\sum X^2 = (4^2 + 5^2 + 4^2 + 5^2) = 82$$

1. M.E. Mundel, *Motion and Time Study*, Cliffs, N.J.: Prentice-Hall 1978, p. 825.

$$\sum X = 18$$

$$N' = \left(\frac{40 \sqrt{(2 \times 18) - (18)^2}}{18} \right)^2 \approx 20$$

بنابراین برای رسیدن به دقت و سطح اعتماد مورد نظر، ۱۶ مشاهده دیگر لازم است.

۱۱- انجام زمان سنجی از طریق مشاهده و ثبت آن در فرمهای زمان سنجی مانند شکل

(۵-۱۱) که در فرم مذکور اجزاء عملیات مشخص و زمان هر یک ثبت می شود.

۱۲- محاسبه ضریب عملکرد کارگر با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مرحله

۱۱، ضریب عملکرد عبارتست از:

$$\text{ضریب عملکرد} = \frac{\text{باردهی کارگر}}{\text{باردهی مورد انتظار}}$$

۱۳- تکرار مراحل ۱۱ و ۱۲ برای مشاهدات بعدی.

۱۴- به دست آوردن میانگین زمان مشاهدات.

۱۵- محاسبه زمان نرمال به صورت زیر:

$$\text{ضریب عملکرد} \times \text{زمان مشاهده} = \text{زمان نرمال}$$

مثلاً اگر ضریب عملکرد کارگری ۸۰ درصد باشد و زمان مشاهده ۲ دقیقه ثبت شده باشد،

زمان نرمال عبارتست از:

$$\text{دقیقه } ۱.۶ = ۲ \times ۸۰$$

۱۶- تعیین زمان استاندارد از طریق افزودن تأخیرهای مجاز مانند استراحت کارگر،

خرابی ماشین آلات، تعمیرات جزئی، و تأخیرهای دیگری که به طور مجاز در فرایند تولید

وجود دارند به زمان نرمال. به عبارت دیگر:

$$ST = NT + A$$

$$ST = \text{زمان استاندارد}$$

$$NT = \text{زمان نرمال}$$

$$A = \text{تأخیرهای مجاز}$$

$$NT = \sum_{i=1}^n (RF_i \times T_i)$$

۱. باردهی مورد انتظار (Performance level expected) عموماً در نقشه های مهندسی

مشخص می شوند.

$T_i =$ متوسط زمان مشاهده برای جزء i ام

$RF_i =$ ضریب عملکرد جزء i ام

با توجه به اطلاعات جدول شماره (۱۱-۵) زمان استاندارد را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$NT = (0.90 \times 0.07) + (1.05 \times 0.15) + (1.0 \times 0.24) + (0.90 \times 0.10)$$

$$NT = 0.06 + 0.16 + 0.24 + 0.09 = 0.55 \text{ دقیقه}$$

اگر تأخیرهای مجاز برابر ۱۴۳٪ باشد

$$ST = 0.55 + (0.143 \times 0.55) = 0.63 \text{ دقیقه}$$

روش زمان‌سنجی با استفاده از اطلاعات استاندارد^۱

از آنجا که انجام زمان‌سنجی برای هر نوع تولید مستلزم صرف وقت و هزینه فراوانی است و به علت تشابه بسیاری از حرکات در انجام عملیات مختلف، می‌توان با استفاده از اطلاعات استاندارد شده کار زمان‌سنجی را به‌طور ساده‌تر انجام داد. مثلاً «عمل» «سوراخ کردن» در اغلب کارگاه‌های تراشکاری به‌صورت مشابهی وجود دارد و زمان‌سنجی برای آن در مورد هر تولیدی اتلاف وقت و دوباره‌کاری می‌باشد. زیرا می‌توان یک زمان استاندارد برای این عمل به‌دست آورد و در سایر موارد آن را به‌کار برد. در این روش عملیات به اجزاء کوچک‌تر تقسیم می‌شود و زمان هر جزء از فهرست اطلاعات استاندارد به‌دست می‌آید و از مجموع آنها زمان استاندارد انجام عملیات محاسبه می‌شود. زمان‌سنجی با استفاده از اطلاعات استاندارد به‌طریق مختلف انجام می‌گیرد. در اینجا به دو طریق عمده آن اشاره می‌شود:

۱- زمان‌سنجی از طریق تعیین زمان کلی عملیات^۲

در این طریق زمان انجام یک کار خاص به‌طور کلی تعیین شده است. مثلاً زمان ماشین‌کاری یک قطعه به‌طور کلی مشخص شده است. حال در هر مورد خاص با استفاده از زمان تعیین شده و تأثیر دادن عواملی چون اندازه قطعه، سرعت ماشین‌کاری، روش قراردادن

قطعه در ماشین، تیغه مورد استفاده، و غیره می‌توان زمان استاندارد آن کار را به دست آورد.

۲- زمان‌سنجی از طریق تعیین زمان اجزاء عملیات^۱

در این طریق محاسبه زمان انجام عملیات با استفاده از زمان حرکات مختلف آن عمل صورت می‌گیرد. مثلاً حرکات مختلف یک عمل را می‌توان با استفاده از علائم تربلیگک جدا کرده و زمان هر یک از آنها را از فهرست مربوط به دست آورد. روش اندازه‌گیری زمان^۲ و سیستم عوامل کاری^۳ نمونه‌هایی از این طریق زمان‌سنجی می‌باشند. نمونه‌ای از جدول اطلاعات استاندارد در جدول شماره (۴-۵) آمده است. اطلاعات استاندارد نیاز به زمان‌سنجی را کاهش می‌دهد و به علت آنکه از مشاهدات بسیاری برای به دست آوردن آن استفاده می‌شود دارای قابلیت اطمینان و دقت زیادی می‌باشد. با استفاده از اطلاعات استاندارد کار برنامه‌ریزی تولید دقیق‌تر و ساده‌تر انجام می‌گیرد.

روش زمان‌سنجی با استفاده از نمونه‌گیری^۴

همان‌طور که از عنوان این روش استنباط می‌شود، روش مذکور یک تکنیک نمونه‌گیری است که بر اساس قانون احتمالات بنا شده است. این روش ابتدا با عنوان درصد تأخیرات^۵ در انجام عملیات مطرح شد و سپس به نمونه‌گیری کار تغییر عنوان داد. در این روش مشاهداتی به صورت تصادفی در مورد یک یا چند ماشین، کارگر یا جریان عملیات در یک دوره زمانی مشخص به عمل می‌آید. در هر مشاهده وضعیت ماشین، کارگر و جریان عملیات مشخص می‌شود. به فرض تعیین می‌کنند که در مشاهده اول کارگر مشغول به کار بوده و در مشاهده دوم بیکار بوده است، به کمک اطلاعات حاصله از این مشاهدات می‌توان زمان کار و بیکاری کارگر، یا ماشین آلات را به دست آورده و از آنجا زمان استاندارد را برآورد کرد.

از آنجائی که روش زمان‌سنجی با استفاده از نمونه‌گیری بر اساس قانون احتمالات استوار است تقریباً در تمام موارد اصول توزیع نرمال در مورد آن صادق است. در نمونه‌گیری هر قدر تعداد نمونه‌ها بیشتر شود دقت بررسی افزایش می‌یابد. در نمودار

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1. Microdata | 2. MTM (Method-time-Measurement) |
| 3. Work Factor | 4. Work sampling |
| 5. Ratio-delay method | |

زمان چرخش برای انتقال يك شیء در درجات مختلف												وزن شیء
۱۸۰°	۱۶۵°	۱۵۰°	۱۳۵°	۱۲۰°	۱۰۵°	۹۰°	۷۵°	۶۰°	۴۵°	۳۰°		سبك (بین ۵ تا ۲ پوند)
۹۴	۸۷	۸۱	۷۴	۶۸	۶۱	۵۴	۴۸	۴۱	۳۵	۲۸		متوسط (بین ۲۱ تا ۱۰ پوند)
۱۲۸	۱۳۷	۱۲۷	۱۱۶	۱۰۶	۹۶	۸۵	۷۵	۶۵	۵۵	۴۴		سنگین (بین ۱۰۱ تا ۳۵ پوند)
۲۸۲	۲۶۱	۲۴۳	۲۲۲	۲۰۴	۱۸۳	۱۶۲	۱۴۲	۱۲۳	۱۰۵	۸۴		

جدول شماره ۴-۵

نمونه‌ای از جدول اول اطلاعات استناد دارد

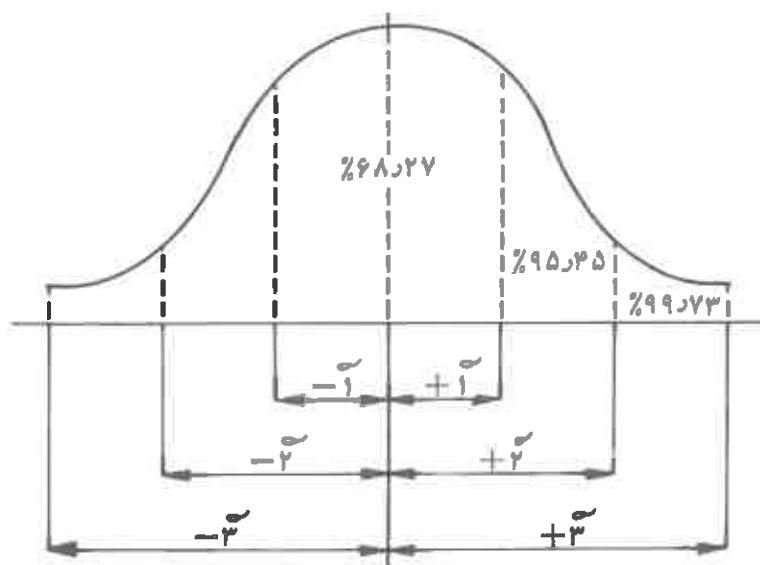
برای تعیین زمان انتقال يك شیء با چرخش در درجات مختلف

شماره (۵-۱۲) توزیع نرمال با سه انحراف استاندارد که بیان کننده سه سطح اطمینان می باشد نشان داده شده است.

به عنوان مثال سطح اطمینان ۹۵٫۴۵٪ به بررسی کننده می گوید مشاهداتی که به صورت تصادفی صورت گرفته در ۹۵٫۴۵٪ موارد نشان دهنده واقعیت است.

به منظور انجام زمان سنجی بدروش نمونه گیری باید مراحل زیر طی شود:

- ۱- فعالیتهایی را که باید مورد ارزیابی قرار گیرند مشخص کنید.
- ۲- به کسانی که در ارتباط با فعالیتهای مذکور هستند (مانند سرپرست یا کارگران) هدف بررسی را تفهیم کنید.



سطح اطمینان (درصد)

۶۸٫۲۷

۹۵٫۴۵

۹۵٫۴۵

۹۹٫۷۳

انحراف استاندارد

۱

۱٫۹۶

۲

۳

نمودار شماره ۵-۱۲

توزیع نرمال با سه انحراف استاندارد و سطوح اطمینان

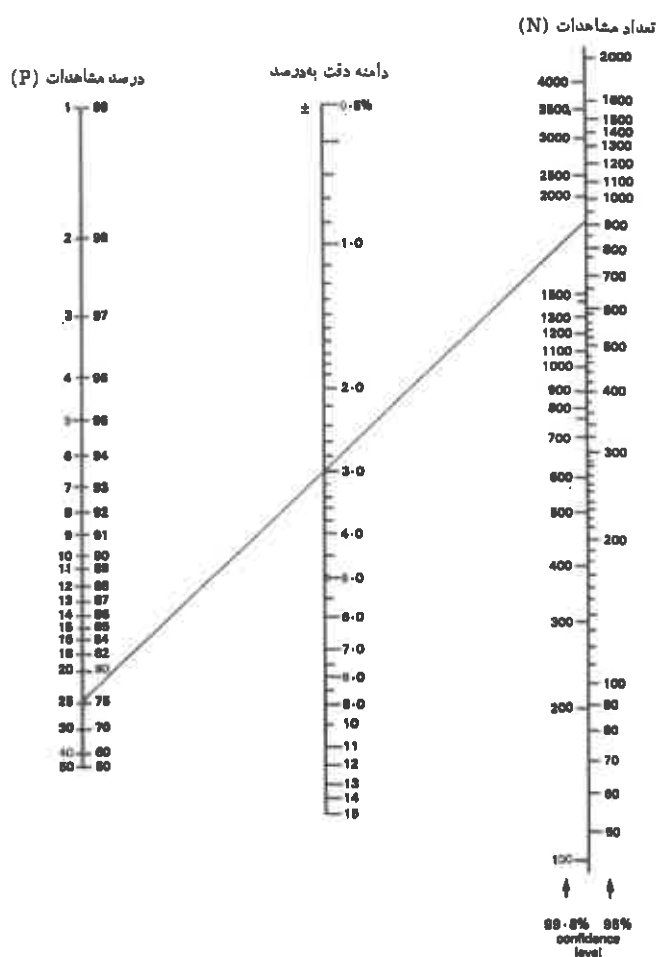
1. confidence level

۳- سطح اطمینان مورد نظر را مشخص کنید.

۴- بررسی مقدماتی را به صورت زیر آغاز کنید:

۴-۱- درصد وقوع فعالیتها را برآورد کنید (P). عبارتست از نسبت تعداد مشاهداتی که در آنها فعالیت مورد نظر صورت گرفته به کل تعداد مشاهدات انجام شده.

۴-۲- تعداد مشاهداتی که منجر به سطح اطمینان مورد نظر خواهد شد برآورد کنید.



شکل ۱۳-۵

نمودار ارتباط بین تعداد مشاهدات، دامنه دقت، و درصد مشاهدات

۵- بررسی اصلی را آغاز کنید.

۶- با استفاده از اطلاعات حاصل از بررسی مقدماتی مقدار P یعنی تعداد مشاهدات را تعیین کنید و بر این اساس زمان سنجی را انجام دهید.

مثال:

يك بررسی مقدماتی نشان می‌دهد که درصد وقوع يك فعالیت ۵۰٪ می‌باشد. تعداد مشاهداتی که برای حصول سطح اطمینان ۹۵٪ و دقت ۴٪ \pm باشد را تعیین کنید. روش زمان سنجی با استفاده از نمونه‌گیری می‌تواند به کمک نموداری که در آن ارتباط بین تعداد مشاهدات، دامنه دقت و درصد مشاهدات تعیین شده انجام گیرد. شکل (۵-۱۳) این نمودار را نشان می‌دهد.

نمودار مذکور برای سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٫۸٪ تنظیم شده است، به عنوان مثال اگر درصد مشاهدات ۷۵٪ و دقت مورد نظر ۳٪ باشد در این صورت تعداد مشاهدات مورد نیاز ۹۲۵ است. تکنیک دیگری که می‌تواند ما را در تعیین تعداد مشاهدات لازم یاری دهد استفاده از جدول «تعداد مشاهدات» است. این جدول در جدول شماره (۵-۵) نشان داده شده است. همچنان که ملاحظه می‌شود با مشخص بودن درصد مشاهدات (P) و درصد خطای مورد نظر (A) می‌توان تعداد مشاهدات لازم را در سطح اطمینان ۹۵٪ به دست آورد. به فرض اگر:

$$P = 20\%$$

$$A = \pm 1\%$$

$$N = 9600$$

تعداد مشاهدات لازم براساس جدول مذکور ۹۶۰۰ خواهد بود.

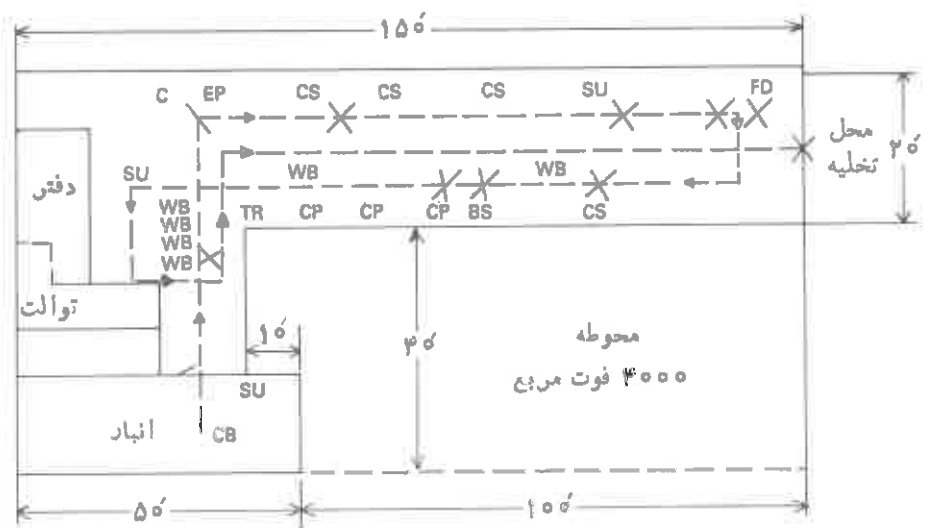
Error					Error				
p (%)	5% of Total	1% of Total	1% of p	5% of p	p (%)	5% of Total	1% of Total	1% of p	5% of p
1	16	396	3,960,000	158,400	51	400	9,996	38,431	1,537
2	32	784	1,960,000	78,400	52	400	9,984	36,923	1,477
3	47	1,164	1,293,000	51,720	53	399	9,964	35,472	1,419
4	62	1,536	960,000	38,400	54	398	9,936	34,074	1,363
5	76	1,900	760,000	30,400	55	397	9,900	32,727	1,309
6	92	2,256	626,667	25,067	56	395	9,856	31,429	1,257
7	102	2,604	531,429	21,257	57	392	9,804	30,175	1,207
8	118	2,944	460,000	18,400	58	390	9,744	28,966	1,159
9	131	3,276	404,444	16,178	59	387	9,676	27,797	1,112
10	144	3,600	360,000	14,400	60	384	9,600	26,667	1,067
11	157	3,916	323,636	12,945	61	381	9,516	25,574	1,023
12	169	4,224	293,333	11,733	62	377	9,424	24,516	981
13	181	4,524	267,692	10,708	63	373	9,324	23,492	940
14	193	4,816	245,714	9,829	64	369	9,216	22,500	900
15	205	5,100	226,667	9,067	65	365	9,100	21,538	862
16	216	5,376	210,000	8,400	66	360	8,976	20,606	824
17	226	5,644	195,294	7,812	67	354	8,844	19,701	788
18	236	5,904	182,222	7,289	68	349	8,704	18,824	753
19	246	6,156	170,526	6,821	69	343	8,556	17,971	719
20	256	6,400	160,000	6,400	70	337	8,400	17,143	686
21	266	6,636	150,476	6,019	71	330	8,236	16,338	654
22	275	6,864	141,818	5,673	72	323	8,064	15,556	622
23	284	7,084	133,913	5,357	73	316	7,884	14,795	592
24	292	7,296	126,667	5,067	74	308	7,696	14,054	562
25	300	7,500	120,000	4,800	75	300	7,500	13,333	533
26	308	7,696	113,846	4,554	76	292	7,296	12,632	505
27	316	7,884	108,148	4,326	77	284	7,084	11,948	478
28	323	8,064	102,857	4,114	78	275	6,864	11,282	451
29	330	8,236	97,931	3,917	79	266	6,636	10,633	425
30	337	8,400	93,333	3,733	80	256	6,400	10,000	400
31	343	8,556	89,032	3,561	81	246	6,156	9,383	375
32	349	8,704	85,000	3,400	82	236	5,904	8,780	351
33	354	8,844	81,212	3,249	83	226	5,644	8,193	328
34	360	8,976	77,647	3,106	84	216	5,376	7,619	305
35	365	9,100	74,286	2,971	85	208	5,100	7,059	282
36	369	9,216	71,111	2,844	86	193	4,816	6,512	261
37	373	9,324	68,108	2,724	87	181	4,524	5,977	239
38	377	9,424	65,263	2,611	88	169	4,224	5,455	218
39	381	9,516	62,564	2,503	89	157	3,916	4,944	198
40	384	9,600	60,000	2,400	90	144	3,600	4,444	178
41	387	9,676	57,561	2,302	91	131	3,276	3,956	158
42	390	9,744	55,238	2,210	92	118	2,944	3,478	139
43	392	9,804	53,023	2,121	93	102	2,604	3,011	120
44	395	9,856	50,909	2,036	94	92	2,256	2,553	102
45	397	9,900	48,889	1,956	95	76	1,900	2,105	84
46	398	9,936	46,957	1,878	96	62	1,536	1,667	67
47	399	9,964	45,106	1,804	97	47	1,164	1,237	50
48	400	9,984	43,333	1,733	98	32	784	816	33
49	400	9,996	41,633	1,665	99	16	396	404	16
50	400	10,000	40,000	1,600					

جدول شماره ۵-۵

جدول تعیین تعداد مشاهدات در سطح اطمینان ۹۵٪

مسائل و تمرینات فصل پنجم

۵-۱ تعمیرکار يك كارخانه كابل سازی موظف است براساس يك دستورالعمل روزانه كليه ماشین آلات را بازرسی و روغنکاری نموده و از قسمتهای مختلف كارخانه، بازدید نماید. با توجه به شكل زیر يك نمودار مراحل فراگرد عملیات برای تعمیرکار مذکور رسم كنید. فرض كنید كه تعمیركار در هر نقطه كه با علامت X مشخص شده توقف کرده و براساس دستورالعمل كار خود را انجام می دهد.



علائم مورد استفاده در شكل؛

C =	کمپرسور	EP =	تابو برق	WB =	میز کار
CB =	تسمه نقاله	FD =	صفحه فیوز	SU =	قفص بندی
CP =	پرس	BS =	اره افقی	PM =	ماشین رنگ پاش
CS _۱ =	اره دورانی	TR =	محل ابزار	CR =	ماشین برش

۵-۲ يك نمودار عملیات دست راست وچپ برای امضاء يك درخواست خرید تنظیم کنید.

۵-۳ يك شرکت ساختمانی برای انجام يك پروژه نیاز به تعدادی ماشین کمپرسی و بیل مکانیکی دارد. با استفاده از اطلاعات زیر اولاً چه تعداد ماشین کمپرسی برای انجام هرچه سریعتر این پروژه لازم است. ثانیاً اگر هزینه بیل مکانیکی و راننده آن ۳۸۰۰ ریال در ساعت، و هزینه ماشین کمپرسی و راننده آن ۲۴۰۰ ریال در ساعت باشد چه تعداد از این دو وسیله برای حداقل کردن هزینه زمان بیکاری ماشین آلات لازم است. همچنین نمودار چند فعالیتی را برای این دو وسیله رسم کنید.

زمان پر کردن هر ماشین کمپرسی	۱۵ دقیقه
زمان حمل تا محل تخلیه	۱۸ دقیقه
زمان تخلیه	۴ دقیقه
زمان برگشت به محل پروژه	۱۴ دقیقه

۵-۴ فعالیتهای لازم برای تعویض روغن در يك تعمیرگاه ماشین را فهرست کرده و نحوه بدست آوردن زمان استاندارد برای انجام این کار را توضیح دهید.

۵-۵ پس از انجام يك زمان سنجی در مورد يك کار، نتایج جدول به دست آمده است کارگری که این کار را انجام می دهد به میزان ۱۲۰ درصد بیش از حد نرمال کار انجام می داد.

الف) زمان نرمال را به دست آورید.

ب) زمان استاندارد را محاسبه نمایید.

ج) آیا این تعداد مشاهدات کافی به نظر می رسد؟

شماره فعالیت	زمان انجام فعالیت (دقیقه)	شماره فعالیت	زمان انجام فعالیت (دقیقه)
۱	۲۲۲	۱۱	۱۹۲
۲	۲۲۲	۱۲	۲۱۴
۳	۱۷۱	۱۳	۲۲۷
۴	۲۱۴	۱۴	۲۰۳
۵	۲۰۳	۱۵	۲۲۶
۶	۱۷۱	۱۶	۱۷۱
۷	۲۳۵	۱۷	۱۹۲
۸	۲۱۴	۱۸	۳۱۴
۹	۲۰۳	۱۹	۲۰۳
۱۰	۲۰۳	۲۰	۲۱۴

۵-۶ مدیر يك مؤسسه مایل است با استفاده از مطالعه کار (نمونه‌گیری) درصد زمان استقلال کارمندان را به‌دست آورد. یکی از مسئولان زمان بیکاری کارمندان را ۳۵ درصد کلی زمان کار آنان برآورد کرده است. تعداد مشاهدات لازم برای انجام این مطالعه را با سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌دست آورید بطوری‌کس نتایج واقعی با نتایج برآورد شده حداکثر تا ۱ درصد تفاوت داشته باشد.

کنترل موجودی'

موجودی انبار در هر سیستم تولیدی یا خدماتی نقش حساسی را ایفا می‌کند و با کنترل صحیح آن می‌توان در متعادل ساختن جریان عملیات گام برداشت. در این فصل تأکید ما بیشتر بر روی موجودی کالای ساخته شده و پاره‌ای مواد اولیه که وابسته به یکدیگر نیستند می‌باشد. کنترل موجودی مواد و قطعات نیم‌ساخته و یا ساخته شده وابسته به هم در فصل برنامه‌ریزی مواد بررسی خواهد شد. برای روشن شدن مفاهیم «مواد و قطعات وابسته و غیر وابسته» بهتر است «تقاضای وابسته» و «تقاضای مستقل» را بررسی کنیم.

تقاضای مستقل و تقاضای وابسته

در تقاضای مستقل میزان و زمان تقاضا به طور دقیق مشخص نیست و عوامل به وجود آورنده تقاضا کاملاً در اختیار ما نیستند. مثلاً تقاضا برای قطعات یدکی اتومبیل به طور دقیق مشخص نیست و عوامل متعددی در تقاضای مذکور مؤثرند که کاملاً قابل پیش‌بینی نیستند در واقع تقاضا برای مواد و قطعات مستقل از محصول نهایی برآورد می‌گردد.

1. Inventory control

در تقاضای وابسته مقدار و زمان تقاضا مشخص است و عوامل به وجود آورنده تقاضا در اختیار ما می باشند. مثلاً اگر برنامه تولید ساخت ۱۰۰۰ خودرو برای ماه خاصی تنظیم شده باشد می توان دقیقاً قطعات و مواد اولیه لازم برای ساخت تمامی آنها را پیش بینی کرد. همان طور که اشاره شد بحث در مورد کنترل موجودی مواد و قطعاتی که تقاضای وابسته دارند در فصل برنامه ریزی مواد مطرح خواهد شد. مطالب این فصل در مورد کنترل موجودی مواد و قطعاتی که تقاضای مستقل دارند می باشد.

وظایف مدیریت مواد

وظایف مدیریت مواد شامل فعالیتهایی در زمینه سفارش، دریافت و تحویل کالا، مواد و قطعات می باشد. هدف سیستم مدیریت مواد حصول اطمینان از موجود بودن مواد و قطعات در مکان و زمانی است که بدانها نیاز می باشد، به طوری که هزینه کل سیستم مذکور در حداقل ممکن نگهداشته شود. برای نیل به این هدف باید با منابع تولید و عرضه کالا، قیمت ها، روش های حمل و نقل، میزان تحقیقاتی، سیستم انبارداری و بازرسی آن آشنایی کامل داشت. همان طور که اشاره شد حداقل کردن هزینه ها مهمترین وظیفه مدیریت مواد می باشد، در ارتباط با تهیه و نگهداری موجودی، سه نوع هزینه وجود دارد که عبارتند از: هزینه نگهداری کالا و مواد در انبار، هزینه سفارش کالا و مواد، و هزینه ناشی از کمبود کالا و مواد در زمان نیاز بدان. مدیریت مواد می کوشد تا بین این هزینه ها تعادل معقولی را برقرار سازد. لازم به یاد آوری است که مدیریت مواد، تعیین کننده میزان نیاز به کالا و مواد نیست بلکه واحدهای مصرف کننده این میزان را تعیین می کنند که در پاره ای موارد امکان سنجش کلیه هزینه های فوق الذکر وجود ندارد، مثلاً ممکن است کمبود کالا باعث نارضایتی در بین مشتریان شود که سنجش این نارضایتی به ریال کار ساده ای نخواهد بود.

سیستم کنترل موجودی

برای طراحی یک سیستم کنترل موجودی مطلوب، نیاز به اطلاعاتی در مورد روند مصرف مواد یا کالا و هزینه های «انبارداری»، «سفارش» و «کمبود» می باشد. روش های پیش بینی که در فصل دوم مورد بحث قرار گرفت در زمینه تعیین میزان مصرف نیز قابل استفاده است. ذیلاً سه نوع هزینه فوق را مورد بررسی قرار می دهیم:

۱- هزینه نگهداری کالا در انبار

مهمترین هزینه نگهداری کالا در انبار، هزینه فرصت از دست رفته سرمایه در انبار می باشد. بدین معنی که سرمایه به صورت موجودی انبار تا زمانی که از آن استفاده نشده هزینه سازهی باشد. این هزینه برابر بازده سرمایه در سرمایه گذاری موجودی انبار است. همچنین هزینه های ناشی از نگهداری کالا یا مواد شامل هزینه های عملیاتی انبار (اجاره، دستمزدها، استهلاک انبار، مالیات و بیمه، خرابی کالا در انبار، سرقت و...) می باشد. هزینه نگهداری کالا در انبار را برای هر واحد کالا در واحد زمان محاسبه می کنند و آن را به C_h نشان می دهند. این هزینه برای کالاهای مختلف، متفاوت است و معمولاً به صورت درصدی از هزینه کل کالا محاسبه و تعیین می شود. در تعیین C_h باید با دقت هزینه های نگهداری کالا در انبار را مورد بررسی قرار داد و هزینه های ثابت و متغیر را از هم تفکیک کرد. به عنوان مثال بسیاری از هزینه های مالکیت و عملیات انبار ثابت می باشند و تغییرات میزان موجودی تأثیری در آنها ندارد (تا حدی که انبار گنجایش داشته باشد). از این رو مدیریت مواد باید بین هزینه های ثابت و متغیر انبار تفاوت قائل شود و در محاسبات خود این مسأله را در نظر داشته باشد. زیرا هزینه های ثابت غیر قابل اجتنابند و در تجزیه و تحلیل های مربوط به هزینه نگهداری کالا در انبار باید حذف شوند و فقط آن دسته از هزینه هایی که با میزان موجودی انبار در ارتباط مستقیم می باشند در نظر گرفته شوند.

۲- هزینه سفارش^۲

هزینه سفارش عبارتست از آن دسته هزینه هایی که در ارتباط با فعالیت های سفارش کالا حاصل می شود. هزینه سفارش به میزان سفارش در هر مرتبه بستگی ندارد بلکه به دفعات سفارش در طی دوره (مثلاً یکسال) بستگی دارد، به عبارت دیگر اگر دفعات سفارش در یک دوره افزایش یابد هزینه سفارش نیز افزایش می یابد و بالعکس کاهش دفعات سفارشات در یک دوره موجب کاهش هزینه سفارش در آن دوره می شود.

هزینه سفارش در هر مرتبه را با C_o نشان می دهند. در تعیین C_o نیز باید آن دسته هزینه هایی را که در ارتباط با دفعات سفارش نیستند، حذف کرد. مثلاً در بعضی سیستم ها که هزینه نصب برچسب قیمت روی کالا جزء هزینه سفارش محسوب می شود، میزان این هزینه در رابطه با دفعات سفارش نیست بلکه به میزان کالای سفارش شده در طول دوره بستگی دارد. بنابراین نباید آن را در تعیین C_o منظور داشت.

۳- هزینه ناشی از کمبود کالا و مواد

هزینه ناشی از کمبود کالا و مواد عبارتست از هزینه‌هایی که به علت نداشتن کالا و مواد در زمان نیاز به آنها به وجود می‌آید. سنجش این نوع هزینه بسیار مشکل است و در بیشتر مواقع فقط می‌توان آن را به طور تقریبی برآورد کرد. هزینه کمبود معمولاً به دو صورت ظاهر می‌شود: اول هزینه تدارکاتی کالا یا مواد مورد نیاز (غیر از هزینه‌های معمول تدارکاتی) مانند هزینه انجام کارهای تدارکاتی به فوریت و خارج از نوبت و دهم لغو درخواست کالا یا مواد از سوی مشتری به علت کمبود کالا در انبار. که در این صورت هزینه کمبود برابر هزینه فرصت از دست رفته سودی است که از فروش کالا به وجود می‌آید. هزینه هرواحد کمبود را به C_3 نشان می‌دهیم.

مدیریت باید بکوشد تا بین این سه نوع هزینه تعادل برقرار کند. در سیستم‌های مختلف کنترل موجودی روش‌های متفاوتی برای ایجاد این تعادل وجود دارد. ذیلاً به ذکر برخی از این سیستم‌ها می‌پردازیم.

۱- سیستم کنترل موجودی ABC

در موجودی انبار معمولاً تعداد کمی از اقلام، بخش عمده ارزش موجودی انبار را به خود اختصاص می‌دهند و بالعکس تعداد زیادی از اقلام ارزش کمی را دارا می‌باشند. داشتن یک روش واحد کنترل موجودی برای تمامی این اقلام منطقی به نظر نمی‌رسد. سیستم کنترل موجودی ABC اقلام موجود در انبار را براساس ارزش در طبقات سه گانه‌ای قرار می‌دهد. فرض کنید در انبار مؤسسه‌ای ۳۵ قلم جنس وجود دارد که ارزش کل آنها معادل ۲۰۰۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. جدول شماره (۱-۶) اقلام مذکور را در سه گروه براساس ارزش آنها طبقه‌بندی کرده است.

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود سه قلم جنس (۱۰٪ کل اقلام) ۷۰٪ ارزش کل موجودی انبار را تشکیل می‌دهند. این گروه اقلام دارای اهمیت بسیارند و در طبقه A قرار می‌گیرند. در گروه B، ۹ قلم جنس (۳۰٪ کل اقلام) قرار دارند که معادل ۲۰٪ ارزش کل موجودی را تشکیل می‌دهند. به همین ترتیب در گروه C، ۱۸ قلم جنس (۶۰٪ کل اقلام) قرار گرفته‌اند که فقط ۱۰٪ ارزش کل موجودی را به خود اختصاص داده‌اند. در سیستم ABC بیشترین توجه معطوف به اقلام طبقه A بوده، و طبقات بعدی از اولویت کمتری

انواع اقلام	درصد اقلام	ارزش اقلام	درصد ارزش اقلام	طبقه اقلام
۱ ۲ ۳	۱۰٪	۱۴۰۰۰۰۰	۷۰٪	طبقه A
۴ الی ۱۲	۳۰٪	۴۰۰۰۰۰	۲۰٪	طبقه B
۱۳ الی ۳۰	۶۰٪	۲۰۰۰۰۰	۱۰٪	طبقه C

جدول شماره ۶-۱
طبقات سه گانه سیستم ABC

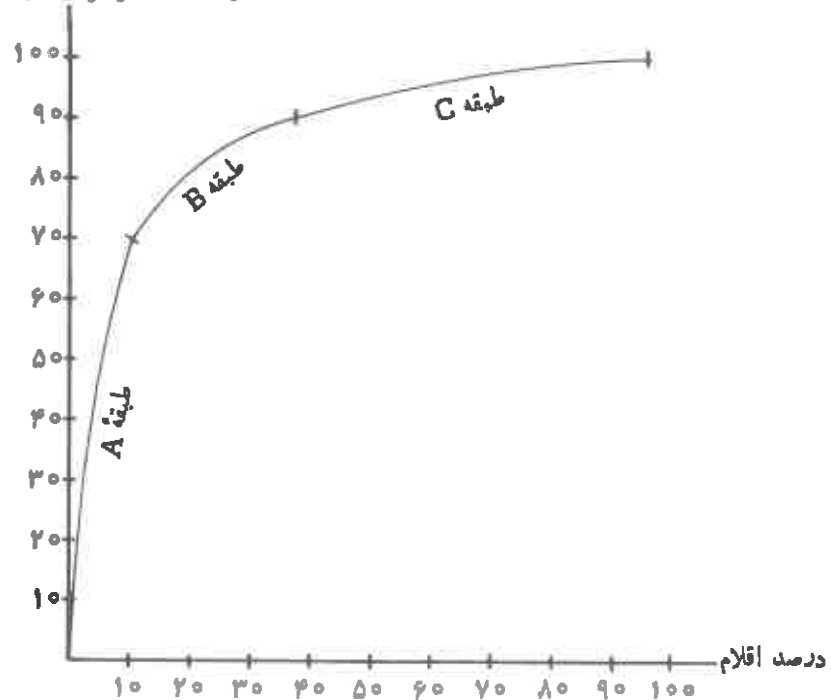
برخوردارند زیرا عدم کنترل دقیق و صحیح اقلام طبقه A هزینه های گزافی را به دنبال خواهد داشت در صورتی که هزینه های ناشی از عدم کنترل دقیق موجودی اقلام طبقه C چندان زیاد نخواهد بود. مثلاً فرض کنید در مثال قبل مدیریت مؤسسه برای جلوگیری از کمبودهای احتمالی تصمیم می گیرد همواره موجودی انبار برای تمامی اقلام، ۲۰ درصد بیش از آنچه مورد نیاز است باشد. افزایش اقلام طبقه C به میزان ۲۰ درصد هزینه های زیادی را برای مؤسسه ایجاد نخواهد کرد (زیرا ارزش کل اقلام طبقه C نسبت به سایر طبقات کم است) اما افزایش اقلام طبقه A به میزان ۲۰٪، هزینه های زیادی را به دنبال خواهد داشت، (ارزش اقلام در این طبقه نسبت به سایر طبقات بسیار زیادتر است). بنابراین داشتن یک سیستم کنترل موجودی انبار مشترك برای تمامی اقلام صحیح و منطقی به نظر نمی رسد. سیستم کنترل موجودی اقلام طبقه A باید دقیقتر مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. نمودار شماره (۶-۱) شمای ترسیمی جدول شماره (۶-۱) را نشان می دهد.

۲- سیستم کنترل موجودی EOQ (میزان اقتصادی سفارش)^۱

در این سیستم کوشش می شود میزان سفارش در هر مرتبه به اندازه ای باشد که هزینه های

1. Economic Order Quantity

درصد ارزش اقلام در موجودی انبار



نمودار شماره ۶-۱

نمودار طبقات سه گانه سیستم ABC

سفارش، نگهداری و کمبود در حداقل خود نگهداشته شوند. در ساده ترین مدل EOQ هزینه های سفارش و نگهداری حداقل می شوند. ذیلاً به شرح هر یک از این هزینه ها در سیستم فوق الذکر می پردازیم:

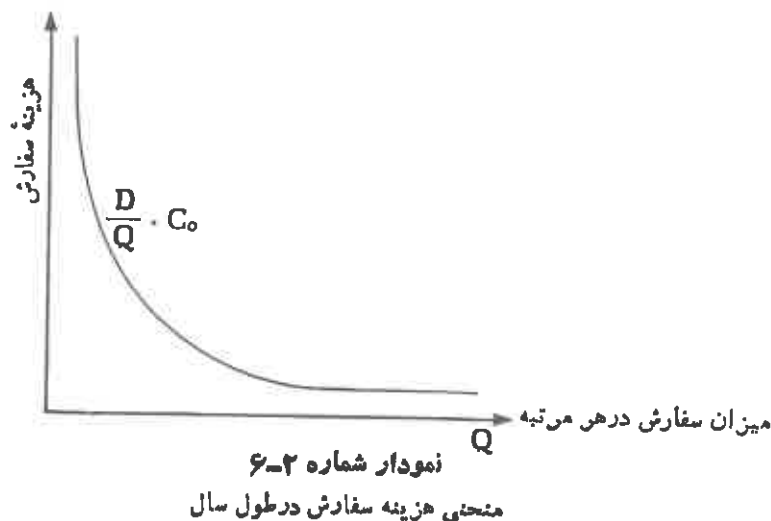
هزینه سفارش

هزینه سفارش در ارتباط مستقیم با تعداد سفارش در سال می باشد. به عبارت دیگر هر قدر تعداد سفارشات در سال افزایش یابد، هزینه سفارش نیز افزایش خواهد یافت. اگر D میزان کل نیاز در سال و Q میزان سفارش در هر مرتبه باشد، تعداد سفارشات در طول سال عبارتست از $\frac{D}{Q}$ و اگر هزینه هر بار سفارش را با C_o نشان دهیم داریم:

هزینه هر بار سفارش \times تعداد سفارش در سال = هزینه سفارش در سال

$$\text{هزینه سفارش در سال} = \frac{D}{Q} \cdot C_o$$

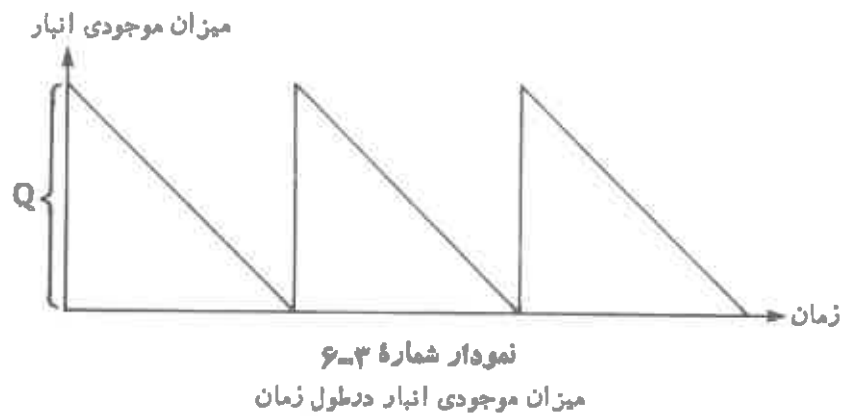
منحنی هزینه سفارش در نمودار شماره (۶-۲) نشان داده شده است. همان طور که در نمودار ملاحظه می شود هر قدر میزان سفارش در هر مرتبه کمتر باشد تعداد سفارشها در طول سال بیشتر خواهد بود و در نتیجه هزینه سفارش افزایش می یابد و بالعکس اگر میزان سفارش در هر بار زیاد انتخاب شود تعداد سفارشها در طول سال کمتر و هزینه سفارش کاهش می یابد.



هزینه نگهداری کالا در انبار

هزینه نگهداری بستگی به میزان موجودی کالا در انبار دارد. اگر میزان سفارش Q اختیار شود میزان موجودی انبار در زمانی که سفارش تحویل انبار می شود Q خواهد بود. این میزان در طول زمان به تدریج مصرف می شود به طوری که انبار پس از مدتی خالی از کالا می گردد که در این صورت نیاز به سفارش مجدد است. نمودار شماره (۶-۳) میزان موجودی انبار و نوسانهای آن را در طول دوره نشان می دهد. همان طور که در نمودار شماره (۶-۳) نشان داده شده است میزان موجودی انبار در ابتدای دوره سفارش Q بوده و در انتهای دوره به صفر رسیده است. بنابراین در طول دوره سفارش میزان متوسط موجودی انبار برابر است با:

$$\frac{Q+0}{2} = \frac{Q}{2}$$



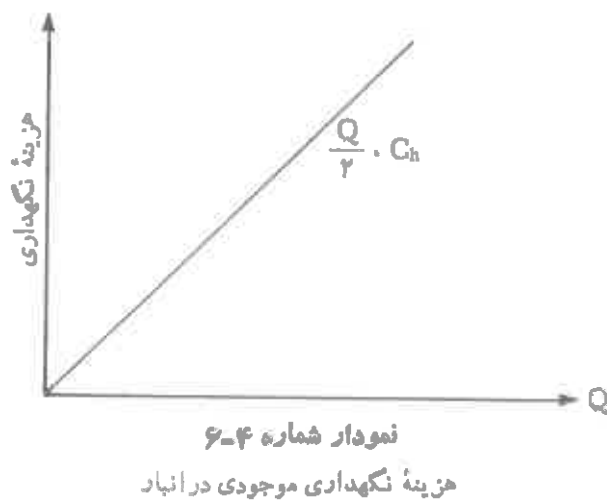
اگر هزینه نگهداری يك واحد کالا را با C_h نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\text{هزینه نگهداری} = \frac{Q}{2} (C_h)$$

منحنی هزینه نگهداری در نمودار شماره (۶-۳) نشان داده شده است. همان طور که در نمودار شماره (۶-۳) ملاحظه می شود هر قدر موجودی انبار بیشتر باشد هزینه نگهداری کالا بیشتر خواهد بود.

هزینه کل سیستم موجودی انبار

هزینه کل سیستم موجودی انبار عبارتست از مجموع هزینه های نگهداری کالا و هزینه



سفارش آن. اگر هزینه کل را با TC نشان دهیم خواهیم داشت:

هزینه نگهداری + هزینه سفارش = TC

$$TC = \frac{D}{Q} \cdot C_o + \frac{Q}{Y} \cdot C_h$$

در رابطه هزینه کل میزان سفارش را باید طوری انتخاب کرد که هزینه کل سیستم حداقل گردد. بدین منظور باید از رابطه هزینه کل (TC) نسبت به متغیر میزان سفارش (Q) مشتق گرفت. در این صورت خواهیم داشت:

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = \frac{-D}{Q^2} C_o + \frac{1}{Y} C_h$$

از آنجا که مشتق در نقطه حداقل برابر صفر است داریم:

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = 0$$

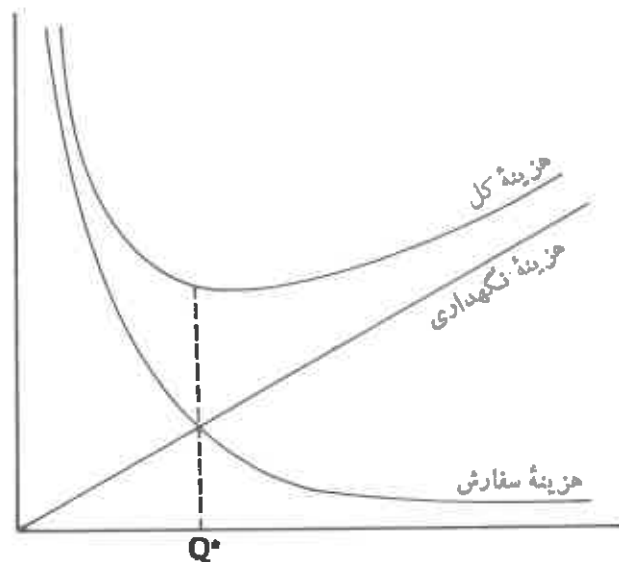
$$\frac{-D}{Q^2} C_o + \frac{1}{Y} C_h = 0$$

$$\frac{D}{Q^2} C_o = \frac{1}{Y} C_h \quad Q^* = \sqrt{\frac{YDC_o}{C_h}} \quad (6-1)$$

Q در رابطه (6-1) نشان دهنده میزان اقتصادی سفارش با توجه به حداقل هزینه های سفارش و نگهداری است. این مقدار سفارش را معمولاً به Q^* یعنی میزان مطلوب سفارش نشان می دهند.

نمودار شماره (6-5) شمای ترسیمی هزینه های سفارش، نگهداری و هزینه کل می باشد.

همان طور که نمودار شماره (6-5) نشان می دهد در نقطه Q^* هزینه کل حداقل است و هزینه نگهداری و سفارش با هم برابر هستند. بنا بر این برای یافتن نقطه Q^* می توان از تابع هزینه کل مشتق گرفت و یا هزینه های سفارش و نگهداری را برابر قرار داد. رابطه میزان اقتصادی سفارش را می توان بر حسب متغیرهای تعداد دفعات اقتصادی سفارش و فاصله زمانی بین دو سفارش هم تنظیم کرد. لازم به یادآوری است که تمامی این روابط صورتهای مختلف رابطه میزان اقتصادی سفارش اند و در قالب متغیرهای مختلف میزان اقتصادی سفارش را بیان می کنند. اینک به شرح برخی از این روابط می پردازیم:



نمودار شماره ۵-۶

نمودار میزان اقتصادی سفارش با توجه به هزینه‌های سفارش و نگهداری

الف - رابطه تعداد دفعات اقتصادی سفارش در یک دوره^۱ - اگر تعداد دفعات اقتصادی سفارش را به N نشان دهیم هزینه کل عبارت خواهد بود از:

$$TC = \text{هزینه نگهداری} + \text{هزینه سفارش}$$

از آنجایی که N بار در هر دوره سفارش می‌دهیم و هزینه هر بار سفارش C_o می‌باشد. بنابراین هزینه سفارش برابر NC_o خواهد بود. برای تعیین هزینه نگهداری باید میزان هر بار سفارش تعیین شود. به علت آنکه میزان تقاضا در یک دوره D و تعداد دفعات سفارش N می‌باشد، میزان هر بار سفارش و یا به عبارت دیگر حداکثر موجودی انبار برابر $\frac{D}{N}$

و متوسط موجودی انبار برابر $\frac{D}{N} \times \frac{1}{2}$ می‌باشد چون هزینه نگهداری هر واحد C_h می‌باشد بنابراین هزینه نگهداری عبارت است از: $C_h \cdot \frac{D}{N} \times \frac{1}{2}$ حال می‌توان هزینه کل را به این صورت نوشت:

$$TC = N \cdot C_o + C_h \cdot \frac{D}{2N}$$

1. Optimum number of orders

برای تعیین حداقل تعداد سفارشها می‌توان از هزینه کل نسبت به تعداد سفارشات (N) مشتق گرفت:

$$\frac{\partial TC}{\partial N} = C_o - \frac{DC_h}{\sqrt{2}N}$$

$$\frac{\partial TC}{\partial N} = 0$$

$$C_o = \frac{DC_h}{\sqrt{2}N} \Rightarrow N^* = \sqrt{\frac{DC_h}{\sqrt{2}C_o}} \quad (۶-۲)$$

رابطه (۶-۲) تعداد مطلوب سفارش (N^*) را در یک دوره نشان می‌دهد.

ب- رابطه مطلوبترین فاصله زمانی بین دو سفارش - اگر P مطلوبترین فاصله زمانی بین دو سفارش باشد هزینه کل عبارت خواهد بود از:

هزینه نگهداری + هزینه سفارش $TC =$

اگر t تعداد روزهای یک دوره باشد، تعداد سفارشها در یک دوره برابر $\frac{t}{P}$ می‌باشد. از آنجائی که هزینه هر بار سفارش C_o است بنابراین هزینه سفارش برابر است با:

$$\frac{t}{P} \cdot C_o$$

حداکثر موجودی انبار عبارتست از $\frac{D}{t/P}$ و متوسط آن $\frac{D}{\sqrt{2}t/P}$. بدین ترتیب هزینه نگهداری کالا عبارتست است از:

$$\frac{D}{\sqrt{2}t/P} \cdot C_h$$

بنابراین هزینه کل برابر است با:

$$TC = \frac{t}{P} \cdot C_o + \frac{D}{\sqrt{2}t/P} \cdot C_h$$

برای تعیین مطلوبترین فاصله زمانی بین دو سفارش می‌توان مانند گذشته از هزینه کل نسبت به P مشتق گرفت:

$$\frac{\partial TC}{\partial P} = -\frac{tC_o}{P^2} + \frac{DC_h}{P^2 t}$$

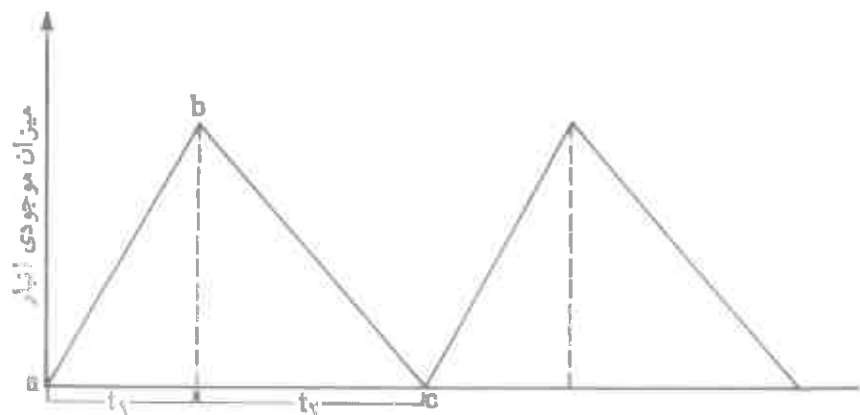
$$\frac{tC_o}{P^2} = \frac{DC_h}{P^2 t} \Rightarrow P^* = \sqrt{\frac{t^2 C_o}{DC_h}} \quad (۶-۳)$$

رابطه (۶-۳) مطلوبترین فاصله زمانی (P^*) بین دو سفارش است.

اثر زمان دریافت کالا در مدل EOQ

فرض ما در مدل‌های EOQ این بود که کالا و مواد در یک لحظه وارد انبار می‌شود و میزان موجودی انبار را به حداکثر می‌رساند. نمودار شماره (۶-۳) نمایانگر چنین فرضی است در حالی که واقعاً دریافت آنی کالا میسر نیست و محتاج زمان است به عبارت دیگر سفارش‌های ما به تدریج و طی یک دوره زمانی به دستمان می‌رسد. اگر نرخ دریافت بیش از نرخ مصرف باشد کالا به تدریج طی زمان در انبار انباشته می‌شود و پس از قطع دریافت به تدریج به میزان نرخ مصرف از موجودی کاسته می‌شود تا به حداقل خود می‌رسد. نمودار شماره (۶-۴) نشانگر این وضعیت می‌باشد.

همان‌طور که در نمودار شماره (۶-۴) مشاهده می‌شود در نقطه a دریافت کالا و مراد آغاز می‌شود و در طول زمان t_1 موجودی افزایش می‌یابد زیرا در این مدت نرخ دریافت کالا بیش از نرخ مصرف است. در نقطه b دریافت کالا متوقف می‌شود و این نقطه حداکثر



نمودار شماره ۶-۴

میزان موجودی با در نظر گرفتن زمان دریافت

موجودی انبار را نشان می‌دهد. از این نقطه به بعد با ادامه مصرف، موجودی کاهش می‌یابد تا به نقطه C می‌رسیم که در آنجا دریا قتهای جدید شروع می‌شود. در فصل نهم کاربرد این مدل در برنامه‌ریزی تفصیلی تولید شرح داده خواهد شد.

حساسیت مدل EOQ^۱

در کاربرد مدل EOQ باید حساسیت آن را نسبت به سیستم فعلی نگهداری کالا مورد مقایسه قرار دهیم تا دریابیم آیا تغییر سیستم به EOQ مقرون به صرفه هست یا نه. همان‌طور که اشاره شد هزینه کل سیستم نگهداری کالا برابر است با:

$$TC = \frac{D}{Q} \cdot C_o + \frac{Q}{\gamma} \cdot C_h$$

اگر در رابطه فوق از میزان اقتصادی سفارش (Q^*) استفاده کنیم خواهیم داشت:

$$TC^* = \frac{D}{Q^*} \cdot C_o + \frac{Q^*}{\gamma} \cdot C_h$$

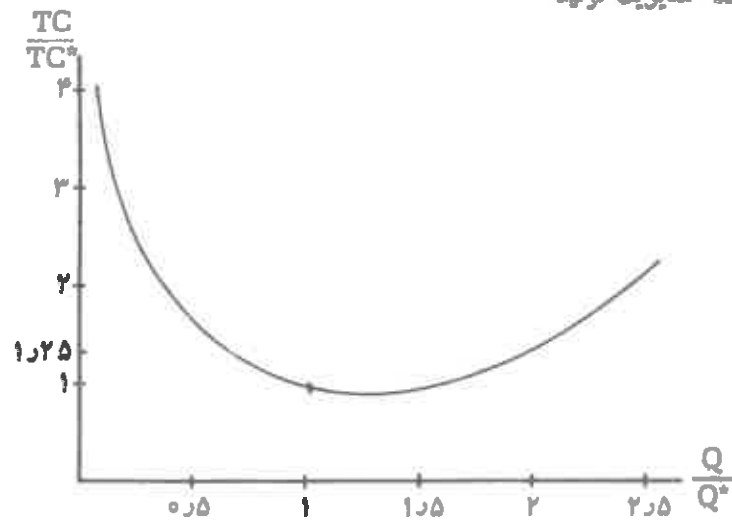
حساسیت سیستم فعلی نگهداری کالا نسبت به سیستم EOQ عبارتست از:

$$\frac{TC}{TC^*} = \frac{\frac{D}{Q} \cdot C_o + \frac{Q}{\gamma} \cdot C_h}{\frac{D}{Q^*} \cdot C_o + \frac{Q^*}{\gamma} \cdot C_h}$$

با جایگزینی $Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}}$ در رابطه فوق داریم:

$$\frac{TC}{TC^*} = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{Q^*}{Q} + \frac{Q}{Q^*} \right) \quad (۴-۶)$$

در رابطه (۴-۶) نسبت هزینه کل سیستم فعلی به هزینه کل حاصل از بکارگیری میزان اقتصادی سفارش بر حسب Q و Q^* بیان شده است. اگر میزان سفارش فعلی شرکت (Q) نزدیک به میزان اقتصادی سفارش (Q^*) باشد نسبت $\frac{TC}{TC^*}$ نزدیک به یک خواهد بود. هرچقدر از Q^* فاصله می‌گیرد نسبت مذکور افزایش می‌یابد و هزینه کل نسبت به میزان سفارش



نمودار شماره ۶-۷

حساسیت مدل EOQ

(Q) حساس تر می گردد. این وضعیت در نمودار شماره (۶-۷) نشان داده شده است. همان طور که در نمودار شماره (۶-۷) ملاحظه می شود می بینیم منحنی نقطه (۱ و ۱) می باشد. حال اگر نسبت سفارش در وضع فعلی نسبت به Q^* دو برابر گردد هزینه کل نسبت به TC^* فقط ۲۵ درصد افزایش پیدا می کند. در عمل سنجش حساسیت کاربردهای فراوانی دارد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

یک کارگاه تراشکاری سفارشی به میزان ۱۵۰۰۰۰ عدد بلبرینگ را در سال دریافت کرده است. این کارگاه قطعات مورد نیاز خود را در گروه های ۲۰۰۰۰۰ عددی خریداری می کند. هزینه سفارش هر مرتبه ۲۰۰۰ ریال و هزینه نگهداری هر قطعه در انبار ۲۰ درصد بهای قطعه می باشد اگر بهای هر قطعه ۱۵ ریال باشد میزان سفارش این کارگاه از میزان اقتصادی سفارش چقدر فاصله دارد و این میزان چه هزینه ای را برای کارگاه ایجاد می کند. با استفاده از رابطه EOQ داریم:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 150000 \times 2000}{0.2 \times 15}} = 20000$$

حال نسبت هزینه کل سیستم فعلی را به هزینه کل سیستم EOQ به دست می آوریم:

$$\frac{TC}{TC^*} = \frac{1}{2} \left(\frac{Q^*}{Q} + \frac{Q}{Q^*} \right)$$

$$\frac{TC}{TC^*} = \frac{1}{2} \left(\frac{200000}{200000} + \frac{200000}{200000} \right) = 1.25$$

این محاسبات نشان می دهد که میزان سفارش فعلی به اندازه ۲۰۰۰۰ واحد از میزان اقتصادی سفارش فاصله دارد (۱۰۰٪) در صورتی که هزینه کل فقط ۲۵ درصد افزایش نشان می دهد.

اضافه هزینه ای که به علت به کار نبردن میزان اقتصادی سفارش این کارگاه متحمل می شود عبارتست از:

$$\begin{aligned} (TC^*) - TC &= 0.25(TC^*) \\ &= 0.25 \left(\frac{D}{Q^*} \cdot C_o + \frac{Q^*}{2} C_h \right) \\ &= 0.25 \left(\frac{150000}{200000} \times 20000 + \frac{200000}{2} \times 0.20 \times 15 \right) \\ &= 15000 \end{aligned}$$

محاسبه میزان اقتصادی سفارش، با توجه به وجود تخفیف در قیمت کالا

اغلب اوقات قیمت کالا با میزان سفارش تغییر می کند، به عبارت دیگر فروشندگان کالا ممکن است برای حجمهای مختلف سفارش، تخفیفهایی قائل شوند. اما استفاده از تخفیف و خرید بیش از مقداری که مدل EOQ پیشنهاد می کند مستلزم هزینه نگهداری کالای اضافی می باشد. در این حالت برای تعیین میزان اقتصادی سفارش مراحل زیر را به ترتیب انجام می دهیم:

۱- میزان اقتصادی سفارش را با استفاده از رابطه EOQ برای کمترین قیمت پیشنهادی محاسبه کنید.

۲- تعیین کنید که آیا میزان محاسبه شده در مرحله ۱، در محدوده میزان پیشنهاد شده برای کمترین قیمت است یا خیر؟ اگر این میزان در محدوده فوق باشد هزینه کل متعلق به این میزان سفارش را محاسبه کنید. همچنین حداقل هزینه کل برای هر یک از قیمتهای

پیشنهادی در مقادیر مشخص شده را نیز محاسبه و آنگاه آن مقداری که هزینه کل کمتری دارد را انتخاب کنید (در این صورت نیازی به انجام مراحل بعدی نیست).

۳- اگر میزان محاسبه شده در مرحله ۱، در محدوده میزان پیشنهاد شده برای کمترین قیمت نباشد، هزینه کل را برای کمترین قیمت پیشنهادی با توجه به حداقل مقدار سفارش در آن قیمت محاسبه کنید.

۴- مراحل ۲ و ۳ را برای دومین قیمت پیشنهادی تکرار کنید. اگر جواب مرحله ۲ در محدوده قابل قبول قیمت فوق بود فقط مرحله ۲ را تکمیل کنید و اگر جواب در محدوده قابل قبول نبود مرحله ۳ را انجام دهید.

۵- مرحله ۴ را تکرار کنید تا اینکه یا یک جواب در محدوده قابل قبول به دست آید (تکمیل مرحله ۲) و یا اینکه هزینه کل تمامی قیمت‌های پیشنهاد شده محاسبه شوند، اگر میزان‌های مطلوب به دست آمده (از طریق EOQ) در هیچ کدام از محدوده‌های قابل قبول نبود، آن میزانی را که منجر به هزینه کل کمتری می‌شود؛ برگزینید. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

یک مؤسسه درمانی در سال نیاز به ۴۰۰ کارتن سرنگ یک بار مصرف دارد هزینه سفارش در هر مرتبه برابر ۱۲۰۰۰ ریال و هزینه نگهداری هر کارتن در سال ۲۰ درصد بهای آن می‌باشد. اگر سفارش بین ۱ تا ۲۹ کارتن باشد بهای هر کارتن ۲۹۰۰۰ ریال می‌باشد و اگر سفارش بین ۵۰ تا ۹۹ کارتن باشد بهای هر کارتن ۲۸۵۰۰ ریال خواهد بود. همچنین اگر سفارش بیش از ۱۰۰ کارتن باشد بهای هر کارتن به ۲۸۰۰۰ ریال تقلیل می‌یابد. حال با توجه به تخفیف‌های تعیین شده، باید دید برای مؤسسه درمانی کدام یک از سه میزان سفارش مقرون به صرفه می‌باشد. ابتدا میزان اقتصادی سفارش را برای هزینه «۲۸۰۰۰ ریال» محاسبه می‌کنیم.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \times 400 \times 12000}{0.2(28000)}} = 212.40$$

از آنجا که قیمت ۲۸۰۰۰ ریال برای هر کارتن متعلق به سفارش حداقل ۱۰۰ کارتن در هر مرتبه است، میزان به دست آمده از رابطه EOQ در محدوده قابل قبول قیمت پیشنهادی نمی‌باشد. بنابراین بر طبق مرحله ۳، حداقل هزینه کل متعلق به قیمت ۲۸۰۰۰ ریال را محاسبه می‌کنیم.

هزینه نگهداری + هزینه سفارش + هزینه کالا = هزینه کل

اگر P را به عنوان قیمت يك واحد کالا معرفی کنیم، داریم:

$$TC = (D \cdot P) + \left(\frac{D}{Q} C_o\right) + \left(\frac{Q}{\gamma} C_h\right)$$

$$TC = (400 \times 28500) + \left(\frac{400}{100} \times 12000\right) + \left(\frac{100}{\gamma} \times 0.2 \times 28500\right)$$

$$TC = 11528000$$

حال میزان اقتصادی سفارش (Q^*) را برای دومین قیمت پیشنهادی (۲۸۵۰۰ ریال) محاسبه می کنیم.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \times 400 \times 12000}{0.2(28500)}} = 4104$$

اما قیمت ۲۸۵۰۰ ریال برای سفارشهایی می باشد که میزان آنها بین ۵۰ تا ۹۹ کارتن است به عبارت دیگر میزان محاسبه شده ($Q^* = 4104$) در محدوده مقدار سفارش برای قیمت ۲۸۵۰۰ ریال نمی باشد بنابراین حداقل هزینه کل متعلق به قیمت ۲۸۵۰۰ ریال را محاسبه می کنیم.

$$TC = DP + \frac{D}{Q} C_o + \frac{Q}{\gamma} C_h$$

$$TC = 28500(400) + \frac{400}{100}(12000) + \frac{100}{\gamma}(0.2 \times 28500) \\ = 11638500$$

و بالاخره میزان اقتصادی سفارش را برای سومین قیمت (۲۹۰۰۰) ریال محاسبه می کنیم

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \times 400 \times 12000}{0.2(29000)}} = 4068 \sim 41$$

این میزان در محدوده قابل قبول قیمت پیشنهادی ۲۹۰۰۰ ریال می باشد زیرا قیمت ۲۹۰۰۰ ریال برای سفارشهایی بین ۱ تا ۴۹ کارتن است بنابراین در این حالت باید هزینه کل متعلق به میزان اقتصادی سفارش را به دست آورد:

$$TC^* = D \cdot P + \frac{D}{Q} C_o + \frac{Q}{\gamma} C_h$$

$$= 400 \times 29000 + \frac{400}{41}(12000) + \frac{41}{4}(0.2 \times 29000) \\ = 11835973$$

اگر هر سه هزینه محاسبه شده را با هم مقایسه کنیم متوجه خواهیم شد که کمترین هزینه کل ۱۱۵۲۸۰۰۰ ریال می باشد که متعلق به سفارش ۱۰۰ کارتن در هر مرحله و گرفتن بیشترین تخفیف می باشد. به عبارت دیگر میزان اقتصادی سفارش با توجه به وجود تخفیف در قیمت برابر است با:

$$Q^* = 100$$

نقطه سفارش مجدد^۱

در بخشهای پیشین میزان اقتصادی سفارش مورد بحث قرار گرفت اکنون به بررسی زمان به جریان گذاشتن سفارش می پردازیم. به عبارت دیگر در این قسمت می خواهیم بدانیم حداقل موجودی انبار در چه سطحی باشد تا به سفارش مجدد اقدام کنیم. این سطح را نقطه سفارش مجدد می نامند برای محاسبه نقطه سفارش مجدد باید به عواملی چون زمان انتظار^۲ و میزان تقاضا در زمان انتظار^۳ توجه داشت.

زمان انتظار

اگر مدیر يك فروشگاه پوشاك مدل خاصی از يك لباس را سفارش دهد و بداند که سفارش او ۳۰ روز بعد به دستش خواهد رسید، این ۳۰ روز زمان انتظار سفارش می باشد. بنابراین زمان انتظار عبارتست از فاصله زمانی بین درخواست سفارش و دریافت آن. در سازمانها زمانی که صرف امور اداری و مکاتباتی می شود به زمان انتظار افزوده می شود.

تقاضا در طول زمان انتظار

اگر مدیر فروشگاه فوق الذکر بداند که میزان تقاضا برای آن مدل خاص لباس روزانه ۲ دست می باشد، میزان تقاضا در طول زمان انتظار (زمانی که طول می کشد تا سفارش دریافت شود) برابر است با:

$$30 \times 2 = 60$$

1. Reorder Point

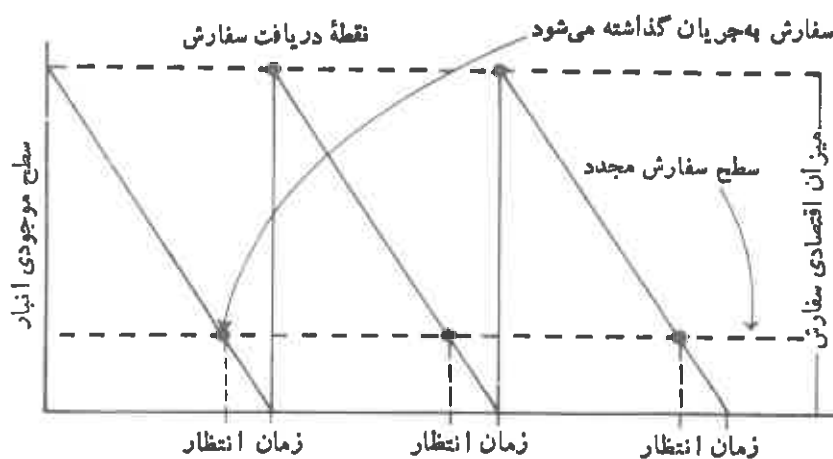
2. Lead time

3. Lead time demand

بنابراین وقتی میزان موجودی به e نزدیک شد سفارش مجدد باید صورت گیرد. پیش‌بینی زمان انتظار و تقاضا در طول زمان انتظار ممکن است ثابت نباشد و در عمل دقیقاً تحقق نیابد. که در این صورت سازمان مواجه با خالی شدن از موجودی می‌شود که در قسمت بعد به بحث در این باره می‌پردازیم.

خالی شدن از موجودی

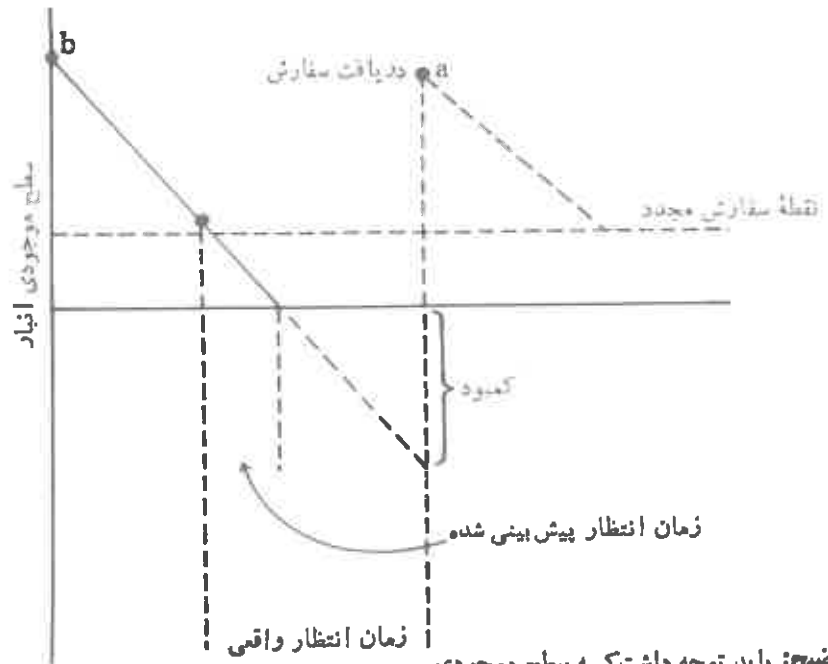
اگر میزان تقاضا و زمان انتظار ثابت فرض شود، نقطه سفارش را می‌توانیم مطابق شکل شماره (۸-۶) نشان دهیم:



شکل ۸-۶

نقطه سفارش با زمان انتظار ثابت

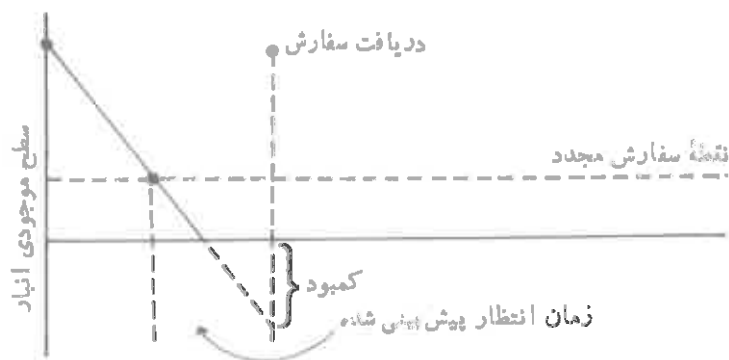
اما میزان تقاضا و زمان انتظار غالباً ثابت نیستند زیرا به حلل پیش‌بینی نشده، مانند تغییر اوضاع جوی، اعتصاب، خرابی ماشین‌آلات یا تأخیر در حمل و نقل، این عوامل دستخوش تغییر می‌شوند. و این تغییرات سبب می‌شود که موجودی انبار قبل از زمانی که انتظار می‌رود تمام شود و کمبود به وجود آورد. شکل شماره (۹-۶) نشان می‌دهد تقاضا به میزان پیش‌بینی شده می‌باشد اما زمان انتظار با آنچه پیش‌بینی شده متفاوت است، همچنین شکل (۱۰-۶) نشان می‌دهد که زمان انتظار مطابق پیش‌بینی می‌باشد اما تقاضا با میزان پیش‌بینی شده متفاوت است. در هر دو حالت این تفاوتها باعث کمبود موجودی انبار می‌شوند. از آنجا که کمبود موجودی انبار، هزینه‌های جنبی بسیاری را ایجاد می‌کند،



توضیح: باید توجه داشت که سطح موجودی انبار (a) به میزان قبلی خود (b) نمی‌رسد زیرا مقداری از سفارش دریافت شده صرف چیران کمبود می‌شود.

شکل ۹-۶

نقطه سفارش هنگامی که زمان انتظار با پیش‌بینی تطبیق نمی‌کند



شکل ۱۰-۶

نقطه سفارش هنگامی که تقاضا با پیش‌بینی تطبیق نمی‌کند

مدیریت همواره باید بکوشد تا با جلوگیری از خالی شدن انبار از این هزینه‌ها اجتناب کند. یکی از طرق پیشگیری از خالی شدن موجودی انبار، در نظر گرفتن مقداری از موجودی به عنوان ذخیره ایمنی می باشد که در قسمت بعد مورد بررسی قرار می گیرد.

ذخیره ایمنی^۱

ذخیره ایمنی عبارتست از میزان اضافه موجودی انبار برای جلوگیری از کمبودهای احتمالی. ذخیره ایمنی دارای دو نوع اثر بر هزینه‌های سازمان می باشد. از یک طرف ذخیره ایمنی باعث کاهش هزینه‌های ناشی از کمبود می شود و از طرف دیگر هزینه‌های انبارداری را افزایش می دهد.

تعیین سطح ذخیره ایمنی زمانی که هزینه‌های ناشی از کمبود مشخص است

در تعیین حد مطلوب ذخیره ایمنی باید به دو سؤال توجه داشت:

۱- به حداقل رساندن هزینه ناشی از کمبود.

۲- به حداقل رساندن هزینه‌های انبارداری.

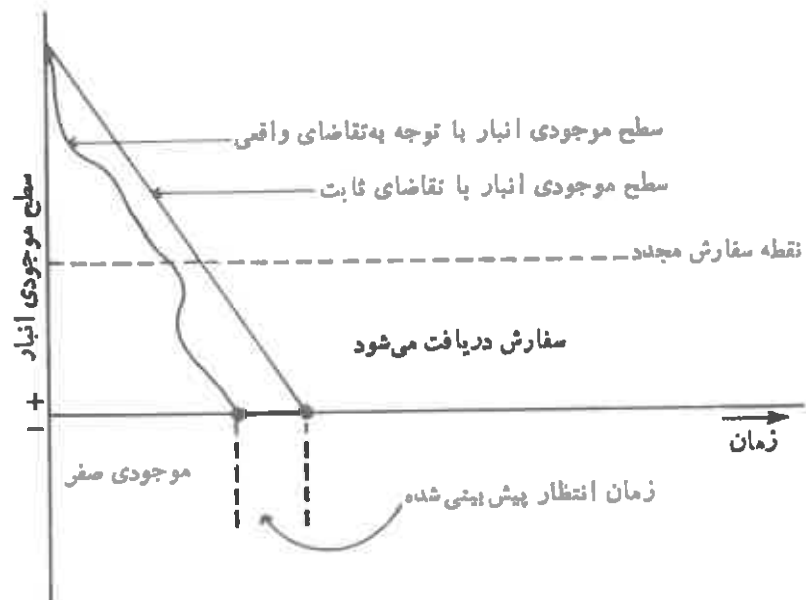
برای تعیین حد مطلوب ذخیره ایمنی روشهای مختلفی وجود دارد که هر کدام مزایا و محدودیتهای خاص خود را دارند. اینک به توضیح روش احتمالی^۲ که یکی از روشهای متداول است می پردازیم. ابتدا زمان انتظار را ثابت می گیریم و فرض می کنیم که کل سفارش یکبار در یافت می شود. تحت این شرایط کمبود فقط از طریق افزایش در تقاضا (افزایش در میزان مصرف) به وجود خواهد آمد. شکل (۱۱-۶) این وضعیت را نشان می دهد.

باید توجه داشت که در این حالت کمبود موجودی به علت افزایش در تقاضا پس از به جریان گذاردن سفارش به وجود آمده است. اگر این افزایش قبل از به جریان گذاشتن سفارش اتفاق می افتاد کمبود از طریق افزایش در میزان سفارش قابل پیشگیری بود. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

یک شرکت سازنده دستگاههای چاپ برای کامپیوتر از یک نوع موتور برای

1. Safty Stock
2. probability approach



شکل ۱۱-۶

نقطه سفارش با توجه به تقاضای واقعی

دستگاههای مذکور استفاده می کنند. هزینه ناشی از کمبود هر موتور در موقع نیاز ۵۰۰۰ ریال می باشد. این هزینه شامل هزینه انبارداری ماشین چاپ تا رسیدن موتور، هزینه عملیاتی مجدد پس از دریافت موتور و هزینه ناشی از نارضایتی مشتریان می باشد. این شرکت با استفاده از مدل EOQ میزان اقتصادی سفارش خود را ۳۶۰۰ عدد با متوسط تقاضای ۵۰ موتور در روز تعیین کرده است. زمان انتظار پیش بینی شده ۶ روز می باشد. این شرکت می خواهد بداند چه تعداد موتور به عنوان ذخیره ایمنی در انبار نگهداری کند.

اولین قدم تجزیه و تحلیل کارت انبار این موتورها می باشد. با توجه به نقاط سفارش قبلی می توان احتمال میزان مصرف را مطابق جدول (۲-۶) بدست آورد.

مثلاً اگر نقطه سفارش ۳۰۰ دستگاه موتور باشد شرکت ۸۱٪ از موارد

(۵۶۸+۵۶۶+۵۰۴+۵۰۳) دچار کمبود کالا نخواهد شد، اما ۱۹٪ از موارد

(۵۰۹+۵۰۷+۵۰۳) مواجه با کمبود کالا خواهد شد. برای کاهش و یا جلوگیری

از کمبود تعدادی موتور به عنوان ذخیره همواره باید در انبار موجود باشد، این تعداد باید

مصرف در طول زمان سفارش	فراوانی مصرف	احتمال مصرف
۱۵۰	۳	۰.۰۳
۲۰۰	۴	۰.۰۴
۲۵۰	۶	۰.۰۶
۳۰۰	۶۸	۰.۶۸
۳۵۰	۹	۰.۰۹
۴۰۰	۷	۰.۰۷
۴۵۰	۳	۰.۰۳
	<u>۱۰۰</u>	<u>۱</u>

جدول شماره ۲-۶

جدول احتمال میزان مصرف در طول زمان سفارش

با توجه به حداقل هزینه‌های ناشی از کمبود و انبارداری ذخیره ایمنی معین شود. شرکت مذکور سطوح مختلف ذخیره انبار را به شرح زیر مورد ارزیابی قرار می‌دهد تا با توجه به دو نوع هزینه فوق بهترین تعداد را انتخاب کنید.

۱- ذخیره ایمنی ۵۰ عددی

این تعداد ذخیره به شرکت امکان می‌دهد که میزان مصرف تا ۳۵۰ عدد در طول زمان سفارش را پاسخگو باشد. بنابراین شرکت فقط در مواردی که میزان مصرف ۴۰۰ یا ۴۵۰ باشد دچار کمبود خواهد شد که احتمال آن نیز ۰.۱ است

$$۰.۰۷ + ۰.۰۳ = ۰.۱$$

۲- ذخیره ایمنی ۱۰۰ عددی

این تعداد ذخیره امکان می‌دهد که میزان مصرف تا ۴۰۰ عدد در طول زمان سفارش تأمین شود بنابراین فقط در مواردی که میزان مصرف ۴۵۰ عدد است کمبود ایجاد خواهد شد و احتمال وقوع این کمبود ۰.۰۳ می‌باشد.

۳- ذخیره ایمنی ۱۵۰ عددی

این تعداد ذخیره امکان می‌دهد تا میزان مصرف ۴۵۰ عدد که حد نهایی است برآورده شود و در این صورت هیچ‌گونه کمبودی پیش نخواهد آمد. (باید توجه داشت که توزیع این احتمال از نوع گسسته^۱ است).

هر بار که موجودی انبار به حد اقل می‌رسد و سفارش مجدد باید صورت گیرد خطر مواجه شدن با کمبود وجود دارد بنابراین تعداد دفعات سفارش در سال باید از تعیین نقطه سفارش مجدد در نظر گرفته شود. مثلاً اگر بر اساس رابطه EOQ تعداد مطلوب دفعات سفارش در سال ۵ بار باشد در طول سال ۵ بار خطر مواجه شدن با کمبود موتور وجود دارد بنابراین رابطه EOQ در تعیین نقطه سفارش مجدد تأثیر دارد.

هزینه ناشی از کمبود کالا برای ۴ سطح ذخیره ایمنی صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ در جدول شماره (۳-۶) نشان داده شده است.

اگر هزینه انبارداری یک موتور در سال ۱۰۰۰ ریال باشد در این صورت هزینه کل کمبود مطابق جدول (۴-۶) خواهد بود.

همچنان که در جدول (۴-۶) مشاهده می‌شود، ذخیره ایمنی ۱۰۰ کمترین هزینه را در بر دارد و بهترین حد ذخیره است. حال با توجه به ذخیره ایمنی نقطه سفارش مجدد را مطابق رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

(۵-۶) ذخیره ایمنی + (زمان انتظار \times متوسط مصرف روزانه) = نقطه سفارش مجدد

$$۴۰۰ = ۱۰۰ + (۶ \times ۵۰) = \text{نقطه سفارش مجدد}$$

محاسبه نقطه سفارش در مواردی که زمان انتظار بیش از

مطلوب‌ترین فاصله بین دو سفارش می‌باشد.

در مثال قبل فرض کنید که مدت زمان انتظار از ۶ روز به ۹۰ روز افزایش یابد در این صورت از رابطه (۵-۶) استفاده می‌کنیم زیرا بر طبق این رابطه نقطه سفارش عبارت خواهد بود از:

$$Q_0 = ۵۰ \times ۹۰ + ۱۰۰ = ۴۶۰۰$$

این میزان بیش از حداکثر موجودی انبار ($Q^* = ۳۶۰۰$) می‌باشد و هیچگاه موجودی انبار به ۴۶۰۰ نخواهد رسید. بنابراین نمی‌توان نقطه سفارشی برابر ۴۶۰۰ عدد داشت، برای محاسبه نقطه سفارش در اینگونه موارد باید در رابطه (۵-۶) اصلاحاتی صورت گیرد

هزینه کمبود درسال	هزینه مورد انتظار سالیانه هزینه کمبود \times احتمال کمبود \times تعداد کمبود \times تعداد سفارش درسال	تعداد دفعات کمبود	احتمال وجود کمبود	ذخیره ایمنی
۴۰۰۰۰۰	$۵۰ \times ۰.۰۰۹ \times ۵۰۰۰ \times ۵ = ۱۱۲۵۰۰$ $۱۰۰ \times ۰.۰۰۷ \times ۵۰۰۰ \times ۵ = ۱۷۵۰۰۰$ $۱۵۰ \times ۰.۰۰۳ \times ۵۰۰۰ \times ۵ = ۱۱۲۵۰۰$	۵۰ ۱۰۰ ۱۵۰	۰.۰۰۹ (مصرف ۳۵۰) ۰.۰۰۷ (مصرف ۲۰۰) ۰.۰۰۳ (مصرف ۲۵۰)	۰
۱۶۲۵۰۰	$۵۰ \times ۰.۰۰۷ \times ۵۰۰۰ \times ۵ = ۸۷۵۰۰$ $۱۰۰ \times ۰.۰۰۳ \times ۵۰۰۰ \times ۵ = ۷۵۰۰۰$	۵۰ ۱۰۰	۰.۰۰۷ (مصرف ۲۰۰) ۰.۰۰۳ (مصرف ۲۵۰)	۵۰
۳۷۵۰۰	$۵۰ \times ۰.۰۰۳ \times ۵۰۰۰ \times ۵ = ۳۷۵۰۰$	۵۰	۰.۰۰۳ (مصرف ۲۵۰)	۱۰۰
۰		۰	۰	۱۵۰

جدول شماره ۳-۶

هزینه‌های کمبود کالا در سطوح چهارگانه ذخیره ایمنی

هزینه کل (هزینه کمبود + هزینه انبارداری)	هزینه انبارداری درسال	هزینه کمبود	ذخیره ایمنی
۴۰۰۰۰۰	۰	۴۰۰۰۰۰	۰
۲۱۲۵۰۰	$۵۰ \times ۱۰۰۰ = ۵۰۰۰۰$	۱۶۲۵۰۰	۵۰
۱۳۷۵۰۰	$۱۰۰ \times ۱۰۰۰ = ۱۰۰۰۰۰$	۳۷۵۰۰	۱۰۰
۱۵۰۰۰۰	$۱۵۰ \times ۱۰۰۰ = ۱۵۰۰۰۰$	۰	۱۵۰

جدول شماره ۴-۶

جدول هزینه کل کمبود

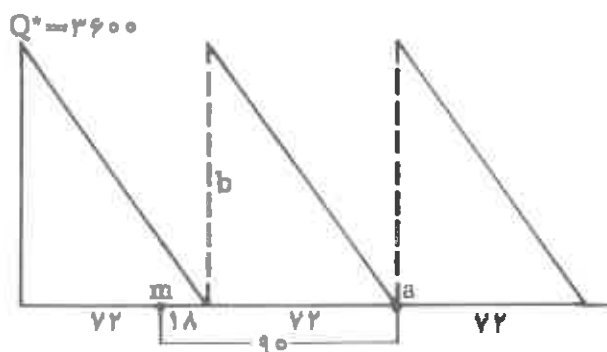
زیرا در طول زمان انتظار، يك سفارش ۳۶۰۰ عددی به انبار می‌رسد که این سفارش می‌تواند جوابگوی ۷۲ روز از زمان انتظار باشد بنابراین موجودی انبار باید فقط جوابگوی بقیه مدت انتظار یعنی $۱۸ = ۷۲ - ۹۰$ روز باشد. این وضعیت در شکل (۶-۱۲) نشان داده شده است.

در شکل (۶-۱۲) در طول زمان انتظار، سفارش b به انبار می‌رسد. پس اگر موجودی انبار بتواند مصرف ۱۸ روز را تأمین کند این موجودی به علاوه میزان سفارش b می‌تواند جوابگوی تقاضای ۹۰ روز باشد. بنابراین نقطه سفارش در این حالت برابر است با:

$$Q_0 = 50(90 - 72) + 100 = 1000$$

به همین ترتیب اگر زمان به ۱۵۰ روز افزایش یابد. در طول این مدت ۲ سفارش به انبار خواهد رسید. بنابراین نقطه سفارش برابر است با:

$$Q_0 = 50(150 - 2 \times 72) + 100 = 200$$



شکل ۶-۱۲

نمودار سطح موجودی انبار

محاسبه ذخیره ایمنی در مواردی که هزینه کمبود مشخص نباشد

در بسیاری موارد محاسبه هزینه کمبود بسیار مشکل و در مواردی امکان ناپذیر است. در يك مغازه که کالا با سود مشخصی به مشتری فروخته می‌شود هزینه کمبود می‌تواند عبارت از سود از دست رفته به علت نداشتن کالا و لطمه‌ای باشد که به همین علت به شهرت مغازه دار وارد می‌شود.

به دلایل بسیاری محاسبه این هزینه در سازمانهای تولیدی مشکل است. برخی از این دلایل عبارتند از:

- ۱- از آنجا که قطعات مختلف مورد نیاز برای تولید کالا تك تك فروخته نمی شود محاسبه دقیق ارزش واقعی آنها در جریان تولید عملاً امکان پذیر نیست.
 - ۲- کمبود قطعات باعث ایجاد اشکالهایی در خط تولید می شود و محاسبه هزینه ناشی از این اشکالها کار ساده ای نیست. ممکن است این کمبود در يك مورد باعث بیکاری چند دقیقه ای يك کارگر شود و در مورد دیگری باعث تعطیل خط تولید برای چند روز شود.
 - ۳- هزینه کمبود اولین قطعه با قطعات بعدی لزوماً برابر نیستند.
- با توجه به دلایل فوق اغلب سازمانها به جای محاسبه هزینه کمبود هر واحد کالا می کوشند تا يك سطح قابل قبول موجودی را بپذیرند و سپس ذخیره ایمنی بر اساس این سطح معین می شود. به عنوان مثال يك سازمان ممکن است سطح ۹۵ درصد را برای موجودی يك کالای خاص انتخاب کند، با انتخاب این سطح در ۹۵ درصد موارد کالا موجود می باشد و حداکثر در ۵ درصد موارد کمبود مشاهده می شود و سازمان با پذیرش این سطح ذخیره ایمنی را معین می سازد. تعیین سطح قابل قبول موجودی با هزینه های سیستم کنترل موجودی کالا ارتباط مستقیم دارد، مثلاً سازمانی که سطح ۹۹ درصد را سطح قابل قبول موجودی تعیین می کند نسبت به سازمانی که ۷۵ درصد را می پذیرد، هزینه بیشتری را متحمل خواهد شد. بنابراین سازمانها با توجه به این هزینه است که سطح قابل قبول موجودی را مشخص می کنند.

تعیین ذخیره ایمنی برای سطح قابل قبول موجودی

زمانی که موجودی انبار به حداقل میزان خود می رسد. خطر مواجه شدن با کمبود موجودی کالا به وجود می آید و این امر اغلب زمانی رخ می دهد که سفارش جدید در راه است. بدین جهت تعیین سیاست ذخیره ایمنی بستگی به میزان مصرف کالا طی دوره سفارش مجدد دارد. مثلاً اگر مصرف کالا در دوره های قبلی کاملاً ثابت باشد با ذخیره ایمنی کمی می توان سطح قابل قبول مشخصی را به دست آورد و بالعکس اگر مصرف کالایی در دوره های گذشته نوسان زیاد داشته باشد با ذخیره ایمنی بالایی می توان به همان سطح قابل قبول دست یافت.

مثال:

در يك شرکت سازنده کالاهای الكترونيك اطلاعات زیر در رابطه با توزیع احتمالی زمان انتظار تقاضا برای یکی از اقلام مورد نیاز شرکت موجود است.

میانگین مصرف کالا در طول دوره $\mu = ۱۸۰$

انحراف استاندارد مصرف $\sigma = ۳۰$

در این شرکت توزیع زمان انتظار تقاضا به صورت توزیع نرمال فرض شده است. اگر شرکت مذکور خواهان ۹۵ درصد سطح قابل قبول موجودی باشد میزان ذخیره ایمنی باید در چه حدی باشد؟

شکل شماره (۶-۱۳) توزیع احتمالی زمان انتظار تقاضا را برای این کالای خاص نشان می‌دهد. نقطه‌هاشوزده زیر منحنی فوق نشان‌دهنده درصد مواردی است که این سازمان احتمال مواجه شدن با کمبود را پذیرفته است. پس برای تعیین ذخیره ایمنی بساید مقدار $S - \mu$ را محاسبه نمود. برای محاسبه S از جدول توزیع نرمال در نقطه ۹۵ درصد استفاده می‌کنیم.

$$Z = \frac{S - \mu}{\sigma}$$

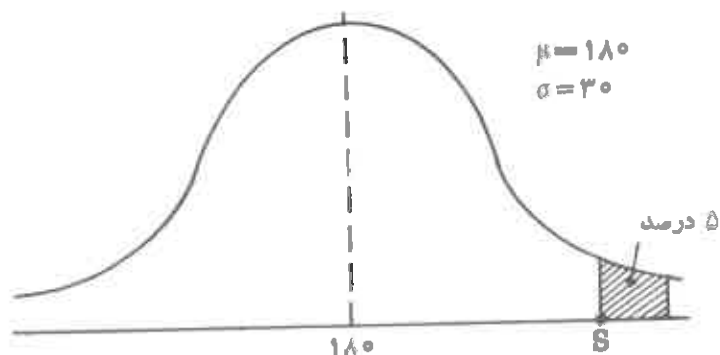
$$Q_{0.95} = ۱.۶۴$$

$$۱.۶۴ = \frac{S - ۱۸۰}{۳۰}$$

$$S = ۲۲۹$$

بنابراین ذخیره ایمنی برای کالای مذکور عبارتست از:

$$۲۲۹ - ۱۸۰ = ۴۹$$



شکل ۶-۱۳

توزیع زمان انتظار تقاضا

سفارش مجدد با کمبود برنامه ریزی شده

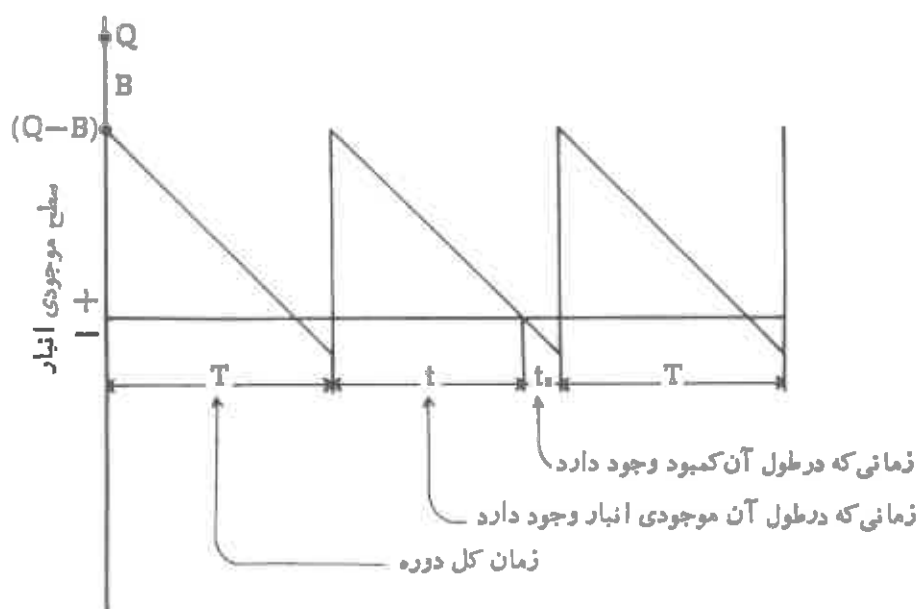
هدف روشهایی که تا به حال به آنها اشاره شد جلوگیری از ایجاد کمبود موجودی انبار بود اما در مواردی ممکن است مدیریت از نقطه نظر هزینه خود برخی از کمبودها را برنامه ریزی کند. یکی از مدل‌های مورد استفاده در «روش سفارش مجدد با کمبود برنامه ریزی شده»، «مدل سفارش تحویل نشده»^۱ می باشد. زمانی می توان از این مدل استفاده کرد که شرایط زیر موجود باشد:

- ۱- مشتری سفارشی را به مؤسسه می دهد.
 - ۲- مؤسسه کالای مورد سفارش را در انبار ندارد.
 - ۳- مشتری سفارش را لغو نمی کند.
 - ۴- مشتری در انتظار رسیدن سفارش می ماند.
 - ۵- مؤسسه سفارش مشتری را برای محموله بعدی ثبت می کند.
- بدیهی است در صورتی که مشتری پس از اطلاع از موجود نبودن کالا سفارش خود را لغو کند مدل مذکور نمی تواند مورد استفاده قرار گیرد.
- سطح موجودی در مدل سفارش تحویل نشده در شکل (۱۴-۶) نشان داده شده است. در این مدل علاوه بر هزینه انبارداری و سفارش، هزینه دیگری تحت عنوان هزینه سفارش تحویل نشده نیز وجود دارد. هزینه مذکور شامل دو نوع هزینه می باشد:
- ۱) هزینه به جریان انداختن سفارش تحویل نشده.
 - ۲) هزینه ناشی از لطمه خوردن به اعتبار سازمان نزد مشتری.
- در مدل سفارش تحویل نشده سعی می شود هزینه ای که به علت یک واحد کمبود ایجاد شده محاسبه شود البته محاسبه دقیق این هزینه میسر نمی باشد، زیرا تعیین هزینه لطمه دیدن اعتبار سازمان به سادگی امکان پذیر نیست. اینک به بررسی هر یک از هزینه های مدل فوق می پردازیم.

هزینه انبارداری در مدل سفارش تحویل نشده

با توجه به شکل (۱۴-۶) در طول زمان t حداکثر سطح موجودی انبار برابر است با میزان کالای تحویل شده به انبار منهای مقداری که تعهد تحویل به مشتری از دوره قبل داشته ایم. اگر Q میزان کالای تحویل شده به انبار در شروع دوره و B میزان تعهد تحویل کالا به مشتری از دوره قبل باشد، بنابراین میزان کالای موجود در انبار در شروع دوره برابر است با:

$$Q - B$$



شکل ۶-۱۴

نمودار موجودی، درمدل سفارش تحویل نشده

و حداقل موجودی انبار در آخر زمان t برابر با صفر است. بنابراین متوسط موجودی انبار در طول دوره t برابر است با:

$$\frac{Q-B}{2}$$

از آنجا که در طول دوره t در انبار موجودی وجود ندارد متوسط موجودی انبار در طول دوره T برابر است با:

$$\text{متوسط موجودی انبار در دوره } T = \frac{[(Q-B)/2]t}{T}$$

اگر d میزان تقاضای روزانه باشد، موجودی انبار $(Q-B)$ در طول $\frac{Q-B}{d}$ روز مصرف می‌شود، یعنی:

$$t = \frac{Q-B}{d}$$

از طرفی برای دوره T میزان a سفارش داده شده است بنابراین:

$$T = \frac{Q}{d}$$

حال مقادیر T و t را در رابطه متوسط موجودی انبار قرار می‌دهیم خواهیم داشت:

$$T = \frac{\left(\frac{Q-B}{2}\right)\left(\frac{Q-B}{d}\right)}{\frac{Q}{d}} = \frac{(Q-B)^2}{2Q}$$

اگر هزینه انبارداری یک کالا را به C_h نشان دهیم هزینه انبارداری کل دوره برابر است با:

$$(6-6) \quad \text{هزینه انبارداری برای مدل سفارش تحویل نشده} = \frac{(Q-B)^2}{2Q} C_h$$

هزینه سفارش در مدل سفارش تحویل نشده

هزینه سفارش در این مدل دقیقاً برابر مدل ساده EOQ می‌باشد.

$$(6-7) \quad \text{هزینه سفارش در مدل سفارش تحویل نشده} = \frac{D}{Q} C_o$$

هزینه سفارش تحویل نشده

از آنجایی که حداکثر میزان سفارش تحویل نشده برابر B می‌باشد و در انتهای دوره

این میزان به صفر می‌رسد بنابراین در طول دوره t_s متوسط سفارشهای تحویل نشده برابر

است با $\frac{B}{2}$ این میزان کمبود برای کل دوره T می‌باشد بنابراین متوسط سفارشهای

تحویل نشده در طول دوره T برابر است با:

$$\frac{(B/2)t_s}{T}$$

از طرفی:

$$t_s = \frac{B}{d}$$

$$T = \frac{Q}{d}$$

با قراردادن مقادیر t_0 و T در رابطه $\frac{(B/2)t_0}{T}$ خواهیم داشت:

$$\frac{\left(\frac{B}{2}\right)\left(\frac{B}{d}\right)}{\frac{Q}{d}} = \frac{B^2}{2Q}$$

اگر هزینه یک واحد کالای تحویل نشده برابر V باشد (V عبارتست از هزینه به جریان انداختن یک واحد کالای تحویل نشده به اضافه هزینه ناشی از لطمه خوردن به اعتبار سازمان برای یک واحد کالای تحویل نشده) هزینه سفارش تحویل نشده برابر است با:

$$\frac{B^2 V}{2Q} \quad \text{هزینه سفارش تحویل نشده} \quad (6-8)$$

هزینه کل مدل سفارش تحویل نشده با استفاده از روابط (۶-۶)، (۶-۷) و (۶-۸) برابر خواهد بود با:

$$TC = \frac{(Q-B)^2}{2Q} C_h + \frac{DC_0}{Q} + \frac{B^2 V}{2Q} \quad (6-9)$$

هزینه کل در مدل سفارش تحویل نشده

مسائل و تمرینات فصل ششم

۶-۱ يك شیرینی‌فروشی سالیانه ۲۵۰۰۰ کیلو آرد مصرف دارد. هزینه سفارش در هر مرتبه ۱۰۵۰ ریال و هزینه نگهداری هر کیلو آرد در انبار برابر ۱۰۰ ریال می‌باشد.
الف - میزان اقتصادی سفارش (Q^*) را به دست آورید.

ب - حداقل هزینه کل (TC^*) را محاسبه کنید.

۶-۲ يك مجتمع کشاورزی سالانه ۱۸۰۰۰ کیسه کود شیمیائی مصرف می‌کند. هزینه سفارش در هر بار ۷۵۰ ریال و هزینه نگهداری هر کیسه کود شیمیائی در انبار ۱۲۵٪ قیمت آن می‌باشد. بهای هر کیسه کود ۶۰۰ ریال است.

الف - میزان اقتصادی سفارش و حداقل هزینه کل انبار را به دست آورید.

ب - فرض کنید ۲۰۰۰ کیسه بیش از آنچه در مرحله الف محاسبه شده سفارش داده شده باشد این تصمیم چه اثری بر روی کل هزینه‌های انبار این مجتمع خواهد داشت.

۶-۳ يك شرکت تولیدی برای سفارش مواد اولیه خود از مدل EOQ استفاده می‌کند. قیمت هر کیلو مواد اولیه این شرکت برابر ۳۵۰ ریال و میزان نیاز به این مواد در سال ۲۱۹۰۰ کیلو می‌باشد. هزینه سفارش در هر مرتبه ۳۰۰ ریال و هزینه نگهداری کالا در انبار سالانه ۲۸ درصد بهای آن می‌باشد. مطلوب است:

۱ - میزان اقتصادی سفارش.

۲ - مطلوبترین فاصله زمانی بین دو سفارش.

۳ - تعداد مطلوب سفارش در سال.

۴ - رسم نمودار هزینه کل.

۴-۶ يك كتابفروشی، میزان نیاز به يك كتاب خاص را ۶۰۰ عدد در سال برآورد نموده است. هزینه سفارش در هر مرتبه ۱۶۰۰ ریال و هزینه نگهداری كتاب در سال ۳۶٪ بهای آن می باشد. اگر میزان تخفیفات اعطائی در مقابل حجم سفارشات به صورت زیر باشد.

تعداد سفارش	قیمت هر عدد
۱-۲۹	۷۵۰ ریال
۵۰-۹۹	۷۳۵ ریال
۱۰۰ به بالا	۷۰۰ ریال

- ۱- تعیین میزان اقتصادی سفارش برای این كتاب را تعیین کنید.
- ۲- نمودار هزینه کل (هزینه سفارش، هزینه نگهداری و هزینه خرید کالا) را رسم کنید.
- ۳- اگر زمانی که سفارش در راه است ۵ ماه فرض شود، نقطه سفارش را به دست آورید.

۵-۶ يك شرکت فروشنده دستگاههای دزدگیر سالانه ۲۰۰۰۰ دستگاه از قرار هردستگاه ۱۲۰۰۰۰ ریال فروش دارد. هزینه نگهداری هردستگاه دزدگیر در سال ۱۰ درصد قیمت آن و هزینه سفارش در هر مرتبه ۶۰۰۰ ریال می باشد. این شرکت رقبای زیادی داشته و هزینه ناشی از نداشتن يك دستگاه دزدگیر در انبار به جهت از دست دادن مشتری ۳۰۰۰۰ ریال می باشد. مطلوبست:

- الف - نقطه سفارش.
- ب - حداکثر میزان موجودی انبار.
- ج - هزینه محل انبار در سال.



برنامه ریزی در سیستمهای تولید پیوسته- برنامه ریزی کلی

برنامه ریزی در سیستمهای عملیاتی در سه سطح مختلف صورت می گیرد. برنامه ریزی بلند مدت (شامل تصمیمات استراتژیک مانند تولید کالای جدید، احداث واحد جدید و...) و برنامه ریزی کوتاه مدت (شامل برنامه زمانبندی انجام کارها). بین دو نوع برنامه ریزی فوق برنامه ریزی دیگری تحت عنوان برنامه ریزی کلی وجود دارد. برنامه ریزی کلی شامل يك برنامه جامع برای جوابگویی به تقاضای پیش بینی شده با استفاده از امکانات سازمان می باشد. برنامه ریزی کلی را می توان يك برخورد کلان در تهیه يك برنامه تولید دانست. با استفاده از این برنامه مدیران رده های بالا بدون وارد شدن به جزئیات برنامه زمانبندی روزانه، می توانند تصمیماتی درخصوص نحوه استفاده از منابع اتخاذ کنند. برنامه ریزی کلی نحوه تنظیم سیاستهای کلی سازمان در بکارگیری ظرفیت سیستم عملیاتی و برآورد تقاضا به اقتصادی ترین روش در طول يك دوره معین را روشن می سازد. برنامه ریزی کلی ارتباط نزدیک و تنگاتنگی با دیگر وظایف سازمان مانند بودجه بندی، سازماندهی و بازاریابی دارد. بنابراین در تهیه برنامه ریزی کلی هماهنگی و همکاری دیگر واحدهای سازمان ضروری است.

1. Aggregate Planning

چارچوب برنامه‌ریزی کلی

معمولاً برنامه‌ریزی طی مراحل مختلفی در يك سازمان انجام می‌گیرد. از يكسو برنامه به صورت كاملاً کلی مطرح می‌شود. در این مرحله كل ظرفیت تولیدی مؤسسه بدون توجه به تولید كالای خصوصی مورد نظر قرار می‌گیرد. برای مثال مدیر يك كارخانه تولید كننده لبنیات، ظرفیت تولیدی خود را بر مبنای مقدار كيلو گرم لبنیات بدون اینکه این لبنیات را به كالاهاي مختلف نظیر شیر، کره، ماست، پنیر، خامه و... تقسیم کند، برنامه‌ریزی می‌کند. پس از این مرحله برنامه جزئی‌تری که تعیین‌کننده میزان تولید كالای بخصوص است انجام می‌گیرد. این برنامه مفصلتر از برنامه اولیه می‌باشد. برنامه‌ریزی کلی برنامه‌ریزی مرحله اول می‌باشد.

برنامه‌ریزی کلی از جهات مختلف برای مدیر عملیاتی واجد اهمیت است. اولاً منابع و امکانات محدودند. بنابراین مدیر باید از این امکانات محدود به طریقی استفاده کند که بهترین نتیجه حاصل شود. ارزشیابی کامل عملیات بدون در نظر گرفتن بازدهی کلی میسر نمی‌شود. ثانیاً بازدهی کلی اغلب مؤسسات ثابت نیست و ممکن است هفته به هفته، ماه به ماه و یا سال به سال تغییر کند. مدیر عملیاتی می‌تواند با استفاده از برنامه‌ریزی کلی این تغییرات را تحت کنترل در آورد و هزینه این تغییرات را به حداقل رساند. ثالثاً با برنامه‌ریزی کلی می‌توان هماهنگیهای لازم را در يك سازمان برقرار کرد که این هماهنگی نتایج اقتصادی مهمی در بر دارد. به عنوان مثال بدون يك چنین هماهنگی ممکن است واحد «الف» در يك سازمان، عده‌ای از كاركنان خود را با خرید يا اخراج کند در حالی که واحد «ب» در همان زمان نیاز به استخدام كاركنان جدید داشته باشد. در برنامه‌ریزی کلی، گردیدن واحد اندازه‌گیری مشترکی برای سنجش بازدهی و مشخص کردن امکانات مورد نظر، الزامی است. البته این امر مشکلی برای سازمانهای تك محصولی به وجود نمی‌آورد، لکن اغلب سازمانها، دارای چندین نوع تولید متفاوت می‌باشند و انتخاب يك واحد مشترك مشکلاتی را در بر دارد. به عنوان مثال يك كارخانه فولاد ممکن است واحد «تن» و يك كارخانه رنگسازی واحد «گالن» را برای اندازه‌گیری میزان تولید خود انتخاب کنند، اما يك كارخانه تولید كننده وسایل خانگی که كالاهاي نظیر اطو برقی، جارو برقی، آبمیوه‌گیری و غیره را تولید می‌کند چه واحدی را باید برگزیند؟ در مورد سازمانهایی که به جای تولید کالا، خدمات ارائه می‌دهند این امر چگونه خواهد بود؟ در چنین حالاتی باید کوشید تا واحدی که بین تمامی تولیدات یا خدمات يك سازمان مشترك هستند انتخاب شود. مثلاً در مورد مؤسسات خدماتی مانند مؤسسات حمل و نقل و یا مؤسسات درمانی می‌توان واحد

مسافر/مسافت و تعداد بیمار را به ترتیب به عنوان واحد مشترك پذیرفت، یا درمورد مؤسسه تولیدکننده لوازم خانگی، می‌توان ماده اولیه مورد مصرف در تولید تمامی محصولات را به عنوان واحد مشترك انتخاب کرد. بدین ترتیب هر سازمان باید نهایت دقت خود را در تعیین يك واحد مناسب برای اندازه‌گیری تولیدات یا خدمات خود به کار برد.

اهداف برنامه‌ریزی کلی

اصولاً برنامه‌ریزی کلی برای تحقق يك سلسله هدفهای خاص صورت می‌گیرد. ابتدا میزان تقاضای محصول برای دوره معینی برآورد می‌شود و آنگاه برنامه تولید با توجه به محدودیتهای منابع، ابزار و وسایل تولیدی انجام می‌گیرد به طوری که اولاً این برنامه تولید بتواند جوابگوی تقاضای بازار محصول باشد و ثانیاً کمترین هزینه را در بر داشته باشد. اهداف دیگری مسانند حفظ نیروی انسانی به طور ثابت نیز ممکن است در این برنامه‌ریزی منظور شود.

تشخیص و تعیین منابع

بازدهی با استفاده از کدام يك از منابع اصلی باید صورت گیرد؟ آیا می‌توان بعضی از این منابع را تغییر داد و جابه‌جا کرد؟ چون ظرفیت کلی تولید تا اندازه زیادی ثابت می‌باشد برنامه تولید در کوتاه مدت با محدودیتهایی مواجه است اما بعضی از متغیرها (مانند نیروی کار و یا انبار محصولات ساخته شده) را می‌توان در کوتاه مدت تغییر داد. حتی ظرفیت تولیدی را در بعضی مواقع به طور موقت می‌توان با اجاره کردن مکان و وسایل تولیدی افزایش داد. پس بنابراین وظیفه مسدیر تولید نه تنها تغییر منابع تولیدی است بلکه تشخیص آن دسته از منابعی است که بتوان با تغییر آنها میزان بازدهی را تغییر داد و کنترل کرد. این دسته‌بندی منابع، متغیرهای تصمیم‌گیری برای بازدهی کلی را مشخص می‌کند. از ترکیب این متغیرها، شقوق مختلف برنامه‌ریزی حاصل می‌شود.

انتخاب دوره زمانی برنامه

معمولاً برنامه‌ریزی کلی برای مسدت شش ماه تا يك سال صورت می‌گیرد. ولی همان طور که در قسمتهای بعد خواهیم دید این برنامه در عمل به صورت هفتگی و یا ماهیانه پیاده می‌شود، در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که اگر برنامه عملاً برای کوتاه مدت (هفتگی و یا ماهیانه) اجرا می‌شود پس چرا برنامه‌ریزی برای دوره‌های بلند مدت (شش ماه و یا يك سال) انجام می‌گیرد. در جواب باید گفت که فعالیت‌های هفته به هفته و یا ماه به ماه

مؤسسه تولیدی مستقل از یکدیگر نیستند و در حقیقت در ارتباط زیاد با یکدیگرند، زیرا تصمیمات و عملکرد مدیریت در يك ماه، تعیین کننده تصمیمها و سیاستهای مدیریت در ماه آینده خواهد بود.

اگر تصمیمهای مؤسسه برای هر ماه مستقل از ماههای دیگر گرفته شود: اولاً برنامه تولید با هزینه گزافی روبهرو می شود و ثانیاً این برنامه در عمل دچار مشکلات فراوانی خواهد شد. مدیریت همیشه باید آثار تصمیمهای فعلی خود را در آینده، مد نظر داشته باشد. برای روشن شدن موضوع به مثال زیر توجه کنید.

مثال:

شما به عنوان مدیر يك کارخانه تولید کننده یخچال تصمیم دارید برنامه تولید ماه اردیبهشت را طراحی کنید. در آخر ماه فروردین ۱۰۰ دستگاه یخچال در انبار موجود است ۲۰ نفر به عنوان مونتاژکار با حقوق ۸۰۰۰۰ ریال در ماه در استخدام شما هستند و به طور متوسط هر مونتاژکار می تواند ۱۰ دستگاه یخچال را در ماه مونتاژ کند. هم اکنون متوجه شده اید که تقاضا برای یخچال در اردیبهشت برابر ۲۰۰ دستگاه می باشد. از آنجا که ۱۰۰ دستگاه یخچال در انبار موجود است تصمیم می گیرید که درست معادل ۱۰۰ دستگاه یخچال دیگر مونتاژ شود تا بتوانید تقاضای اردیبهشت ماه را پاسخ دهید و چون برای ساخت ۱۰۰ دستگاه یخچال فقط احتیاج به ۱۰ مونتاژکار دارید تصمیم می گیرید که ۱۰ نفر مونتاژکار اضافی را باز خرید کنید. هزینه باز خرید هر مونتاژکار برابر ۴۰۰۰۰ ریال می باشد. يك ماه بعد با تصمیم مشابهی مواجه می شوید تقاضای یخچال برای خرداد ماه ۳۰۰ دستگاه برآورد می شود و چون یخچالی در انبار ندارید باید تمامی ۳۰۰ دستگاه را در خرداد ماه تولید کنید. برای تولید این میزان یخچال باید ۲۰ نفر مونتاژکار دیگر در خرداد ماه استخدام کنید تا این ۲۰ نفر با ۱۰ نفر مونتاژکار قبلی مؤسسه بتوانند ۳۰۰ دستگاه یخچال را مونتاژ کنند. هزینه استخدام و آموزش هر مونتاژکار برابر ۳۰۰۰۰ ریال می باشد. مثال بالا برنامه ریزی يك ماهه را به صورت برنامه مستقل از ماههای دیگر نشان می دهد. هزینه های این نوع برنامه ریزی در جدول (۷-۱) نشان داده شده است.

اکنون برنامه ریزی کلی را دو ماهه انجام دهید. در آخر فروردین متوجه می شوید که تقاضا برای اردیبهشت ماه ۲۰۰ دستگاه و برای خرداد ماه ۳۰۰ دستگاه یخچال می باشد. بدین ترتیب می توانید برنامه تولید برای ماههای اردیبهشت و خرداد را طراحی کنید (جدول ۷-۲). این برنامه تمامی ۲۰ نفر مونتاژکار موجود را در اختیار می گیرد و از هزینه های باز خرید و استخدام برنامه اول جلوگیری می کند. این صرفه جویی با توجه

برنامه ریزی کلی □ ۲۶۱

به آینده نگری دوماهه امکان پذیر می باشد. اکنون هزینه تولید در اردیبهشت را برای هر دو نوع برنامه مقایسه می کنیم. در برنامه دوم هزینه تولید در اردیبهشت، بیشتر از برنامه اول است لکن هزینه کل تولید برای اردیبهشت و خرداد در برنامه دوم کاهش یافته است.

منابع و هزینه ها	اردیبهشت	خرداد	جمع
تعداد کارکنان	۱۰	۳۰	۴۰
میزان تولید	۱۰۰	۳۰۰	۴۰۰
هزینه دستمزد	$۱۰ \times ۸۰۰۰۰ = ۸۰۰۰۰۰$	$۳۰ \times ۸۰۰۰۰ = ۲۴۰۰۰۰۰$	۳۲۰۰۰۰۰
هزینه بازخرید	$۱۰ \times ۴۰۰۰۰ = ۴۰۰۰۰۰$	-	۴۰۰۰۰۰
هزینه استخدام	-	$۲۰ \times ۳۰۰۰۰ = ۶۰۰۰۰۰$	۶۰۰۰۰۰
هزینه کل	۱۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۴۲۰۰۰۰۰

جدول شماره ۱-۷

هزینه کل برنامه ریزی يك ماهه

منابع مورد نیاز و هزینه ها	اردیبهشت	خرداد	جمع
تعداد کارکنان	۲۰	۲۰	۴۰
میزان تولید	۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰
هزینه دستمزد	$۲۰ \times ۸۰۰۰۰ = ۱۶۰۰۰۰۰$	$۲۰ \times ۸۰۰۰۰ = ۱۶۰۰۰۰۰$	۳۲۰۰۰۰۰
هزینه بازخرید	-	-	-
هزینه استخدام	-	-	-
هزینه کل	۱۶۰۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰۰

جدول شماره ۲-۷

هزینه کل برنامه ریزی دوماهه

همان‌طور که مشاهده می‌کنید انتخاب دوره زمانی مناسب برای برنامه‌ریزی کلی بسیار مهم است. برنامه‌ریزی کلی نباید براساس حداقل هزینه در یک دوره بخصوص صورت گیرد. چون انتخاب سیاست حداقل هزینه در کوتاه مدت معمولاً «برنامه مطلوب» در بلندمدت نخواهد بود.

دیدیم که انتخاب دوره زمانی کوتاه مناسب نیست. آیا می‌توان دوره زمانی بسیار بلند انتخاب کرد؟ با افزایش طول دوره زمانی برنامه‌ریزی، شقوق مختلف برنامه افزایش می‌یابد و پس از ارزیابی تمامی شقوق می‌توان برنامه مطلوب را انتخاب کرد. اما از طرف دیگر هر قدر طول دوره زمانی برنامه زیادتر باشد از دقت پیش‌بینی تقاضای محصول کاسته می‌شود و معمولاً برنامه‌ای که براساس پیش‌بینی دقیقی نباشد ارزش چندانی ندارد.

پیش‌بینی تقاضای کلی

نتایج برنامه‌ریزی کلی بستگی زیادی به تواناییهای پیش‌بینی یک مؤسسه دارد. در فصل ۵ مدل‌های مختلف پیش‌بینی تقاضای هر محصول بشنایی برای یک دوره معین مورد بحث قرار گرفت. پیش‌بینی تقاضای محصولات مختلف یک مؤسسه را همان‌طور که قبلاً بحث شد می‌توان به یک واحد مشترک تبدیل کرد و آن تقاضای کلی می‌باشد. پیش‌بینی تقاضای کلی اساس برنامه‌ریزی کلی قرار می‌گیرد. مشکلات برنامه‌ریزی معمولاً به علت نوسانهای بازار تقاضای محصولات پدید می‌آید. اگر تقاضای بازار نوسان نداشته و ثابت باشد، مشکلات برنامه‌ریزی کلی به مقدار زیادی کاهش می‌یابد.

روشهای مختلف برنامه‌ریزی کلی

یکی از روشهای برنامه‌ریزی کلی که مورد استفاده فراوان دارد روش ترسیمی است. در این روش هدف یافتن برنامه‌ایست که بتواند جوابگوی تقاضای مورد انتظار محصول با حداقل هزینه تولید در طول یک دوره معین باشد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.

مثال:

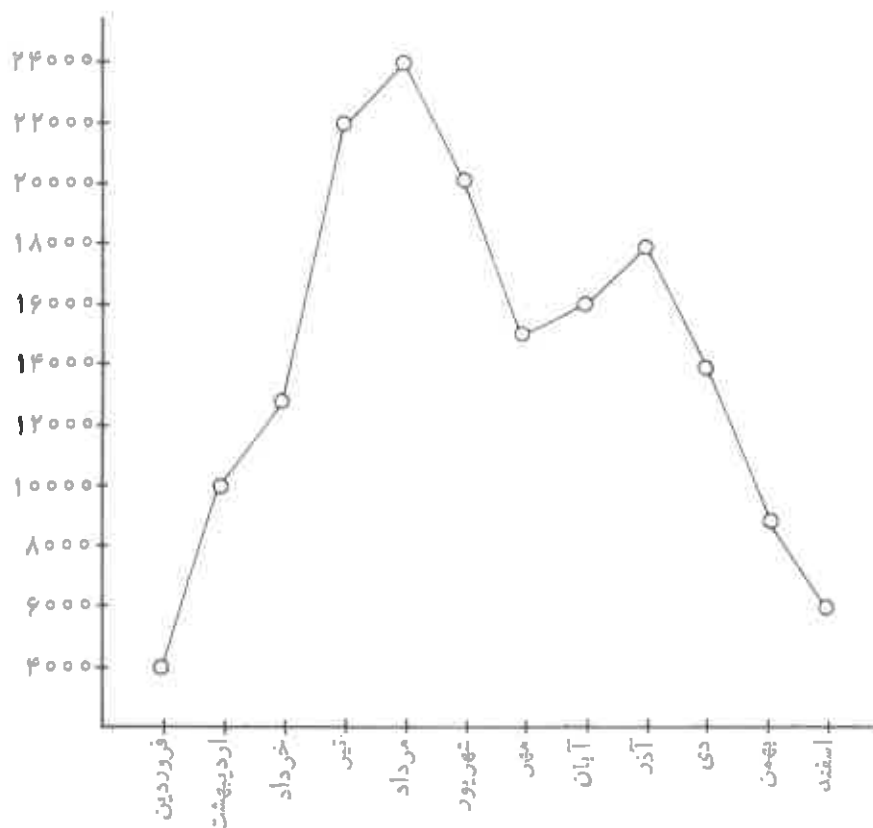
پیش‌بینی تقاضای محصول در یک کارخانه تولیدکننده چادر و انت افزایش زیادی را در بهار و یک افزایش جزئی را در پائیز نشان می‌دهد. همچنین پایینترین حد تقاضا در ماههای زمستان می‌باشد. هر کارگر به‌طور متوسط می‌تواند ۱۰ چادر در روز تولید کند. میزان تقاضا و روزهایی کاری در هر ماه در جدول (۳-۷) نشان داده شده است.

ماه	روزهای کاری	میزان تقاضا
فروردین	۲۲	۴۰۰۰
اردیبهشت	۱۹	۱۰۰۰۰
خرداد	۲۱	۱۳۰۰۰
تیر	۲۲	۲۲۰۰۰
مرداد	۲۱	۲۴۰۰۰
شهریور	۲۱	۲۰۰۰۰
مهر	۲۲	۱۵۰۰۰
آبان	۱۱	۱۶۰۰۰
آذر	۲۱	۱۸۰۰۰
دی	۲۲	۱۴۰۰۰
بهمن	۱۸	۹۰۰۰
اسفند	۲۱	۶۰۰۰

جدول شماره ۷-۳

پیش بینی میزان تقاضا و روزهای کاری سال آینده.
می توان منحنی تقاضای چسادر وانت را به صورت شکل (۷-۱) نشان داد.

اولین قدم در تجزیه و تحلیل این مسأله، مطالعه دقیق امکانات تولیدی است. در اولین نظر متوجه می شویم که مرداد ماه با تقاضای ۲۴۰۰۰ واحد بیشترین میزان تقاضا را به خود اختصاص داده است. همچنین تعداد واقعی روزهای کاری نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. مثلاً ممکن است به لحاظ تعمیرات سالبانه ماشین آلات در آبان ماه فقط ۱۱ روز کاری موجود باشد. اگر برنامه تولید هر ماه براساس تقاضای همان ماه تنظیم شود، نوسانهای قابل توجهی در تولید پیش خواهد آمد. این نوسانات در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. در این شکل برنامه تولید براساس هر روز کاری تعیین شده است اگر تولید هر ماه براساس تقاضای همان ماه انجام گیرد مؤسسه فقط می تواند تقاضای آن ماه را جواب دهد. اما از طرف دیگر نوسانهای تولید از يك ماه به ماه دیگر بسیار زیاد است و هزینه گزافی در بر دارد. حال استراتژی هایی را که برای جوابگویی به تقاضای ماهیانه می توان انتخاب کرد مورد

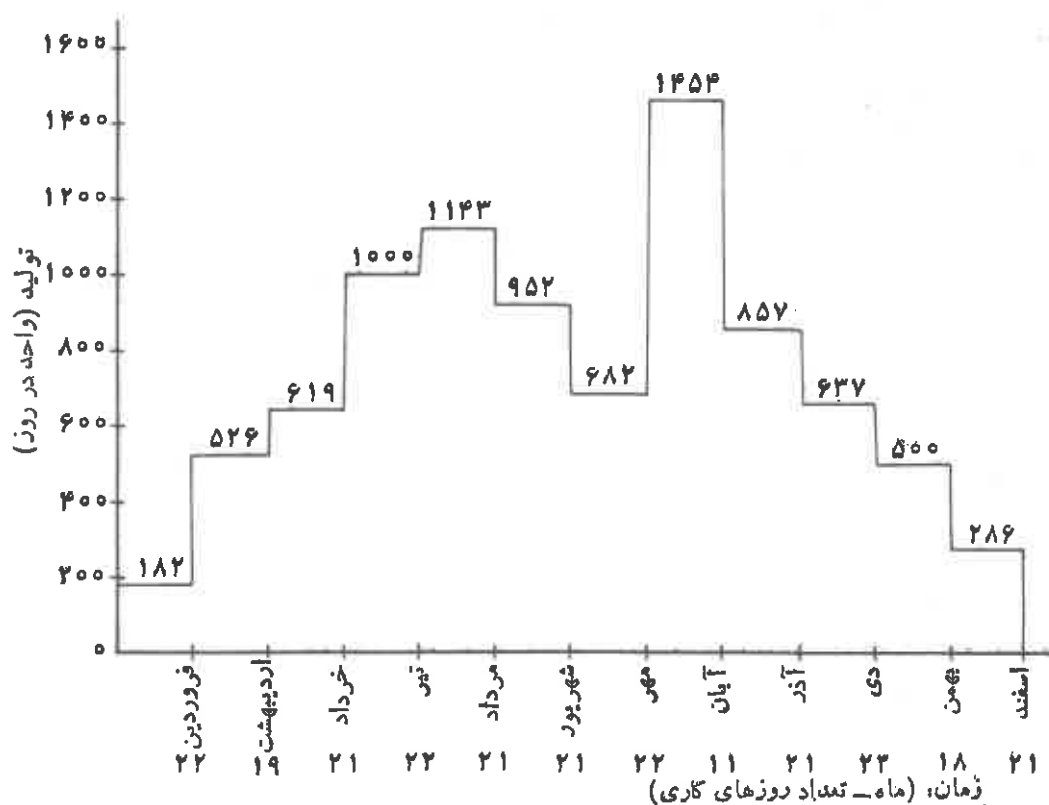


شکل ۷-۱

منحنی پیش‌بینی تقاضای سال آینده

مطالعه قرار می‌دهیم، برای کنترل نوسانهای تقاضا از متغیرهای مختلفی می‌توان استفاده کرد. در مؤسسات تولیدی معمولاً از متغیرهای میزان نیروی کار، انبار کالای ساخته شده و ساعات کاری استفاده می‌کنند. هر کدام از این سه متغیر را می‌توان بدون توجه به دیگری برای پاسخگویی بد نوسانهای تقاضای بازار به کار برد و آن را استراتژی مؤسسه قرار داد. اما معمولاً مجموعه‌ای از این متغیرها است که برنامه‌ریزی کلی یک شرکت را تشکیل می‌دهد. مؤسسه می‌تواند علاوه بر سه متغیر داخلی از منابع خارجی، مانند استفاده از پیمانکار (کنترات دادن تولید)، اجاره کردن ماشین آلات و منابع خارجی دیگر استفاده کند. حال بد توصیف هر یک از این استراتژیها می‌پردازیم.

۲۶۵ □ برنامه ریزی کلی



شکل ۳-۷

منحنی برنامه تولید
(تولید هر ماه برابر تقاضای همان ماه می باشد)

استراتژی ۱ - تغییر نیروی انسانی

معمولاً مدیریت، بازده تولیدی نیروی کار خود را از آمار سالهای گذشته تخمین می زند و از آنجا تعداد نیروی لازم برای پاسخگویی به تقاضای آینده را محاسبه می کند. اگر میزان بازدهی مورد تقاضا کاهش یابد، نیروی انسانی را می توان بازخرید و یا اخراج نمود. اگر تقاضای ماهیانه افزایش یابد، نیروی کار نیز افزایش خواهد یافت. در مثال ۱ متوسط بازدهی هر کارگر ۱۵ چادر در روز می باشد بنابراین تعداد ۱۸ نفر برای فروردین، ۵۳ نفر برای اردیبهشت، ۶۲ نفر برای خرداد و... لازم است.

افزایش نیروی انسانی هزینه آموزش کارکنان جدید را در بر داشته و همچنین کاهش نیروی انسانی علاوه بر هزینه بازخرید، هزینه های غیرهستیم می به دنبال خواهد داشت که قابل

اندازه‌گیری نیستند، مثلاً زمانی که در اثر اعتصاب‌های احتمالی به وجود می‌آید، از طرف دیگر ممکن است نیروی کار در زمان خواسته شده مهیا نشود. چون در بعضی از مشاغل زمان زیادی برای آموزش کارکنان جدید لازم است که این زمان باید در برنامه‌ریزی منظور شود.

استراتژی ۲- تغییر ساعت کاری

فرض کنید تعداد ۷۰ نفر به‌طور دائم برای تولید چادر مثال ۱ در استخدام داشته باشیم. این تعداد نیروی کاری به‌طور متوسط می‌توانند ۷۰۰ چادر در روز تولید کنند. با توجه به جدول تقاضا، برنامه تولید برای ماههای فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر، دی، بهمن و اسفند درست به مقدار تقاضا خواهد بود و چون نیروی کار موجود توانایی تولید بیشتر از مقدار تقاضا در ماههای فوق را دارد بنابراین مقداری از نیروی کاری بدون استفاده و بیکار می‌ماند. در طول ماههای تیر، مرداد، شهریور، آبان و آذر علاوه بر نیروی کار موجود اضافه کاری نیز باید انجام گیرد تا بتوان تقاضای ماههای فوق را جواب داد. بنابراین با انتخاب استراتژی «تغییر ساعات کاری» از نیروی کار در بعضی مواقع کمتر از مقدار موجود و در بعضی مواقع دیگر بیشتر از مقدار موجود استفاده می‌شود.

در این استراتژی هزینه‌های استخدام و بازخرید وجود ندارد و این یکی از بزرگترین مزایای آن است. البته هزینه‌هایی در رابطه با تغییر ساعات کاری وجود دارد مثلاً نرخ اضافه کاری معمولاً حدود ۴۰ درصد بیشتر از نرخ ساعات کار معمولی است. کاهش ساعات کاری بدو طریق ممکن است صورت گیرد. یکی آنکه نیروی انسانی مدتی از ساعات روز را بیکار باشد و حقوق و مزایای خود را دریافت کند و نوع دیگر آنکه تعدادی از روزهای هفته را کار کند و حقوق و مزایای همان روزهای کاری را بگیرد. کاهش ساعات کاری دارای معایبی نیز هست. به عنوان مثال اگر نیروی انسانی بیکار باشد و حقوق ساعات بیکاری را دریافت کند در نتیجه هزینه تمام شده کالا بالا می‌رود و همچنین عدم پرداخت دستمزد در ساعات بیکاری منجر به خدشه دار شدن شهرت و اعتبار مؤسسه در استخدام‌های بعدی می‌شود.

استراتژی ۳- افزایش یا کاهش موجودی انبار

می‌توان با انبار کردن کالای ساخته شده در مواقع لزوم به تغییرات تقاضا پاسخ داد. در این استراتژی ساعات کاری، تعداد کارکنان و میزان تولید تقریباً ثابت است، تولید ثابت ممکن است در زمانی که تقاضا به اندازه کافی نباشد در انبار ذخیره شود تا بتواند در زمان

افزایش تقاضا پاسخگو باشد.

در شکل (۷-۲) کل تقاضا در سال برابر ۱۷۱۰۰۰ عدد چادر است و ۲۴۱ روزکاری برای تولید این تعداد چادر در سال وجود دارد بنابراین برای پاسخ به این نیاز باید به‌طور متوسط روزانه ۷۱۰ چادر تولید شود. این امر با به‌کارگیری ۷۱ کارگر در ساعات معمولی کار امکان‌پذیر خواهد بود (هر کارگر به‌طور متوسط ۱۰ چادر در روز تولید می‌کند). با استفاده از استراتژی ۳ می‌توانیم سطح موجودی انبار و نوسانهای آن را در طول سال تعیین کنیم در جدول (۷-۳) و شکل (۷-۳) این کار انجام شده است. در سه ماهه اول سال با توجه به فزونی تولید نسبت به تقاضا، مقداری از کالای ساخته شده در انبار ذخیره خواهد شد. در ماه تیر تقاضا بیشتر از ظرفیت تولید است و بنابراین قسمتی از این تقاضا باید از ذخیره انبار تأمین شود. به همین ترتیب در مردادماه نیز برای پاسخگویی به تقاضا باید از ذخیره انبار استفاده کرد. در ماه شهریور تولید به اضافه موجودی انبار پاسخگوی تقاضا نیست در نتیجه مقداری سفارش عقب افتاده خواهیم داشت که این کمبود تا ماه آذر به حداکثر خود یعنی ۱۴۲۰۰ چادر خواهد رسید. در ماه دی و بهمن پیش‌بینی تقاضا کمتر از ظرفیت تولید است و بنابراین مقداری از کمبودهای ماههای قبل جبران خواهد شد و بالاخره تولید در اسفند یعنی پایان دوره برنامه‌ریزی به اندازه‌ایست که نه تنها پاسخگوی تقاضا است بلکه سطح موجودی انبار را به ۱۱۰ واحد نیز می‌رساند.

مزایای استراتژی ۳ عبارتست از وجود نیروی انسانی ثابت و نداشتن بیکاری و هزینه اضافه‌کاری. از معایب این استراتژی می‌توان به هزینه انبارداری، هزینه راکد ماندن سرمایه ناشی از ذخیره موجودی در برخی از ایام سال، هزینه فاسد شدن یا آسیب دیدگی کالا و هزینه خدمات انبار اشاره کرد. همچنین در صورتی که موجودی انبار نتواند پاسخگوی تقاضا باشد هزینه ازدست دادن مشتری نیز وجود دارد. حال که استراتژیهای مختلف برای برنامه‌ریزی کلی بیان شده، به توصیف روش ترسیمی و کاربرد این استراتژیها در آن می‌پردازیم.

روش ترسیمی در برنامه‌ریزی کلی^۱

به‌طور کلی در رابطه با استراتژیهای مختلف برنامه‌ریزی کلی باید گفت که معمولاً یک استراتژی بخصوص در واحد تولیدی طراحی نمی‌شود بلکه مجموعه‌ای از این سیاستهاست که برنامه‌ریزی کلی یک شرکت را تشکیل می‌دهد. از طرفی به هیچ عنوان نمی‌توان استراتژی بخصوصی را بر سایر استراتژیها ارجح دانست. انتخاب و ارجحیت

1. Graphical method

ماه	روزهای کاری	تولید ماهانه (به واحد)	پیش بینی تقاضا (به واحد)	مقداری که هر ماه به موجودی انبار اضافه یا کسر می شود (به واحد)	سطح موجودی انبار در هر ماه (به واحد)
فروردین	۲۲	۱۵۶۲۰	۲۰۰۰۰	۱۱۶۲۰	۱۱۶۲۰
اردیبهشت	۱۹	۱۳۴۹۰	۱۰۰۰۰۰	۳۴۹۰	۱۵۱۱۰
خرداد	۲۱	۱۲۹۱۰	۱۳۰۰۰۰	۱۹۱۰	۱۷۰۴۰
تیر	۲۲	۱۵۶۲۰	۲۲۰۰۰۰	(۶۳۸۰)	۱۰۶۴۰
مرداد	۲۱	۱۲۹۱۰	۲۴۰۰۰۰	(۹۰۹۰)	۱۵۵۰
شهریور	۲۱	۱۲۹۱۰	۲۰۰۰۰۰	(۵۰۹۰)	(۳۵۴۰)
مهر	۲۲	۱۵۶۲۰	۱۵۰۰۰۰	۶۲۰	(۲۹۲۰)
آبان	۱۱	۷۸۱۰	۱۶۰۰۰۰	(۸۱۹۰)	(۱۱۱۱۰)
آذر	۲۱	۱۲۹۱۰	۱۸۰۰۰۰	(۳۰۹۰)	(۱۴۲۰۰)
دی	۲۲	۱۵۶۲۰	۱۴۰۰۰۰	۱۶۲۰	(۱۲۵۸۰)
بهمن	۱۸	۱۲۷۸۰	۹۰۰۰۰	۳۷۸۰	(۸۸۰۰)
اسفند	۲۱	۱۲۹۱۰	۶۰۰۰۰	۸۹۱۰	۱۱۰

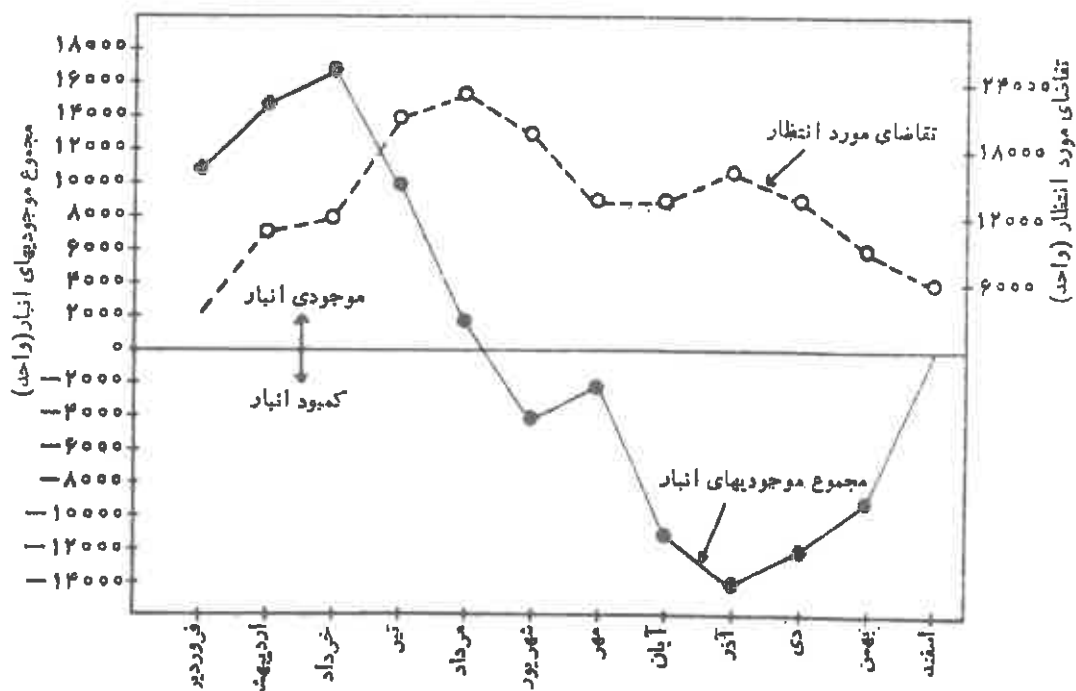
جدول شماره ۳-۷

برنامه تولید برای استراتژی ۳

هر يك از استراتژیهای فوق منوط به شرایط اجتماعی و اقتصادی و سیاسی می باشد. یکی از روشهای ارزیابی این استراتژیها، روش ترسیمی است این روش بسیار ساده است و محاسبات زیادی را در بر ندارد. برای به کارگیری روش فوق مراحل زیر باید طی شود:

۱- بر محور مختصات، مجموع روزهای کاری برای تمامی دوره را روی محور افقی و مجموع واحدهای تولید را روی محور عمودی نشان دهید، آنگاه منحنی مجموع پیش بینی تقاضا برای این دوره را رسم کنید.

۲- يك استراتژی برای برنامه ریزی برگزینید و مقدار تولید در هر دوره را به دست



شکل ۳-۲

تقاضای مورد انتظار و سطح موجودی انبار برای استراتژی ۳

آوردید. سپس مجموع تولید با این برنامه را پس از محاسبه بر محور مختصات قبلی رسم کنید.

۳- منحنی پیش‌بینی تقاضا و منحنی مجموع تولید را با هم مقایسه کنید. این مقایسه مشخص می‌کند که موجودی انبار در چه مواقعی بیشتر از مقدار مورد نیاز و در چه مواقعی کمتر از مقدار مورد نیاز می‌باشد. بدین عبارت دیگر برنامه انتخابی را ارزیابی می‌کند.

۴- هزینه این برنامه را محاسبه کنید.

۵- برنامه را بازنگری کرده، سعی کنید که با تکرار مراحل ۲ الی ۴ از طریق انتخاب استراتژی مناسب هزینه برنامه را کاهش دهید تا برنامه مطلوب به دست آید.

برای روشن شدن مطلب بد نیست مراحل ۱ الی ۴ را برای سه برنامه مختلف در مورد مثال چادر وانت انجام دهیم. ضمناً چون مرحله ۴ احتیاج به اطلاعاتی در مورد هزینه دارد هزینه‌های مربوط را در زیر ذکر می‌کنیم:

هزینه نگهداری هر چادر وانت در انبار در هر ماه معادل ۵۰ ریال می‌باشد. هزینه انبارداری بر اساس متوسط موجودی انبار محاسبه می‌شود. در صورت افزایش سطح تولید هزینه‌های استخدام و آموزش به وجود می‌آید و همچنین در صورت کاهش سطح تولید، هزینه‌های بازخرید نیروی کاری و بیکاری پدید می‌آید. هر قدر میزان تغییر تولید (کاهش یا افزایش) زیادتر باشد هزینه‌ها نیز به تبع آن زیادتر خواهند بود. جدول (۷-۴) هزینه‌های مربوط به تغییر میزان تولید در سطوح مختلف را نشان می‌دهد.

هنگامی که مقدار تولید روزانه انتخاب شد این مقدار در تمام روزهای آن ماه ثابت فرض می‌شود اما سطح تولید از یک ماه به ماه دیگر قابل تغییر است. همچنین هزینه‌های سفرهای عقب افتاده و هزینه ازدست دادن مشتری آنقدر زیاد است که مدیریت ترجیح می‌دهد با انتخاب یک برنامه مطلوب تمامی تقاضا را برآورد و حتی الامکان این گونه هزینه‌ها را در برنامه تولید خود نداشته باشد.

تغییر در میزان تولید روزانه نسبت به ماه قبل بر حسب واحد (افزایش یا کاهش)	هزینه تغییر در میزان تولید به ریال
۱-۲۰۰	۲۰۰۰۰۰
۲۰۱-۴۰۰	۵۰۰۰۰۰
۴۰۱-۶۰۰	۹۰۰۰۰۰
۶۰۱-۸۰۰	۱۴۰۰۰۰۰

جدول شماره ۷-۴

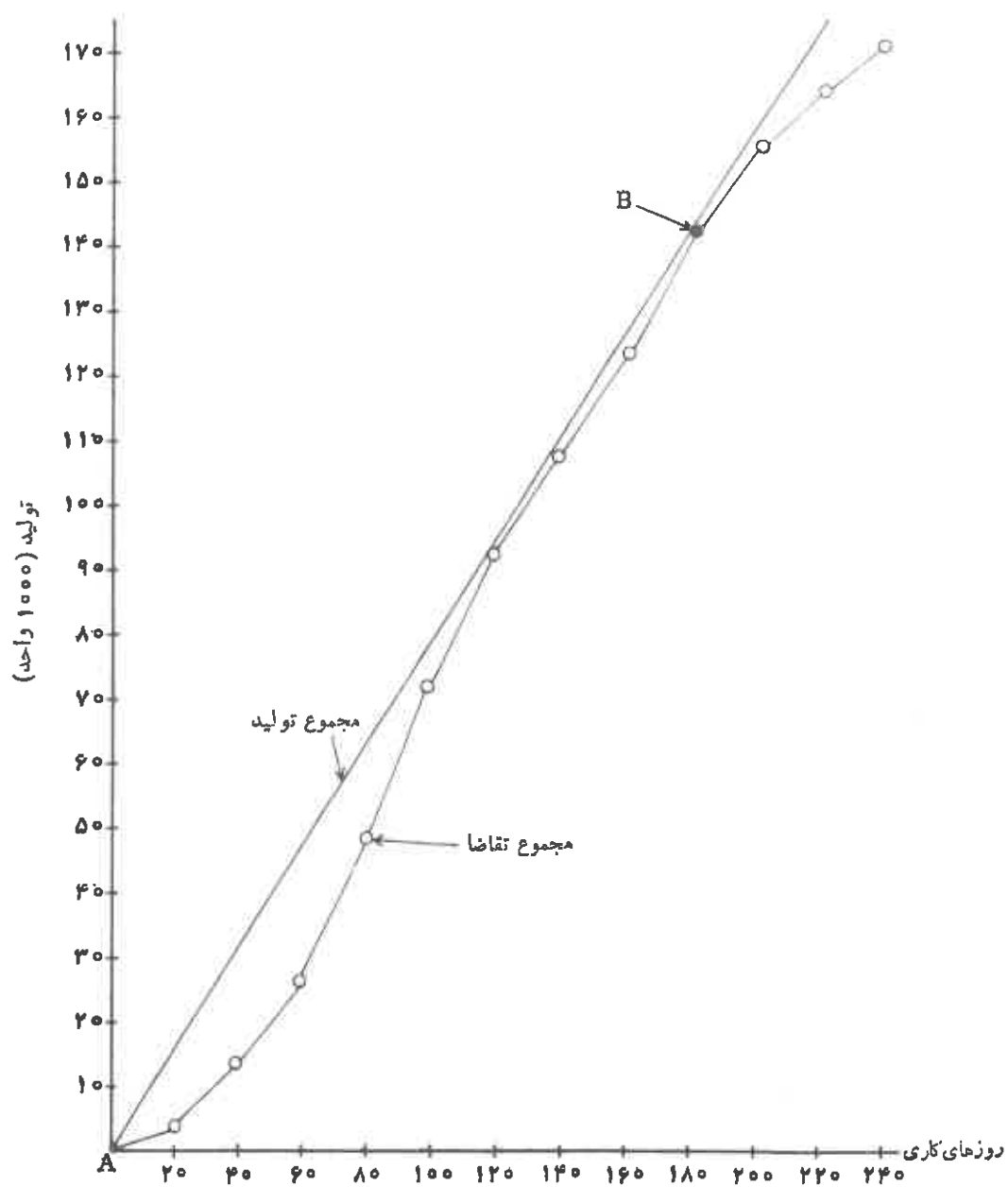
برآورد هزینه تغییرات ماهانه سطح تولید

اولین برنامه - براساس تولید ثابت^۱ (MCP)

اکنون برنامه‌ای را که بتواند با تولید ثابت جوابگوی تقاضای بازار باشد، طراحی می‌کنیم. بر طبق مرحله ۱، منحنی مجموع پیش‌بینی تقاضا در شکل (۷-۴) رسم شده است. برای مرحله ۲ با در نظر گرفتن استراتژی تولید روزانه ثابت (استفاده از موجودی انبار)، منحنی مجموع تولید را رسم می‌کنیم. این منحنی به صورت یک خط مستقیم از مبدأ مختصات رسم می‌شود و شیب آن طوری اختیار می‌شود که منحنی مجموع تولید همواره در بالای منحنی

1. Minimum Constant Production

۲۷۱ □ برنامه‌ریزی کلی



شکل ۴-۷

برنامه‌ریزی کلی تولید و پیش‌بینی تقاضا

مجموع پیش‌بینی تقاضا قرار گیرد. در چنین حالتی می‌توان از هزینه سفرهای عقب‌افتاده و هزینه ازدست دادن مشتری جلوگیری کرد. از طرف دیگر اگر منحنی مجموع تولید بیش از اندازه بالاتر از منحنی مجموع تقاضا باشد هزینه‌های انبارداری افزایش می‌یابد. بنابراین تولید مطلوب آن‌گونه است که از نقطه A (مبدأ مخفضات) شروع و بر نقطه B (بالاترین برآمدگی منحنی مجموع تقاضای موردانتظار) مناس شود. منحنی مجموع تولیدی که به وسیله این خط نمایش داده می‌شود جوابگوی برنامه پیشنهادی می‌باشد. این منحنی را منحنی تولید روزانه ثابت نامند و با MCP نشان می‌دهند. در این برنامه، تولید روزانه ثابت و مجموع تولید از مجموع تقاضا در آخر هر ماه تا نقطه B بیشتر است، در آذر ماه (روز ۱۸۰) مجموع تقاضا برابر مجموع تولید می‌باشد و از آن پس مجموع تولید دوباره برای بقیه ماههای سال بیشتر از تقاضا خواهد بود. بالاترین برآمدگی در روی منحنی مجموع تقاضا را می‌توان با انجام محاسبه ساده‌ای به دست آورد. بدین منظور متوسط تقاضای روزانه برای هر ماه محاسبه می‌شود و از آنجا حداکثر متوسط تقاضا از بین ماههای محاسبه شده، بالاترین برآمدگی منحنی مجموع تقاضا خواهد بود. مثلاً متوسط تقاضا در اردیبهشت برابر است با مجموع تقاضا تا اردیبهشت تقسیم بر مجموع تعداد روزهای کاری تا ماه اردیبهشت یعنی:

$$۱۷۰۰۰ \div ۴۱ = ۴۱۴۶$$

نتایج این محاسبه برای بقیه ماههای سال در جدول (۷-۵) درج شده است. با توجه به جدول (۷-۵)، آذرماه، حداکثر متوسط تقاضای روزانه با ۷۸۸۸۹ عدد در روز را دارد. بدین منظور حداقل ۷۹ نفر باید استخدام شوند یعنی شیب منحنی MCP برابر ۷۹۰ می‌باشد. (بازدهی هر کارگر ۱۰ واحد در روز می‌باشد). توضیح آنکه متوسط تقاضای روزانه در هر ماه همان شیب یا ضریب زاویه منحنی مجموع تقاضا تا آن ماه است.

حال که میزان تولید روزانه را به دست آوردیم، می‌توانیم برنامه تفصیلی تولید هر ماه را تنظیم کنیم این برنامه در جدول (۷-۶) نشان داده شده است. از آنجا که تولید روزانه ۷۹۰ عدد می‌باشد و همچنین هر کارگر قادر است ۱۰ عدد چادر در روز تولید کند پس تعداد ۷۹ نفر برای این برنامه مورد نیاز می‌باشند، همچنین می‌توانیم هزینه تولید توسط این برنامه را محاسبه کنیم. چون میزان تولید روزانه ثابت است و تغییر نمی‌کند، هزینه تغییر سطح تولید وجود ندارد. جدول (۷-۶) متوسط موجودی انبار را که جمعاً معادل ۱۲۰۴۵ عدد در سال می‌باشد نشان می‌دهد. بنابراین هزینه انبارداری معادل ۶۰۲۰۲۵۰ ریال (۵۰ ریال هر واحد محصول در ماه) خواهد بود.

ماه	روزهای کاری	مجموع روزهای کاری	تقاضای ماهانه	مجموع تقاضا	متوسط تقاضای روزانه
فروردین	۲۲	۲۲	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۱۸۱٫۸۲
اردیبهشت	۱۹	۴۱	۱۰۰۰۰	۱۴۰۰۰	۳۲۱٫۴۶
خرداد	۲۱	۶۲	۱۳۰۰۰	۲۷۰۰۰	۴۳۵٫۴۸
تیر	۲۲	۸۴	۲۲۰۰۰	۴۹۰۰۰	۵۸۳٫۳۳
مرداد	۲۱	۱۰۵	۲۴۰۰۰	۷۳۰۰۰	۶۹۵٫۲۴
شهریور	۲۱	۱۲۶	۲۰۰۰۰	۹۳۰۰۰	۷۳۸٫۱۰
مهر	۲۲	۱۴۸	۱۵۰۰۰	۱۰۸۰۰۰	۷۲۹٫۷۳
آبان	۱۱	۱۵۹	۱۶۰۰۰	۱۲۴۰۰۰	۷۷۹٫۸۷
آذر	۲۱	۱۸۰	۱۸۰۰۰	۱۴۲۰۰۰	۷۸۸٫۸۹
دی	۲۲	۲۰۲	۱۴۰۰۰	۱۵۶۰۰۰	۷۷۲٫۲۸
بهمن	۱۸	۲۲۰	۹۰۰۰	۱۶۵۰۰۰	۷۵۰
اسفند	۲۱	۲۴۱	۶۰۰۰	۱۷۱۰۰۰	۷۰۹٫۵۴

جدول شماره ۷-۵

متوسط تقاضای روزانه برای ماههای مختلف

دومین برنامه: برنامه ریزی بر اساس تولید متغیر

یکی دیگر از روشهای جوابگویی به تقاضا، تولید به میزان تقاضا در هر ماه می باشد. در این حالت منحنی مجموع تولید با منحنی مجموع تقاضای مورد انتظار منطبق می شوند. بنابراین برنامه تولید برای ماه فروردین ۴۰۰۰ واحد، اردیبهشت ۱۰۰۰۰ واحد، خرداد ۱۳۰۰۰ واحد و غیره می باشد و چون تعداد روزهای کاری در هر ماه مشخص است، تولید روزانه در هر ماه به راحتی محاسبه می شود. مثلاً در فروردین ۲۲ روز کاری وجود دارد و چون باید ۴۰۰۰ واحد در این ماه تولید شود میزان تولید روزانه برابر خواهد بود با:

$$۴۰۰۰ \div ۲۲ = ۱۸۲$$

ماه	روزهای کاری	تولید روزانه	تولید ماهانه	تقاضای ماهانه	موجودی در ابتدای دوره	مقداری که بهایار اضافه یا کسر می شود	موجودی در آخر دوره	متوسط موجودی (ابتدا + ابتدا) ۲
فروردین	۲۳	۷۹۰	۱۷۲۸۰	۴۰۰۰	۰	۱۳۳۸۰	۱۳۳۸۰	۶۶۹۰
اردیبهشت	۱۴	۷۹۰	۱۵۰۱۰	۱۰۰۰۰	۱۳۳۸۰	۵۰۱۰	۱۸۳۹۰	۱۵۸۸۵
خرداد	۲۱	۷۹۰	۱۶۵۹۰	۱۳۰۰۰	۱۸۳۹۰	۳۵۹۰	۲۱۹۸۰	۲۰۱۸۵
تیر	۲۲	۷۹۰	۱۷۲۸۰	۲۲۰۰۰	۲۱۹۸۰	(۴۶۲۰)	۱۷۲۶۰	۱۹۶۷۰
مرداد	۳۱	۷۹۰	۱۶۵۹۰	۲۴۰۰۰	۱۷۲۶۰	(۷۲۱۰)	۹۹۵۰	۱۳۶۵۵
شهریور	۲۱	۷۹۰	۱۶۵۹۰	۲۰۰۰۰	۹۹۵۰	(۳۲۱۰)	۶۵۴۰	۸۲۲۵
مهر	۲۲	۷۹۰	۱۷۲۸۰	۱۵۰۰۰	۶۵۴۰	۲۳۸۰	۸۹۲۰	۷۷۳۰
آبان	۱۱	۷۹۰	۸۶۹۰	۱۶۰۰۰	۸۹۲۰	(۷۲۱۰)	۱۶۱۰	۵۲۶۵
آذر	۲۱	۷۹۰	۱۶۵۹۰	۱۸۰۰۰	۱۶۱۰	(۱۲۱۰)	۲۵۰	۹۰۵
دی	۲۲	۷۹۰	۱۷۲۸۰	۱۴۰۰۰	۲۵۰	۳۳۸۰	۴۵۸۰	۱۸۹۰
بهمن	۱۸	۷۹۰	۱۴۲۲۰	۹۰۰۰	۴۵۸۰	۵۲۲۰	۸۸۰۰	۶۱۹۰
اسفند	۲۱	۷۹۰	۱۶۵۹۰	۶۰۰۰	۸۸۰۰	۱۰۵۹۰	۱۹۳۹۰	۱۴۰۹۵
					جمع			۱۲۰۴۰۵

جدول شماره ۷-۶

برنامه تولید ماهانه برای تولید روزانه ثابت

ماه	روزهای کاری	تغییر در میزان تولید	تولید روزانه	تولید ماهانه	تقاضای ماهانه	موجودی در ابتدای دوره	مقداری که به انبار اضافه یا کم می شود	موجودی در آخر دوره	متوسط موجودی (ابتدا + ابتدا)
فروردین	۲۲	-	۱۸۲	۴۰۰۴	۴۰۰۰	۰	۴	۴	۲
اردیبهشت	۱۹	+۳۴۵	۵۲۷	۱۰۰۱۳	۱۰۰۰۰	۴	۱۳	۱۷	۱۰۵ر۵
خرداد	۲۱	+۹۲	۶۱۹	۱۲۹۹۹	۱۲۰۰۰	۱۷	(۱)	۱۶	۱۶ر۵
تیر	۲۲	+۳۸۱	۱۰۰۰	۲۲۰۰۰	۲۲۰۰۰	۱۶	۰	۱۶	۱۶
مرداد	۲۱	+۱۴۳	۱۱۴۳	۲۴۰۰۳	۲۴۰۰۰	۱۶	۲	۱۹	۱۷ر۵
شهریور	۲۱	-۱۹۱	۹۵۲	۱۹۹۹۲	۲۰۰۰۰	۱۹	(۸)	۱۱	۱۵
مهر	۲۲	-۲۷۰	۶۸۲	۱۵۰۰۲	۱۵۰۰۰	۱۱	۲	۱۵	۱۳
آبان	۱۱	+۷۷۲	۱۴۵۲	۱۵۹۹۴	۱۶۰۰۰	۱۵	(۶)	۹	۱۲
آذر	۴۱	-۵۹۷	۸۵۷	۱۷۹۹۷	۱۸۰۰۰	۹	(۳)	۶	۷ر۵
دی	۲۲	-۲۲۰	۶۳۷	۱۴۰۱۴	۱۴۰۰۰	۶	۱۴	۲۰	۱۳
بهمن	۱۸	-۱۳۸	۴۹۹	۸۹۸۲	۹۰۰۰	۲۰	(۱۸)	۲	۱۱
اسفند	۲۱	-۲۱۳	۲۸۶	۶۰۰۶	۶۰۰۰	۲	۶	۸	۵
جمع									
۱۳۹۱									

جدول شماره ۷-۷

برنامه تولید ماهانه برای تولید روزانه معتبر

به همین صورت می توان میزان تولید روزانه برای هر ماه را محاسبه کرد. این محاسبه در جدول (۷-۷) نشان داده شده است.

لازم به یادآوری است استراتژی مورد عمل در این برنامه می تواند از استراتژیهای ۱ یا ۲ باشد.

چون در این برنامه، تولید تقریباً با تقاضا برابر است هزینه انبارداری نزدیک صفر خواهد بود از طرفی میزان تولید در هر ماه تغییر می کند، مثلاً تولید در اردیبهشت ۳۴۵ واحد از فروردین بیشتر است بر طبق جدول (۷-۴) هزینه این مقدار تغییر در میزان تولید برابر با ۵۰۰۰۰۰ ریال می باشد. به همین صورت می توان هزینه تغییر در سطح تولید روزانه را محاسبه کرد. این محاسبه در جدول (۷-۸) نشان داده شده است.

ماه	تغییر در میزان تولید روزانه نسبت به ماه قبل	هزینه تغییر
فروردین - اردیبهشت	+۳۴۵	۵۰۰۰۰۰
اردیبهشت - خرداد	+۹۲	۲۰۰۰۰۰
خرداد - تیر	+۳۸۱	۵۰۰۰۰۰
تیر - مرداد	+۱۴۳	۲۰۰۰۰۰
مرداد - شهریور	-۱۹۱	۲۰۰۰۰۰
شهریور - مهر	-۲۷۰	۵۰۰۰۰۰
مهر - آبان	+۷۷۲	۱۲۰۰۰۰۰
آبان - آذر	-۵۹۷	۹۰۰۰۰۰
آذر - دی	-۲۲۰	۵۰۰۰۰۰
دی - بهمن	-۱۳۸	۲۰۰۰۰۰
بهمن - اسفند	-۲۱۳	۵۰۰۰۰۰
جمع		۵۶۰۰۰۰۰

جدول شماره ۷-۸

هزینه تغییر در میزان تولید

سومین برنامه - برنامه‌ریزی ترکیبی

همان‌طور که دیدیم استراتژیهای استفاده از موجودی انبار و تغییر در میزان تولید هر دو هزینه‌های گزافی را در بر دارند. حال اجازه دهید برنامه‌ای تنظیم کنیم که تغییر در سطح تولید را به‌جای هر ماه هر چند وقت یک‌بار انجام دهد. مثلاً برنامه‌ای که در جدول (۷-۹) نشان داده شده است دارای میزان تولید روزانه ثابت ۴۳۶ واحد در روز برای ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد می‌باشد این مقدار به ۱۵۸۱ واحد در روز در ماههای تیر الی مهر افزایش یافته و آنگاه برای ماههای باقی‌مانده سال به ۶۸۸ واحد در روز کاهش می‌یابد. هزینه انبارداری این برنامه تولید ۲۱۳۹۹۰۰ ریال است و هزینه تغییر در سطح تولید از خرداد به تیر برابر ۱۴۰۰۰۰۰ ریال و از مهر به آبان مبلغ ۵۰۰۰۰۰۰ ریال است که جمعاً بالغ بر ۱۹۰۰۰۰۰۰ ریال می‌شود.

ارزیابی و مقایسه برنامه‌ها

حال هر سه برنامه فوق را از لحاظ هزینه کل هر دوره مقایسه می‌کنیم. این مقایسه در جدول (۷-۱۵) به عمل آمده است. در برنامه‌ریزی براساس میزان تولید روزانه ثابت، هزینه انبارداری بالا است لکن هزینه تغییر میزان تولید وجود ندارد. از طرف دیگر در برنامه‌ریزی براساس تولید متغیر هزینه تغییر در سطح تولید بالا می‌باشد. سومین برنامه هر دو هزینه را دارد لکن هزینه کل آن کمتر از هزینه دو برنامه مذکور می‌باشد. این برنامه نمونه یک استراتژی ترکیبی است که در آن هم موجودی کالا در انبار به اندازه مناسبی نگاهداشته شده و هم از استراتژی تولید متغیر استفاده شده است و همان‌طور که جدول (۷-۹) نشان می‌دهد موجودی کالا در ماههای فروردین، اردیبهشت، مهر، آبان و اسفند به میزان متعادل در انبار نگهداری شده اما متوسط موجودی انبار در طول سال بسیار کمتر از برنامه‌ریزی براساس تولید ثابت می‌باشد.

حدود متغیرهای برنامه

همان‌طور که ملاحظه شد با تغییر استراتژیهای برنامه‌ریزی می‌توان به برنامه‌های متفاوتی دست یافت و آنها را باهم مقایسه کرد. اما در عمل متغیرهای برنامه (مانند نیروی انسانی، اضافه‌کاری و ...) دارای محدودیتهایی هستند و نمی‌توان در کوتاه مدت به هر میزان آنها را تغییر داد. بنابراین قبل از شروع به طراحی یک برنامه مطلوب، باید تنوع و حدود

ماه	روزهای کاری	تغییر در میزان تولید	تولید روزانه	تولید ماهانه	تقاضای ماهانه	موجودی در ابتدای دوره	بیلداری که بر ابزار اضافه یا کم می شود	موجودی در آخر دوره	متوسط موجودی ابزار
فروردین	۲۲		۲۲۶	۹۵۹۲	۲۰۰۰	۵	۵۵۹۲	۵۵۹۲	۲۲۹۶
اردیبهشت	۱۹		۲۲۶	۸۲۸۴	۱۰۰۰۰	۵۵۹۲	(۱۷۱۶)	۳۸۷۶	۲۲۲۲
خرداد	۲۱	۶۴۵	۲۲۶	۹۱۵۶	۱۳۰۰۰	۲۸۷۶	(۲۸۲۲)	۲۲	۱۹۵۴
تیر	۲۲		۱۵۸۱	۲۳۷۸۲	۲۲۰۰۰	۲۲	۱۷۸۲	۱۸۱۴	۹۲۳
مرداد	۲۱		۱۵۸۱	۲۲۷۵۱	۲۳۰۰۰	۱۸۱۴	(۱۲۹۹)	۵۱۵	۱۱۶۵
شهریور	۲۱		۱۵۸۱	۲۲۷۵۱	۲۵۰۰۰	۵۱۵	۲۷۰۱	۳۲۱۶	۱۸۶۵
مهر	۲۲	۳۹۳-	۱۵۸۱	۲۳۷۸۲	۱۵۰۰۰	۲۲۱۶	۸۷۸۲	۱۱۹۹۸	۷۶۵۷
آبان	۱۱		۶۸۸	۷۵۶۸	۱۶۰۰۰	۱۱۹۹۸	(۸۴۳۲)	۳۵۶۶	۷۷۸۲
آذر	۲۱		۶۸۸	۱۴۲۴۸	۱۸۰۰۰	۳۵۶۶	(۳۵۵۲)	۱۴	۱۷۹۰
دی	۲۲		۶۸۸	۱۵۱۳۶	۱۴۰۰۰	۱۴	۱۲۳۶	۱۱۵۰	۵۸۲
بهمن	۱۸		۶۸۸	۱۲۳۸۴	۹۰۰۰	۱۱۵۰	۳۳۸۴	۴۵۳۲	۲۸۴۲
اسفند	۲۱		۶۸۸	۱۲۴۲۸	۶۰۰۰	۴۵۳۲	۸۴۲۸	۱۲۹۸۲	۸۷۵۸
جمع									
۲۲۷۹۸									

جدول شماره ۷-۹

نسخه نامه تولید برای برنامه ریزی ترکیبی

نوع هزینه	برنامه		
	تولید ثابت	تولید متغیر	تولید ترکیبی
وجودی انبار	۶۰۲۰۲۵۰	۶۹۵۰	۲۱۳۹۹۰۰
تغییر در میزان تولید	۰	۵۶۰۰۰۰۰۰	۱۹۰۰۰۰۰۰
هزینه کل	۶۰۲۰۲۵۰	۵۶۰۶۹۵۰	۷۰۳۹۹۰۰

جدول شماره ۱۰-۷

هزینه عملیاتی سه برنامه

متغیرهای برنامه مشخص شوند. در مثال کارخانه تولیدکننده چادر وانت، فرض کنید تعداد ۶۰ نفر نیروی کاری در استخدام دائمی هستند و در نظر است تعداد نیروی انسانی برای دوره برنامه ریزی تغییر نکند. با توجه به این نیرو حداقل میزان تولید روزانه ۶۰۰ عدد می باشد. همچنین فرض کنید حداکثر تولید روزانه با در نظر گرفتن محدودیتها و امکانات برنامه ۸۵۰ عدد در روز باشد و تنها از طریق استفاده از پیمانکار می توان میزان مذکور را افزایش داد (به عبارت دیگر ضریب زاویه منحنی تولید نمی تواند بیشتر از ۸۵۰ باشد). با توجه به مطالب فوق الذکر حدود برنامه تولید در این کارخانه چگونه تعیین می شود و چه ترکیبی از متغیرها مناسبترین استراتژی می باشد.

برای تعیین حدود برنامه تولید، ابتدا ضریب زاویه منحنی مجموع تقاضا در هر ماه را محاسبه می کنیم، ضریب زاویه منحنی مجموع تقاضا برای ماه فروردین برابر است با میزان تقاضا در ماه فروردین تقسیم بر روزهای کاری در ماه فروردین یعنی: $\frac{۴۰۰۰۰}{۲۲} = ۱۸۱۸۲$

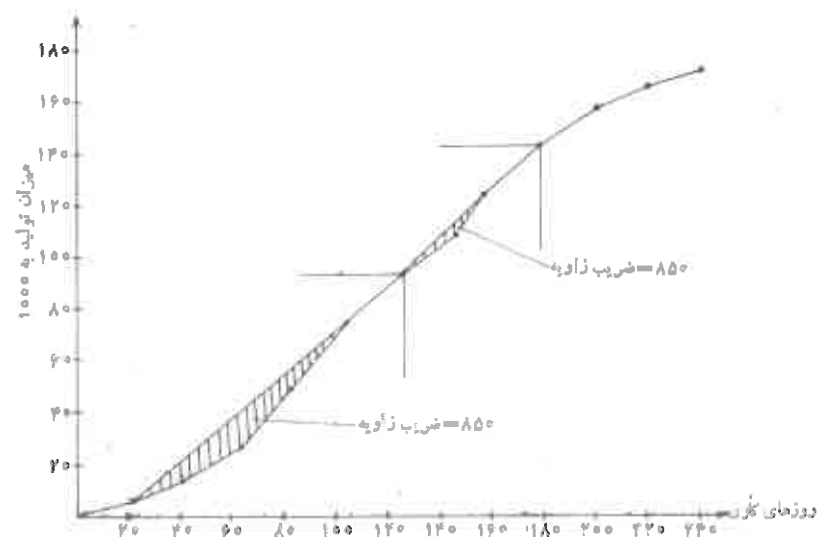
همچنین ضریب زاویه منحنی مجموع تقاضا در ماه اردیبهشت برابر است با $\frac{۱۰۰۰۰۰}{۱۹} = ۵۲۶۳۲$. نتایج این محاسبه برای بقیه ماههای سال در جدول (۱۱-۷) منعکس شده است.

همان طور که جدول (۱۱-۷) نشان می دهد ضریب زاویه منحنی مجموع تقاضا در ۲ دوره بیشتر از ۸۵۰ (حداکثر تولید روزانه مجاز) می باشد دوره اول شامل ماههای تیر الی شهریور و دوره دوم شامل ماههای آبان و آذر می باشد. ضریب زاویه منحنی تولید نمی تواند بیشتر از ۸۵۰ باشد (مگر به کمک پیمانکار)،

ماه	ضریب زاویه
فروردین	۱۸۱٫۸۲
اردیبهشت	۵۲٫۳۲
خرداد	۶۱۹٫۵۵
تیر	۱۰۰۰
مرداد	۱۱۴۲٫۸۶
شهریور	۹۵۲٫۳۸
مهر	۶۸۱٫۸۲
آبان	۱۲۵۲٫۵۵
آذر	۸۵۷٫۱۴
دی	۶۳۶٫۳۶
بهمن	۵۰۰
اسفند	۲۸۵٫۷۱

جدول شماره ۱۱-۷

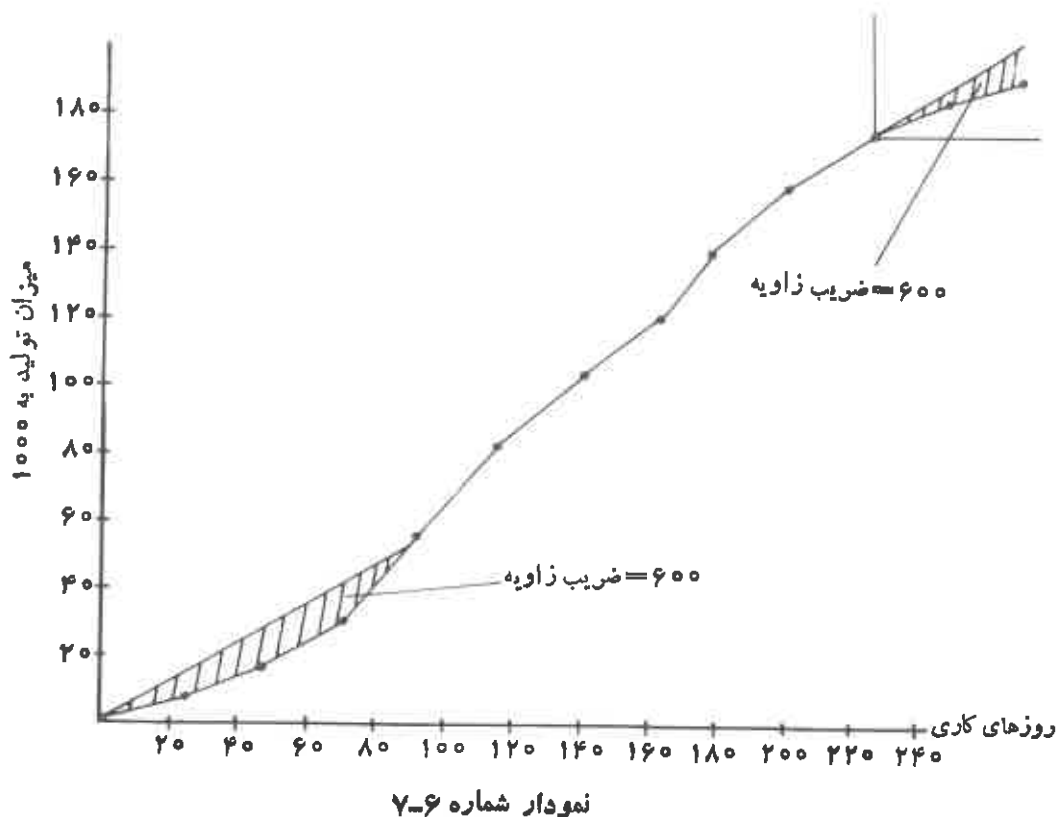
ضریب زاویه تقاضا برای هر ماه



نمودار شماره ۵-۷

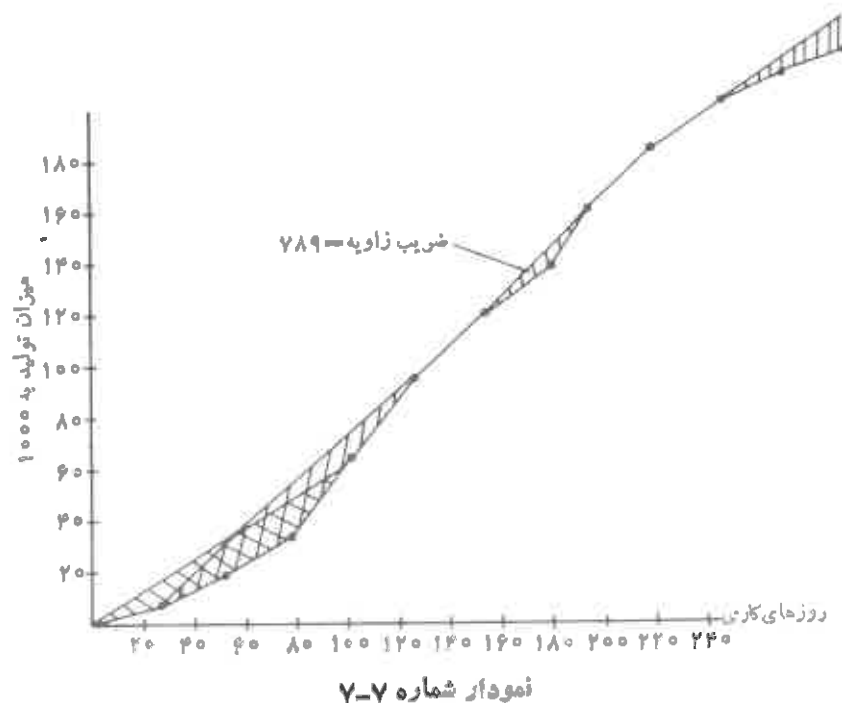
بنابر این برای تعیین حدود برنامه تولید در منحنی تقاضا از انتهای هر دوره خطی به ضریب زاویه ۸۵۰ از راست به چپ به طرف پایین رسم می‌کنیم. نمودار (۷-۵) این دو خط را که از انتهای ماههای شهریور (انتهای دوره اول، روز ۱۲۶) و آذر (انتهای دوره دوم، روز ۱۸۰) با ضریب زاویه ۸۵۰ به طرف پایین رسم شده است، نشان می‌دهد. در نمودار مذکور منطقه بین منحنی مجموع تقاضا و خطهای رسم شده با هاشور مشخص شده است. برنامه تولید نمی‌تواند وارد منطقه هاشور زده شود زیرا اگر به فرض منحنی تولید وارد منطقه هاشور زده شود، چون نمی‌تواند منحنی مجموع تقاضا را قطع کند (در این صورت کمبود ایجاد می‌شود که طبق فرض مسئله مجاز نیست) باید به شیبی بیشتر از ۸۵۰ از منطقه هاشور زده خارج شود که این شیب مستلزم تولید بیشتر از ۸۵۰ است و با توجه به امکانات کارخانه میسر نمی‌باشد.

از سوی دیگر حداقل میزان تولید روزانه ۶۰۰ عدد می‌باشد و با توجه به جدول (۷-۱۱) در دو دوره ضریب زاویه مجموعه تقاضا کمتر از ۶۰۰ است، یکی در طول



ماههای فروردین و اردیبهشت و دیگری در طول ماههای بهمن و اسفند، بنابراین از اول هر يك از دو دوره (اول فروردین و اول بهمن) دو خط به ضریب زاویه ۶۰۰ از پایین به بالا و از سمت چپ به راست رسم می‌کنیم. این دو خط در نمودار (۷-۶) رسم شده است، برنامه تولید نمی‌تواند داخل منطقه هاشور زده جدید قرار گیرد زیرا در این صورت میزان تولید روزانه کمتر از ۶۰۰ خواهد بود که مطابق فرض مسئله مجاز نمی‌باشد.

منحنی که نشان‌دهنده تمامی محدودیتهای تولید پیش‌گفته باشد منحنی کمترین مجموع تولید (LCP) خوانده می‌شود. این منحنی نشان‌دهنده حد پایین موجودی انبار برای هر برنامه تولید (به جز در مواردی که از پیمانکار استفاده می‌شود) می‌باشد. منحنی LCP برای مثال چادر وانت در نمودار (۷-۷) نشان داده شده است. حد بالای موجودی انبار به وسیله منحنی MCP (تولید روزانه ثابت) نشان داده شده و همان‌طور که در اولین برنامه مثال چادر وانت بررسی شد، برای رسم این منحنی از مرکز مختصات خطی به بالاترین برآمدگی منحنی مجموع تقاضا مماس می‌شود منحنی MCP مشخص‌کننده محدوده بالای برنامه تولید می‌باشد.



1. Lowest Cumulative Production

نقاط منحنی LCP را می‌توان با استفاده از دو نوع محاسبه (محاسبه مسیر پیش‌رو و مسیر پس‌رو) به دست آورد. این نقاط برای مثال چادر و انت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

محاسبه مسیر پیش‌رو

این محاسبه از ابتدای دوره: رو به انتها انجام می‌گیرد. در این محاسبه نقاط منحنی LCP با توجه به منحنی مجموع تقاضا و حداقل تولید به دست می‌آید به عبارت دیگر هر زمان که حداقل تولید در ماه بیشتر از تقاضا باشد، حداقل تولید جایگزین آن ماه می‌شود. مثلاً در فروردین که ۲۲ روز کاری وجود دارد حداقل تولید برابر است با $۱۳۲۰۰ = ۲۲(۶۰۰)$ و چون مجموع تقاضا در فروردین ۴۰۰۰ است، پس منحنی LCP در فروردین ۱۳۲۰۰ می‌باشد. به همین صورت مجموع حداقل تولید در اردیبهشت برابر است با $۲۴۶۰۰ = ۱۹(۶۰۰) + ۱۳۲۰۰$ و چون این میزان بیشتر از مجموع تقاضا در اردیبهشت می‌باشد (۱۴۰۰۰) بنا بر این:

$$LCP = ۲۴۶۰۰ = \text{اردیبهشت}$$

این محاسبه برای بقیه ماههای سال در جدول شماره (۷-۱۲) آمده است.

نقاط LCP از طریق مسیر پیش‌رو	حداقل تولید	مجموع تقاضا	روزهای کاری	ماه
۱۳۲۰۰	$۲۲(۶۰۰) = ۱۳۲۰۰^*$	۴۰۰۰	۲۲	فروردین
۲۴۶۰۰	$۱۳۲۰۰ + ۱۹(۶۰۰) = ۲۴۶۰۰^*$	۱۴۰۰۰	۱۹	اردیبهشت
۳۷۲۰۰	$۲۴۶۰۰ + ۲۱(۶۰۰) = ۳۷۲۰۰^*$	۲۷۰۰۰	۲۱	خرداد
۵۰۴۰۰	$۳۷۲۰۰ + ۲۲(۶۰۰) = ۵۰۴۰۰^*$	۴۹۰۰۰	۲۲	تیر
۷۳۰۰۰	$۵۰۴۰۰ + ۲۱(۶۰۰) = ۶۳۰۰۰$	۷۳۰۰۰^*	۲۱	مرداد
۹۳۰۰۰	$۷۳۰۰۰ + ۲۱(۶۰۰) = ۸۵۶۰۰$	۹۳۰۰۰^*	۲۱	شهریور
۱۰۸۰۰۰	$۹۳۰۰۰ + ۲۲(۶۰۰) = ۱۰۶۲۰۰$	۱۰۸۰۰۰^*	۲۲	مهر
۱۲۴۰۰۰	$۱۰۸۰۰۰ + ۱۱(۶۰۰) = ۱۱۴۶۰۰$	۱۲۴۰۰۰^*	۱۱	آبان
۱۴۲۰۰۰	$۱۲۴۰۰۰ + ۲۱(۶۰۰) = ۱۳۶۶۰۰$	۱۴۲۰۰۰^*	۲۱	آذر
۱۵۶۰۰۰	$۱۴۲۰۰۰ + ۲۲(۶۰۰) = ۱۵۵۲۰۰$	۱۵۶۰۰۰^*	۲۲	دی
۱۶۶۸۰۰	$۱۵۶۰۰۰ + ۱۸(۶۰۰) = ۱۶۶۸۰۰^*$	۱۶۵۰۰۰	۱۸	بهمن
۱۷۹۴۰۰	$۱۶۶۸۰۰ + ۲۱(۶۰۰) = ۱۷۹۴۰۰^*$	۱۷۱۰۰۰	۲۱	اسفند

جدول شماره ۷-۱۲

نتایج محاسبه نقاط LCP از طریق مسیر پیش‌رو

محاسبه مسیر پیش رو

این محاسبه از انتها رو به ابتدای دوره انجام می گیرد. در این محاسبه نقاط LCP در مسیر پیش رو با توجه به حداکثر تولید اصلاح می شود. به عبارت دیگر ضریب زاویه منحنی تولید از يك ماه به ماه دیگر مورد بررسی قرار می گیرد. مثلاً مقدار LCP در آخر اسفند ۱۷۹۴۰۰ است و چون ۲۱ روزکاری در اسفند وجود دارد اگر تولید با توجه به حداکثر میزان تعیین شده در طول اسفندماه انجام گیرد میزان مورد تقاضا در اول اسفند برابر خواهد بود با:

$$۱۷۹۴۰۰ - ۲۱(۸۵۰) = ۱۶۱۵۵۰$$

اگر میزان LCP در مسیر پیش رو برای ماه بهمن کمتر ۱۶۱۵۵۰ بود، منحنی LCP در بهمن به ۱۶۱۵۵۰ تغییر داده می شد. اما در اینجا منحنی LCP در مسیر پیش رو برای بهمن ماه ۱۶۶۸۰۰ می باشد و یا به عبارت دیگر در طول اسفندماه تولید به میزانی کمتر از ۸۵۰ واحد در روز مورد نیاز است. بنابراین تغییری در مقدار LCP در بهمن ماه (آخر بهمن) صورت نمی گیرد. به همین صورت چون ۱۸ روزکاری در بهمن وجود دارد بنابراین:

$$۱۶۶۸۰۰ - ۱۸(۸۵۰) = ۱۵۱۵۰۰$$

این مقدار نیز کمتر از میزان به دست آمده از طریق مسیر پیش رو می باشد بنابراین در مقدار LCP برای دی ماه نیز تغییری حاصل نمی شود. این محاسبه را می توان به همین صورت برای بقیه ماههای سال نیز انجام داد و نقاط منحنی LCP در مسیر پیش رو را در موارد لزوم اصلاح کرد. نقاط اصلاح شده منحنی LCP در جدول (۷-۱۳) آمده است.

طراحی برنامه مطلوب

با توجه به منحنی LCP و MCP ملاحظه می شود که شقوق مختلف برنامه بسیار محدود است. از طرفی منحنیهای فوق کاملاً گویای برنامه نیستند مثلاً منحنی MCP را چگونه می توان توجیه کرد. آیا این منحنی به معنی به کارگیری ۷۹ نفر نیروی انسانی است و یا ۷۲ نفر با ۹ درصد اضافه کاری؟ هر کدام از برداشتهای مذکور تأثیر متفاوتی در سیاستهای استخدام، اخراج و میزان اضافه کاری دارد.

در این قسمت، برنامه ای را که بر اساس حداقل هزینه های مربوط باشد. مورد مطالعه قرار می دهیم. البته همان طور که می دانید معیار هزینه، تنها معیار تصمیم گیری نیست و مدیریت نباید فقط معیار مذکور را اساس تصمیمهای خود قرار دهد. برای طراحی برنامه بر اساس

ماه	روزهای کاری	نقاط LCP از طریق مسیر پیش‌رو	محاسبه حداکثر تولید	نقاط LCP اصلاح شده
اسفند	۲۱	۱۷۹۴۰۰	۱۷۹۴۰۰	۱۷۹۴۰۰
بهمن	۱۸	۱۶۶۸۰۰*	$۱۷۹۴۰۰ - ۲۱(۸۵۰) = ۱۶۱۵۵۰$	۱۶۶۸۰۰
دی	۲۲	۱۵۶۰۰۰*	$۱۶۶۸۰۰ - ۱۸(۸۵۰) = ۱۵۱۵۰۰$	۱۵۶۰۰۰
آذر	۲۱	۱۴۲۰۰۰*	$۱۵۶۰۰۰ - ۲۲(۸۵۰) = ۱۳۷۳۰۰$	۱۴۲۰۰۰
آبان	۱۱	۱۲۴۰۰۰	$۱۴۲۰۰۰ - ۲۱(۸۵۰) = ۱۲۴۱۵۰*$	۱۲۴۱۵۰
مهر	۲۲	۱۰۸۰۰۰	$۱۲۴۱۵۰ - ۱۱(۸۵۰) = ۱۱۴۸۰۰*$	۱۱۴۷۵۰
شهریور	۲۱	۹۳۰۰۰	$۱۱۴۸۰۰ - ۲۲(۸۵۰) = ۹۶۱۰۰*$	۹۶۰۵۰
مرداد	۲۱	۷۳۰۰۰	$۹۶۱۰۰ - ۲۱(۸۵۰) = ۷۸۲۵۰*$	۷۸۲۰۰
تیر	۲۲	۵۰۴۰۰	$۷۸۲۵۰ - ۲۱(۸۵۰) = ۶۰۴۰۰*$	۶۰۳۵۰
خرداد	۲۱	۳۷۲۰۰	$۶۰۴۰۰ - ۲۲(۸۵۰) = ۴۱۷۰۰*$	۴۱۶۵۰
اردیبهشت	۱۹	۲۴۶۰۰*	$۴۱۷۰۰ - ۲۱(۸۵۰) = ۲۳۸۰۰$	۲۴۶۰۰
فروردین	۲۲	۱۳۲۰۰*	$۲۳۸۰۰ - ۱۹(۸۵۰) = ۸۴۵۰$	۱۳۲۰۰

جدول شماره ۷-۱۳

نقاط اصلاح شده منحنی LCP

حداقل هزینه، يك سلسله اصول به وسیله صاحب نظران مدیریت ارائه شده است. با استفاده از این قواعد می‌توان برنامه مطلوبی طراحی کرد. قبل از بررسی قواعد مذکور بهتر است علائم اختصاری مورد استفاده در قواعد مذکور شرح داده شود این علائم عبارتند از:

$C_H =$ هزینه استخدام يك كارگر جدید برای افزایش تولید^۱

$C_F =$ هزینه اخراج يك كارگر برای کاهش تولید^۲

$C_O =$ افزایش هزینه تولید يك واحد محصول با استفاده از اضافه کاری^۳

$C_I =$ هزینه انبارداری يك واحد محصول در انبار در ماه^۴

- | | | |
|----------------------|-------------------|---------------------|
| 1. Cost of hiring | 2. Cost of firing | 3. Cost of Overtime |
| 4. Cost of inventory | | |

$n =$ تعداد روزهای کاری در هر ماه

$p =$ بازدهی، یا میزان تولید محصول در روز توسط یک کارگر
بزرگترین عدد صحیح حاصل در

$$-0.5 + [0.25 + 2(C_H + C_F) / (nPC_I)]^{1/2}$$

$m^* =$

$I^* =$ بزرگترین عدد صحیح حاصل در $(C_H + C_F) / (nPC_0)$

$K^* =$ بزرگترین عدد صحیح حاصل در C_0 / C_I

قاعده ۹- اخراجهای موقت باید حداقل مدت $(m^* + 1)$ ماه از هم فاصله داشته باشند. بنابراین اگر $(m^* + 1) > 12$ باشد، استخدام و اخراج نیروی کاری موقت با صرفه نمی باشد.

قاعده ۲- سطح موجودی انبار باید حداقل هر $(m^* + 1)$ ماه یک بار در پایینترین سطح خود باشد. (به عبارت دیگر منحنی تولید باید حداقل هر $(m^* + 1)$ ماه یک بار با منحنی LCP مماس شود.

قاعده ۳- کاهش نیروی کاری باید در ابتدای دوره و یا در زمانی که اوج تقاضا خاتمه یافته و موجودی انبار به حداقل رسیده صورت پذیرد زیرا معمولاً بعد از نقطه اوج، تقاضا کاهش یافته و بهترین زمان برای تقلیل نیروی انسانی فرارسیده است.

قاعده ۴- بعد از کاهش نیروی کاری تا مدت $(K^* + 1)$ ماه نباید از اضافه کاری استفاده کرد. همچنین استخدام جدید تا $(m^* + 1)$ ماه پس از اخراج نباید صورت بگیرد.

قاعده ۵- افزایش میزان تولید موقت برای مدت I^* (ماه) باید با استفاده از اضافه کاری صورت پذیرد. ولی برای دوره های طولانی تر استخدام نیروی کاری به صورت موقت با صرفه تر است.

قاعده ۶- بعد از استخدام، نیروی کاری را نباید تا مدت $(m^* + 1)$ ماه اخراج کرد و یا تا مدت K^* ماه نباید از اضافه کاری استفاده کرد.

قاعده ۷- با توجه به محدودیتهای مندرج در قواعد فوق الذکر برنامه تولید را حتی الامکان باید زمانی شروع کرد که هزینه های انبارداری حداقل گردد.

حال به تجزیه و تحلیل بعضی از قواعد فوق می پردازیم:

در مورد افزایش میزان تولید باید روشهای مختلف افزایش تولید مانند استخدام نیروی انسانی و یا استفاده از اضافه کاری را مورد مطالعه و بررسی قرار داد. مثلاً اگر

در يك برنامه توليد میزان اضافه‌کاری در L ماه متوالی صورت می‌گیرد باید احتمال کاهش هزینه اضافه‌کاری با استخدام يك نیروی جدید برای L ماه مورد مقایسه قرار گیرد. اگر استخدام به جای اضافه‌کاری انجام گیرد هزینه‌ای معادل C_H دربرخواهد داشت و در عوض ظرفیت معمولی انجام کار را به میزان يك نفر (P واحد در روز) افزایش خواهد داد. بنا براین در طول L ماه میزان افزایش ظرفیت معمولی برابر است با LnP (n روزهای کاری در هر ماه می‌باشد) در این صورت صرفه‌جویی در هزینه اضافه‌کاری برابر است با $LnPC_O$. از طرفی اخراج این نیروی موقت هزینه‌ای معادل C_F در برخواهد داشت بنابراین در استخدام موقت اگر $LnPC_O < (C_H + C_F)$ باشد استخدام نیروی جدید با صرفه می‌باشد در غیر این صورت باید از اضافه‌کاری استفاده کرد. نسبت $\frac{C_H + C_F}{LnPC_O}$ را با I^* نشان می‌دهند (قاعده ۵). در مورد سربه‌سری هزینه انبارداری و هزینه اضافه‌کاری باید آن مدت زمانی را که هزینه انبارداری با هزینه اضافه‌کاری برابر است به دست آورد به عبارت دیگر برای اینکه در زمان اوج تقاضا مجبور نشویم از اضافه‌کاری استفاده کنیم چه مدت قبل کالا را باید تولید و در انبار نگهداری کرد تا هزینه انبارداری آن با هزینه اضافه‌کاری در زمان اوج تقاضا برابر شود. اگر مدت زمان انبارداری را به K^* نشان دهیم هزینه انبارداری يك واحد برای مدت K^* برابر است با K^*C_I . از طرفی افزایش هزینه تولید يك واحد با استفاده از اضافه‌کاری برابر است با C_O . در سربه‌سری هزینه‌های مذکور داریم:

$$C_O = K^*C_I$$

$$K^* = \frac{C_O}{C_I} \quad (\text{قواعد ۴ و ۶})$$

سربه‌سری هزینه انبارداری و هزینه استخدام و یا اخراج با m^* بیان می‌شود. این معیار را به وسیله مثال بهتر می‌توان توضیح داد. در مورد مثال کارخانه تولید چادر وانت، تعداد روزهای کاری در سال ۲۴۱ روز می‌باشد بنا براین تعداد متوسط روزهای کاری در هر ماه تقریباً برابر $n = ۲۰$ روز است. هزینه‌های دیگر برنامه در زیر آمده است.

$$n = \frac{۲۴۱}{۱۲} \approx ۲۰$$

تعداد روزهای کاری در هر ماه-روز

$$P = ۱۰$$

میزان تولید روزانه هر کارگر-واحد

$C_H = 40000$ هزینه استخدام هر نیروی جدید-ریال

$C_F = 30000$ هزینه بازخرید هر نیروی کاری-ریال

هزینه اضافی ناشی از تولید در شرایط اضافه کاری برای

$C_O = 200$ هر واحد-ریال

$C_I = 50$ هزینه انبارداری هر واحد در ماه

$R_O = 60$ تعداد نیروی انسانی که در حال حاضر در استخدام می باشند

$mOP = 790$ حداقل میزان تولید روزانه ثابت

$LCP =$ (به جدول ۱۳-۷ رجوع شود)

برای به دست آوردن m^* باید مقدار $\{ -0.05 + [0.025 + 2(C_H + C_F)/(nPC_I)]^{1/2} \}$ را محاسبه کرد بنا بر این:

$$-0.05 + \left[\frac{0.025 + 2(40000 + 30000)}{(20 \times 10 \times 50)} \right]^{1/2} = 3.49$$

بزرگترین عدد صحیح در ۳٫۴۹ عدد ۳ می باشد پس:

$$m^* = 3$$

چون $12 < 8 = (m^* + 1) \times 2$ می باشد بنا بر این بر طبق قاعده ۱ استفاده از نیروی کار موقت مقرون به صرفه است.

برنامه ریزی کلی در سازمانهای خدماتی

مؤسسات خدماتی نیز می توانند از برنامه ریزی کلی استفاده کنند، البته متغیر موجودی انبار در واحدهای خدماتی برای جوابگویی به نوسانهای تقاضا کاربردی ندارد. مثلاً آن دسته از وظایف شهرداری که حفظ و نگهداری خیابانها و جاده ها می باشد را در نظر بگیرید، خدمات شهرداری در این زمینه عبارتست از:

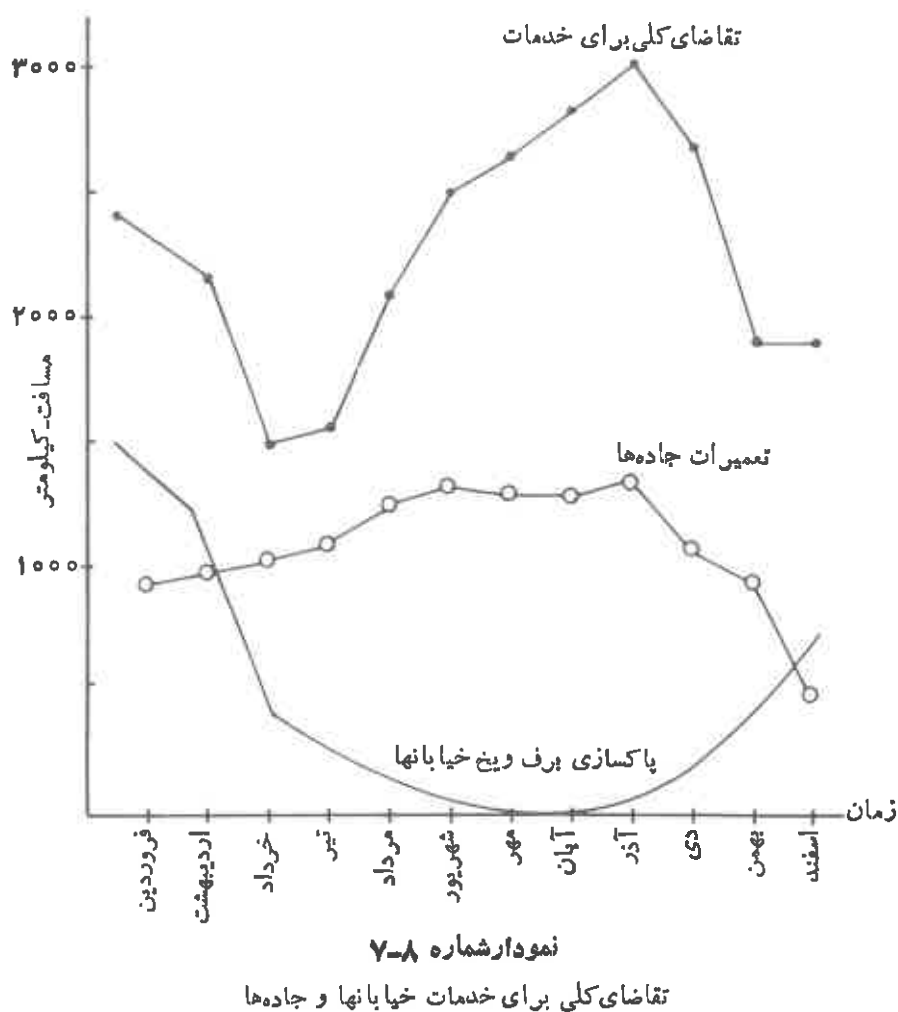
۱- تعمیر خیابانها و جاده های موجود (لکه گیری، آسفالت، بتون ریزی) و سیستم فاضلاب.

۲- ساخت جاده های جدید.

۳- روپیدن برف و یخ خیابانها.

همانطور که حدس می زنید، شهرداری نمی تواند انبار کالای ساخته شده از خدمات خود داشته باشد البته فقط ابزار کار خود را می تواند از قبل تهیه کند و در انبار نگاه دارد.

ترکیب متناسبی از نیروی کار ماهر، کارگرساده، ماشین آلات، لوازم و استفاده از پیمانکار می تواند برای جوابگویی به نیازهای شهرداری مورد استفاده قرار گیرد. اگر کیلومتر به عنوان واحد اندازه گیری تقاضای کلی خدمات فرض شود آنگاه می توان همان طور که نمودار (۷-۸) نشان می دهد تقاضای کلی خدمات شهرداری برای یک دوره یک ساله را نشان داد. هدف طراحی برنامه ایست که بتواند جوابگوی تقاضا با کمترین هزینه باشد. در این برنامه تعداد نیروی انسانی که به صورت ثابت در اختیار شهرداری قرار می گیرد باید مشخص شود. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.



مثال:

آمار نشان می‌دهد که شهرداری منطقه‌ای دارای ۴۰۰ نفر نیروی کار ماهر می‌باشد و این نیرو به‌طور متوسط می‌توانند خدمات ۲۰۰۰ کیلومتر جاده در ماه را انجام دهند. به عبارت دیگر بازدهی مورد انتظار هر کارگر ۵ کیلومتر جاده در ماه می‌باشد. همچنین فرض کنید بازدهی روزانه هر کارگر ۲۴ کیلومتر جاده در روز باشد برای پاسخ بد تقاضای اضافه بر ظرفیت موجود چهار طریق وجود دارد.

۱- استفاده از نیروی کار موجود به صورت اضافه کاری: هزینه اضافه کاری ۵۰ درصد بیشتر از حقوق معمولی یک کارگر می‌باشد (حقوق ماهیانه یک کارگر ماهر ۹۰۰۰۰ ریال است).

۲- استفاده از پیمانکار: هزینه استفاده از پیمانکار ۲۴۰۰۰ ریال برای هر کیلومتر می‌باشد و قرارداد می‌باید چندین ماه قبل از موعد مقرر با پیمانکار منعقد شود.

۳- استفاده از کارگران فصلی: کارگران فصلی معمولاً در ماه‌های مرداد الی آذر در دسترس می‌باشند. استخدام و بازخرید هر کارگر فصلی به‌طور متوسط هزینه‌ای معادل ۱۰۰۰۰ ریال در بر دارد.

۴- استخدام کارگران جدید به صورت دائم: هزینه استخدام و آموزش کارگران جدید ۵۰۰۰ ریال برای هر نفر می‌باشد.

میزان تقاضا برای خدمات شهرداری و روزهای کاری در هر ماه در جدول (۷-۱۴) نشان داده شده است.

ابتدا برنامه تولید را بر اساس استخدام ۴۰۰ نفر به صورت تمام وقت تنظیم می‌کنیم. نمودار (۷-۶) ظرفیت ماهیانه خدمات توسط این تعداد را در مقایسه با تقاضای ماهیانه خدمات نشان می‌دهد. شهرداری با داشتن ۴۰۰ نفر ظرفیتی معادل ۹۶ کیلومتر جاده در هر روز را در توان دارد ($۹۶ = ۲۴ \times ۴۰۰$). اکنون می‌توان ظرفیت انجام خدمات را توسط شهرداری در هر ماه محاسبه کرد، مثلاً در فروردین ۲۲ روز کاری وجود دارد بنا بر این ظرفیت انجام خدمات در شرایط معمولی توسط شهرداری برابر است با:

$$(۲۱۱۲ = ۲۲ \times ۹۶)$$

این محاسبه را می‌توان برای بقیه ماه‌های سال نیز انجام داد. این محاسبه در نمودار (۷-۹) نشان داده شده است. جمع جبری تقاضا برای شهرداری معنی خاصی ندارد بلکه پاسخگویی به تقاضای خدمات هر ماه بیشتر مورد توجه می‌باشد زیرا اگر برفروبی در بهمن ماه باید انجام گیرد نمی‌توان آن را تا فروردین ماه به تعویق انداخت و قاعدتاً باید در همان ماه این کار انجام شود. همان‌طور که نمودار (۷-۹) نشان می‌دهد تقاضا در ماه‌های خرداد، تیر و

ماه	روزهای کاری	تقاضای خدمات کیلومتر
فروردین	۲۲	۲۵۰۰
اردیبهشت	۱۹	۲۲۰۰
خرداد	۲۱	۱۵۰۰
تیر	۲۲	۱۷۰۰
مرداد	۲۱	۲۴۰۰
شهریور	۲۱	۲۶۰۰
مهر	۲۲	۲۷۰۰
آبان	۲۲	۲۹۰۰
آذر	۲۱	۳۲۰۰
دی	۲۲	۲۹۰۰
بهمن	۱۸	۱۸۰۰
اسفند	۲۱	۱۸۰۰

جدول شماره ۱۴-۷

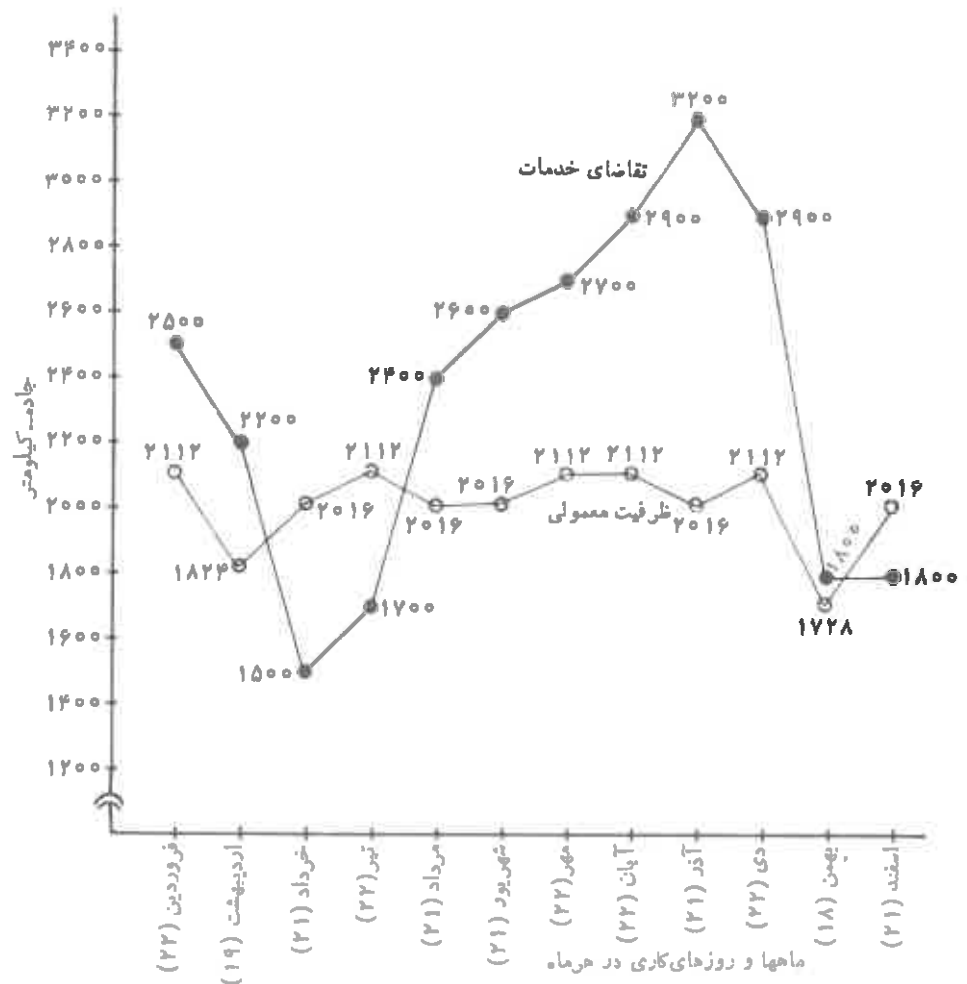
میزان تقاضا برای خدمات شهرداری

اسفندماه پایین و در فروردین، اردیبهشت و مرداد الی دی تقاضا بیش از ظرفیت شهرداری می باشد.

اساس برنامه بدین قرار است که نیروی کار موجود به صورت تمام وقت در تمام مدت سال فعال باشد و در مواقعی که تقاضا بیش از ظرفیت سیستم است از وجود پیمانکار استفاده شود. هزینه کل این برنامه که شامل دستمزد و هزینه پیمانکار می باشد در جدول (۱۵-۷) آمده است.

دومین برنامه پیشنهادی، شامل استخدام ۱۰۰ نفر دیگر به عنوان کمک به نیروی کار موجود برای ماههای مرداد، شهریور، مهر، آبان و آذر می باشد. در این صورت ظرفیت کاری در ماههای فوق به ترتیب به ۲۵۲۰، ۲۵۲۰، ۲۶۴۰، ۲۶۴۰ و ۲۵۲۰ کیلومتر افزایش می یابد. همچنین تقاضاهای بیشتر از ظرفیت کاری، توسط پیمانکار انجام خواهد شد. هزینه

۲۹۲ □ مدیریت تولید



نمودار شماره ۹-۷

تقاضا برای خدمات بهای هر

این برنامه در جدول (۷-۱۶) آمده است.

– هزینه دستمزد ۴۰۰ نفر در یک سال $400 \times 12 \times 90000 = 432000000$

– هزینه پیمانکار برابر است با

ماه	جاده به کیلومتر
فروردین	$۲۵۰۰ - ۲۱۱۲ = ۳۸۸$
اردیبهشت	$۲۲۰۰ - ۱۸۲۲ = ۳۷۶$
مرداد	$۲۴۰۰ - ۲۰۱۶ = ۳۸۴$
شهریور	$۲۶۰۰ - ۲۰۱۶ = ۵۸۴$
مهر	$۲۷۰۰ - ۲۱۱۲ = ۵۸۸$
آبان	$۲۹۰۰ - ۲۱۱۲ = ۷۸۸$
آذر	$۳۲۰۰ - ۲۰۱۶ = ۱۱۸۴$
دی	$۲۹۰۰ - ۲۱۱۲ = ۷۸۸$
بهمن	$۱۸۰۰ - ۱۷۲۸ = ۷۲$
جمع	$۵۱۵۲ \times ۲۴۰۰۰ = ۱۲۳۶۲۸۰۰۰$
جمع کل هزینه	$۳۳۲۰۰۰۰۰۰ + ۱۲۳۶۲۸۰۰۰ = ۵۵۵۶۲۸۰۰۰$

جدول شماره ۷-۱۵

هزینه اولین برنامه

- هزینه دستمزد ۴۰۰ نفر در يك سال $۴۰۰ \times ۹۰۰۰۰۰ \times ۱۲ = ۴۳۲۰۰۰۰۰۰۰$
- هزینه دستمزد ۱۰۰ نفر کمکی در ۵ ماه $۱۰۰ \times ۹۰۰۰۰۰ \times ۵ = ۴۵۰۰۰۰۰۰۰$
- هزینه استخدام و اخراج ۱۰۰ نفر $۱۰۰ \times ۱۰۰۰۰۰ = ۱۰۰۰۰۰۰۰$
- هزینه پیمانکار برابر است با:

ماه	جاده به کیلومتر
فروردین	$۲۵۰۰ - ۲۱۱۲ = ۳۸۸$
اردیبهشت	$۲۲۰۰ - ۲۱۱۲ = ۳۷۶$
شهریور	$۲۶۰۰ - (۲۰۱۶ + ۵۰۴) = ۸۰$
مهر	$۲۷۰۰ - (۲۱۱۲ + ۵۲۸) = ۶۰$
آبان	$۲۹۰۰ - (۲۱۱۲ + ۵۲۸) = ۲۶۰$
آذر	$۳۲۰۰ - (۲۰۱۶ + ۵۰۴) = ۶۸۰$
دی	$۲۹۰۰ - (۲۱۱۲) = ۸۷۷$
بهمن	$۱۸۰۰ - ۱۷۲۸ = ۷۲$
جمع	$۲۷۹۳ \times ۲۴۰۰۰ = ۶۷۰۳۲۰۰۰$
جمع کل هزینه ها	$۳۳۲۰۰۰۰۰۰ + ۴۵۰۰۰۰۰۰ + ۱۰۰۰۰۰۰ + ۶۷۰۳۲۰۰۰ = ۵۰۳۶۳۲۰۰۰$

جدول شماره ۷-۱۶

هزینه دومین برنامه

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید برنامه دوم معادل ۵۲۰۱۶۰۰۰ ریال در مقایسه با برنامه اول صرفه‌جویی در بر دارد.

$$۵۵۵۶۲۸۰۰۰ - ۵۰۳۶۳۲۰۰۰ = ۵۲۰۱۶۰۰۰$$

در سومین برنامه پیشنهادی، تعداد کارکنانی که در استخدام ثابت شهرداری هستند به ۴۸۰ نفر افزایش می‌یابند. در این صورت تواناییهای شهرداری برای دوازده ماه سال به ترتیب برابر است با: ۲۵۳۴، ۲۱۸۹، ۲۴۱۹، ۲۵۳۴، ۲۴۱۹، ۲۲۱۹، ۲۵۳۴، ۲۴۱۹، ۲۵۳۴، ۲۴۱۹، ۲۵۳۴ و ۲۰۷۴ کیلومتر جاده. در این برنامه نیز تقاضاهای اضافه بر تواناییهای شهرداری توسط پیمانکار انجام می‌گیرد. هزینه این برنامه در جدول (۷-۱۷) آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید هزینه این برنامه نسبت به دو برنامه قبلی بیشتر است. - هزینه دستمزد ۴۸۰ نفر در یک سال: $۴۸۰ \times ۹۰۰۰۰ \times ۱۲ = ۵۱۸۴۰۰۰۰۰$ - هزینه پیمانکار:

ماه	کیلومتر جاده
اردیبهشت	۱۱
شهریور	۱۸۱
مهر	۱۶۶
آبان	۳۶۶
آذر	۷۸۱
دی	۳۶۶
جمع	۱۸۷۱ کیلومتر

$$۱۸۷۱ \times ۲۴۰۰۰۰ = ۴۴۹۰۴۰۰۰$$

بنابراین هزینه کل برنامه (به غیر از هزینه استخدام) برابر است با هزینه دستمزد و هزینه پیمانکار یعنی: $۵۱۸۴۰۰۰۰۰ + ۴۴۹۰۴۰۰۰ = ۵۶۳۳۰۴۰۰۰$

جدول شماره ۷-۱۷

هزینه سومین برنامه

سایر مدل‌های برنامه‌ریزی

به‌طور کلی تمام مدل‌های برنامه‌ریزی مشخصات مشترکی دارند: اول اینکه برنامه‌ریز

باید يك محدوده زمانی را مشخص کند و آنگاه پیش‌بینی تقاضا برای آن محدوده زمانی را به‌دست آورد. دوم آنکه متغیرهای تصمیم‌گیری برای هر تصمیم بخصوص باید مشخص شوند (متغیرهای تصمیم‌گیری آن عواملی هستند که می‌توان با تغییر آنها، شقوق مختلف برنامه را به‌دست آورد. مانند نیروی کار، سرعت تولید، ساعات کار، سطح موجودی انبار، پیمانکار و غیره) سوم آنکه هزینه‌های مرتبط^۱ برنامه باید مشخص شوند. هرگاه متغیرهای تصمیم‌گیری تغییر کنند بعضی از هزینه‌ها افزایش و برخی کاهش می‌یابد آن دسته از هزینه‌هایی که به‌ازای برنامه‌های مختلف تغییر می‌کند را هزینه‌های مرتبط به آن برنامه می‌نامند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های دستمزد، استخدام، اخراج، اضافدکاری، انبارداری، پیمانکار و غیره می‌باشد.

مزیت روش ترسیمی در سادگی آن است و احتیاجی به ماشینهای محاسب مساند کامپیوتر ندارد. نقطه ضعف این روش آنست که برنامه‌ریز هیچگاه مطمئن نیست که انتخاب او بهترین برنامه می‌باشد و تنها توسط تجربه می‌توان تا حدی به‌بهترین انتخاب نزدیک شد. مدل‌های دیگری نیز برای برنامه‌ریزی کلی وجود دارند که ذیلاً به برخی از این مدل‌ها اشاره می‌شود. شرح جزئیات کامل مدل‌های مذکور خارج از بحث کتاب حاضر می‌باشد.

مدل‌های ریاضی برنامه‌ریزی کلی

مدل‌های ریاضی متعددی برای طراحی برنامه‌ریزی کلی تدوین شده است. در این بخش به بررسی چند رابطه ریاضی در زمینه برنامه‌ریزی کلی می‌پردازیم. قبل از شروع به بررسی این روابط بهتر است علائمی را که مورد استفاده قرار خواهیم داد، معرفی کنیم.

$P_t =$	تعداد اقلام تولید در طول دوره t
$P_o =$	تعداد اقلام تولید در شروع دوره
$W_t =$	تعداد نیروی کاری در طول دوره t
$W_o =$	تعداد نیروی کاری در شروع دوره
$I_t =$	تعداد اقلام موجودی انبار در آخر دوره t
$I_o =$	تعداد اقلام موجودی انبار در شروع دوره
$F_t =$	پیش‌بینی تقاضا (یا تولید مورد نیاز) برای دوره t

در مدل‌های ریاضی فرض بر این است که پیش‌بینی تقاضا مشخص بوده و مقادیر P_o ،

W_0 و I_0 نیز معلوم می‌باشد. با توجه به فرض‌های فوق و استراتژی‌های تصمیم در مورد تولید و نیروی‌کاری، روشهای ریاضی مطلوب‌ترین میزان تولید و نیروی‌کاری را برای هر دوره خاص تعیین می‌نماید:

بعضی از استراتژی‌های تصمیم در بخش روش‌ترسیمی بر نامدیری کلی مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه دیگری از استراتژی تصمیم، استراتژی تولید هموار^۱ می‌باشد. این استراتژی را می‌توان توسط رابطه زیر نشان داد.

$$P_t = P_{t-1} + \alpha(F_t - F_{t-1}) \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

رابطه بالا شبیه رابطه نمو هموار در بخش پیش‌بینی تقاضا می‌باشد. اگر $\alpha = 0$ باشد استراتژی تولید بر اساس تولید روزانه ثابت تعیین می‌گردد و اگر $\alpha = 1$ باشد استراتژی تولید بر اساس تولید به میزان تقاضا می‌باشد. مقادیر α بین صفر و یک استراتژی‌های آمیخته را شامل می‌گردند. اگر موجودی انبار را در رابطه بالا دخالت دهیم، خواهیم داشت:

$$P_t = P_{t-1} + \alpha(F_t - P_{t-1}) + \beta(I_N - I_{t-1})$$

در رابطه I_N نشان‌دهنده سطح نرمال موجودی انبار می‌باشد و β نیز همانند α ضریب هموار است. ($0 \leq \beta \leq 1$). اگر سطح موجودی انبار بیش از نرمال باشد، P_t کاهش یافته و اگر سطح موجودی انبار کمتر از نرمال گردد، P_t افزایش می‌یابد. در قسمتهای بعدی به بررسی چند روش ریاضی برای برنامه‌ریزی کلی می‌پردازیم.

۱- مدل حمل و نقل در برنامه ریزی کلی

در مدل حمل و نقل، ردیف‌ها نمایانگر میزان توانایی‌های تولید (غرض تولید) بوده و ستونها نیز میزان تقاضای پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند. برای روشن شدن مطلب بديك مثال توجه کنید. فرض کنید اطلاعات زیر در خصوص تولید کالایی در دست باشد.

هزینه تولید هر واحد کالا	۲۰۰۰۰ ریال
هزینه انبارداری هر واحد کالا در ماه	۳۰۰ ریال
هزینه دستمزد کارگر در ساعت	۱۲۰۰ ریال
هزینه اضافه کاری در ساعت	۱۸۰۰ ریال
تعداد افراد تحت استخدام	۵۰ نفر
ساعات کار روزانه	۸ ساعت

1. Smoothed Production level

روزهای کاری در ماه ۲۰ روز

ساعت کارگر برای ساخت يك واحد کالا ۱۰ ساعت

ظرفیت اضافه کاری ۴۰ درصد بیش از ظرفیت معمولی

همچنین فرض کنید که برای پاسخگویی به تقاضای پیش‌بینی شده فقط می‌توان از ساعات معمولی کار و اضافه کاری استفاده نمود. در زیر مراحل تنظیم جدول حمل و نقل به‌طور خلاصه آمده است.

مرحله ۱- میزان تقاضا و تولید در هر ماه را با استفاده از منابع مختلف سازمان در جدول بنویسید. مثلاً "میزان تولید در ساعات معمولی فروردین ماه عبارتست از: [۱۰ ساعت / برای هر واحد] ÷ [۲۰ روز × ۸ ساعت در روز × ۵۰ کارگر] واحد = ۸۰۰"

واحد ۳۲۰ = ۸۰۰ × ۰٫۴۰ = ظرفیت تولید در شرایط اضافه کاری

مرحله ۲- عرضه و تقاضا را با هم مقایسه نمایید. اگر عرضه بیش از تقاضا باشد، مقدار اضافی را در ستونی به نام ستون فرجه یا اختلاف قرار دهید.

مرحله ۳- هزینه تولید هر واحد کالا در هر ماه در شرایط مختلف تولیدی را محاسبه کرده و در گوشه بالای سمت راست متعلق به همان ماه درج نمایید. مثلاً "هزینه يك واحد کالا که در شرایط معمولی فروردین ماه تولید شده عبارتست از:

ریال ۱۲۰۰۰ = (۱۰ ساعت برای هر واحد × ۱۲۰۰ دستمزد در ساعت)

اگر این واحد را بخواهیم تا اردیبهشت در انبار نگه‌داریم، هزینه‌ای به مقدار ۳۰۰ ریال به آن اضافه می‌شود. اگر واحد مذکور در خرداد ماه فروش رود ۶۰۰ ریال به هزینه آن اضافه می‌گردد همچنین اگر این واحد در شرایط اضافه کاری تولید شود هزینه آن ۱۸۰۰۰ ریال می‌باشد.

مرحله ۴- يك راه حل اولیه برای این مسئله پیدا نمایید.

مرحله ۵- راه حل بهینه را تعیین نمایید.

راه حل بهینه در جدول شماره (۱۸-۷) نشان داده شده است. جزئیات روش حمل و نقل را می‌توان در کتب تحقیق در عملیات مطالعه کرد. در این روش هزینه برنامه کلی را می‌توان با استفاده از حاصل ضرب میزان تولید هر ماه در هزینه تولید هر واحد در همان ماه به دست آورد.

	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	SLACK	SUPPLY
موجودی اول دوره	0 100	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	100
فروزدین مسمولی	120 800	123	126	129	132	135	138	141	144	147	150	153	156	800
فروزدین اضافه کاری	180 250	183 70	186	189	192	195	198	201	204	207	210	213	216	320
اردیبهشت مسمولی	---	120 555	123 205	126	129	132	135	138	141	144	147	150	153	760
اردیبهشت اضافه کاری	---	180	183 245	186 59	189	192	195	198	201	204	207	210	213	304
خرداد مسمولی	---	---	120	123 191	126 600	129 49	132	135	138	141	144	147	150	840
خرداد اضافه کاری	---	---	180	183	186	189	192	195	198	201	204	207	210	336
تیر مسمولی	---	---	---	120	123	126 600	129 280	132	135	138	141	144	147	880
تیر اضافه کاری	---	---	---	180	183	186 15	189 337	192	195	198	201	204	207	352
مرداد مسمولی	---	---	---	---	120	123	126 408	129 432	132	135	138	141	144	840
مرداد اضافه کاری	---	---	---	---	180	183	186 336	189	192	195	198	201	204	336
شهریور مسمولی	---	---	---	---	---	120	123	126 482	129 318	132	135	138	141	800

شهر نور اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	186	189	192	195	198	201	320	
مهر معمولی	—	—	—	—	—	120	123	126	129	132	135	138	800	
مهر اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	188	191	194	197	200	320	800	
آبان معمولی	—	—	—	—	—	120	123	126	129	132	135	760	760	
آبان اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	186	189	192	195	304	304	304	
آذر معمولی	—	—	—	—	—	120	123	126	129	132	135	840	840	
آذر اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	186	189	192	195	193	336	336	
دی معمولی	—	—	—	—	—	120	123	126	129	132	135	880	880	
دی اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	186	189	192	195	193	352	352	
بهمن معمولی	—	—	—	—	—	120	123	126	129	132	135	840	840	
بهمن اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	186	189	192	195	193	336	336	
اسفند معمولی	—	—	—	—	—	120	123	126	129	132	135	800	800	
اسفند اضافه کاری	—	—	—	—	180	183	186	189	192	195	193	320	320	
تقاضا	1,150	625	450	250	600	1,000	1,025	1,250	1,450	1,525	1,250	1,175	2,126	13,876

جدول شماره ۱۸-۷

روش حمل و نقل درون نامدیریتی کلی (ارقام هزینه به ۱۰۰ کوچک شده است)

مدل تصمیم‌گیری خطی^۱

با وجود اینکه روش حمل و نقل مطلوبترین راه‌حل را ارائه می‌دهد ولی روابط بین متغیرها را خطی فرض می‌کند به عبارت دیگر رابطه بین هزینه و نیروی کاری را یک رابطه خطی فرض می‌نماید.

مدل تصمیم‌گیری خطی در عین حال که مطلوبترین راه‌حل را ارائه می‌دهد، روابط بین متغیرها را نیز خطی فرض نمی‌کند. مدل تصمیم‌گیری خطی به روابط و معادلات خطی منتج می‌شود و به همین جهت اسم آن را تصمیم‌گیری خطی می‌نامند.
بر طبق قوانین تصمیم‌گیری خطی، هزینه کل برنامه کلی عبارتست از:

هزینه انبارداری + هزینه اضافه کاری + هزینه استخدام و اخراج + هزینه دستمزد معمولی = C_1
در زمینه کاربرد قوانین تصمیم‌گیری خطی، تحقیقی^۲ در مورد هزینه‌های مختلف یک شرکت رنگ‌سازی در دوره‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و یک رابطه درجه ۲ ($z = ax^2$) برای نشان دادن ارتباط هزینه‌ها با یکدیگر طراحی گردید. چهار نوع رابطه هزینه برای شرکت مذکور در شکل‌های (۷-۱۰)، (۷-۱۱)، (۷-۱۲)، و (۷-۱۳)، نشان داده شده است. در زیر به توضیح مختصری برای هر یک می‌پردازیم:

الف- هزینه اوقات معمولی. هزینه تولید در اوقات معمولی در دوره t به صورت رابطه $C_1(t) = CW_t$ فرض گردید. این هزینه یک رابطه خطی با اندازه نیروی کاری دارد (شکل ۷-۱۰).

ب- هزینه‌های استخدام و بازخرید یا اخراج. این هزینه به صورت رابطه $C_2(t) = C_2(W_t - W_{t-1})^2$ فرض گردید. این هزینه یک رابطه درجه ۲ با میزان افزایش یا کاهش در نیروی انسانی دارد (شکل ۷-۱۱).

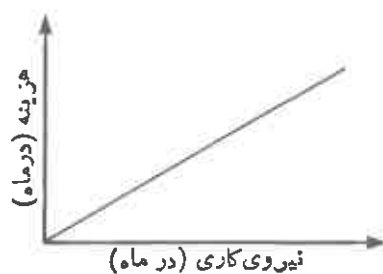
ج- هزینه‌های اضافه‌کاری. این هزینه تا استفاده صد درصد از نیروی کاری موجود، صفر فرض گردیده و سپس بعد از استفاده از نیروی کاری موجود یک رابطه درجه ۲ با میزان اضافه کاری دارد. برای نشان دادن این وضعیت از یک معادله درجه ۲ استفاده گردید (شکل ۷-۱۲)

$$C_3(t) = C_3(P_t - C_4W_t)^2 + C_5P_t - C_6W_t$$

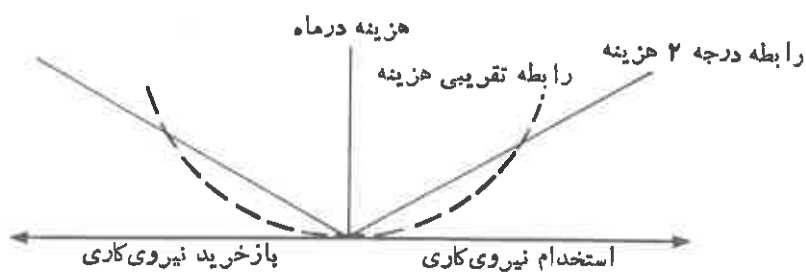
د- هزینه انبارداری و سفارشات عقب افتاده. سفارشات عقب افتاده در این مدل

1. Linear decision rule

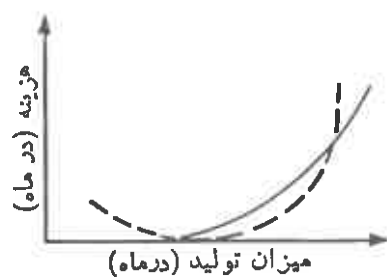
2. Holt et oll. Planning Production, irventories and work force.



شکل ۷-۱۰
هزینه اوقات معمولی

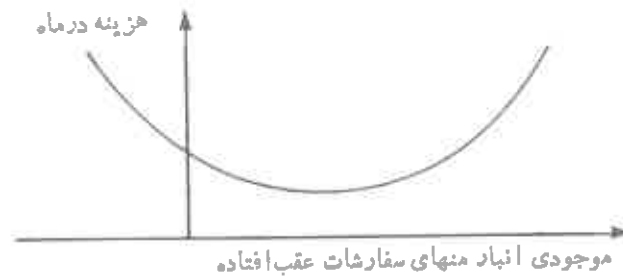


شکل ۷-۱۱
هزینه استخدام و پاخرید



شکل ۷-۱۲
هزینه اضافه کاری

به صورت موجودی منفی تلقی گردیده است. رابطه موجودی انبار و سفارشات عقب افتاده به صورت زیر می باشد (شکل ۷-۱۳).



شکل ۱۳-۷

هزینه‌های انبار، راه‌اندازی سفارشات عقب افتاده

$$C_F(t) = C_F(I_t - C_A - C_V F_t)^2$$

هزینه کل در يك واحد زمانی مشخص عبارتست از مجموع هزینه‌های بالا یعنی:

$$C_{(t)} = C_A(t) + C_V(t) + C_F(t) + C_F(t)$$

و هزینه يك دوره کامل برنامه‌ریزی عبارتست از:

$$C = \sum_{t=1}^T (C_t)$$

مدل تصمیم‌گیری قوانین خطی (LDR) با انتخاب P_t و W_t در هر دوره و براساس حداقل هزینه کل استوار است. این متغیرها همواره در هر دوره به موجودی انبار بستگی دارد. موجودی انبار در هر دوره (t) برابر است با:

$$I_t = I_{t-1} + P_t - F_t$$

راه‌حل بهینه برای به‌دست آوردن P_t و W_t که يك سری قواعد خطی را شامل می‌شوند به‌صورت زیر می‌باشد:

$$P_t = A_0 F_t + A_1 F_{t+1} + \dots + A_T F_{t+T} + B_1 W_{t-1} - D_1 I_{t-1} + E_1$$

$$W_t = A'_0 F_t + A'_1 F_{t+1} + \dots + A'_T F_{t+T} + B'_1 W_{t-1} - D'_1 I_{t-1} + E'_1$$

که در روابط بالا $A_1, A_2, \dots, A_T, B_1, D_1, E_1$ ضرایب ثابت هستند.

در تحقیق شرکت رنگ‌سازی، پیش‌بینی تقاضا تا سه ماه آینده در سطح تولید ماه جاری تأثیر گذاشت در صورتی که پیش‌بینی بلندمدت (۱۲ ماهه)، در میزان نیروی کاری متأثر بود بنابراین تغییرات کوتاه مدت تقاضا به وسیله تغییر در سطح تولید جواب داده

می‌شد و تغییرات بلند مدت تقاضا به وسیله تغییر در اندازه نیروی کاری انجام می‌گرفت.

مدل برنامه‌ریزی خطی^۱

در این مدل با استفاده از فرمولهای برنامه‌ریزی خطی، برنامه مطلوب که در برگیرنده حداقل هزینه است به دست می‌آید. در این مدل حجم تولید، تعداد شیفت، حجم کالای موجود در انبار و سایر عوامل با توجه به ظرفیت تولیدی مؤسسه دقیقاً محاسبه می‌شود. تکنیک برنامه‌ریزی خطی در پیوست شماره ۱ آمده است. در زیر به نحوه فرموله کردن برنامه‌ریزی کلی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌پردازیم. معادله هدف برنامه‌ریزی کلی را می‌توان به صورت زیر تنظیم نمود:

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^T (C_h H_t + C_F L_t + C_o O_t + C_s S_t + C_u U_t + C_I I_t) + C_h H_{T+1} + C_F H_{T+1}$$

که در رابطه بالا:

$C_h =$	هزینه استخدام يك نیروی کاری
$C_F =$	هزینه اخراج یا بازخرید يك نیروی کاری
$H_t =$	تعداد نیروی کاری استخدام شده در دوره t
$L_t =$	تعداد نیروی کاری اخراج شده در دوره t
$O_t =$	میزان تولید در شرایط اضافه کاری در دوره t
$C_o =$	هزینه تولید يك واحد در شرایط اضافه کاری
$C_u =$	هزینه‌ای که به علت تولید يك واحد کمتر از حد معمول به وجود می‌آید
$U_t =$	میزان تولیدی که کمتر از معمول در دوره t صورت می‌گیرد
$C_s =$	هزینه تولید يك واحد توسط پیمانکار
$S_t =$	میزان تولید توسط پیمانکار
$I_t =$	میزان موجودی انبار در انتهای دوره t
$C_I =$	هزینه يك واحد انبارداری در دوره t

1. Linear Programming Model

محدودیت‌ها عبارتند از:

الف- محدودیت نیروی کاری

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t$$

حداکثر نیروی کاری $\leq W_t \leq$ حداقل نیروی کاری• میزان استخدام مجاز در دوره t $\leq H_t \leq t$ • میزان اخراج مجاز در دوره t $\leq L_t \leq t$

ب- تولید

$$P_t = n_t PW_t + O_t - U_t$$

• ظرفیت روزانه مؤسسه $\leq P_t \leq n_t \times$ • درصد اضافه کاری مجاز $\leq O_t \leq (n_t PW_t) \times$ • درصد کم کاری مجاز $\leq U_t \leq (n_t PW_t) \times$ • حداکثر ظرفیت تولید پیمانکاران $\leq S_t \leq$

ج- انبار

$$I_t = I_{t-1} + P_t + S_t - D_t$$

ظرفیت انبار $\leq I_t \leq$ ذخیره ایمنیمدل ضریب همبستگی^۱

در این مدل از اطلاعات و آمار گذشته در مورد نیروی کاری، ظرفیت تولید و موجودی انبار، استفاده می‌شود. این اطلاعات به وسیله تکنیکهای رگرسیون چندمتغیره^۲ تجزیه و تحلیل می‌شوند به طوری که بتوان از آنها معادلات رگرسیونی به دست آورد که اطلاعات گذشته

1. Management Coefficient Model

2. Multiple Regression

را به بهترین وجه نشان دهد. سپس با استفاده از معادلات به دست آمده می‌توان برنامه‌ریزی آینده را انجام داد.

مدل برنامه‌ریزی پارامتری^۱

در این مدل بر آوردی از متغیرهای برنامه‌ریزی به عمل می‌آید و متغیرهای مذکور طوری با هم ترکیب می‌شود که حداقل هزینه به دست آید.

مدل تصمیم‌گیری از طریق جستجو^۲

در این مدل به کمک کامپیوتر بهترین ترکیب متغیرهای برنامه‌ریزی به دست می‌آید. بدین ترتیب که کامپیوتر در ترکیبهای مختلف آنقدر به جستجو ادامه می‌دهد تا روند کاهش هزینه‌ها را به دست آورد و از این طریق برنامه مطلوب حاصل شود.

تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی کلی

همین که برنامه کلی تهیه شد تصمیمهای عملیاتی که همان برنامه‌ریزی کارگاه است، بر مبنای آن صورت می‌گیرد. این برنامه می‌باید همواره به روز در آید و مسائل پیش‌بینی نشده را در بر گیرد. مثلاً اگر پیش‌بینی تقاضا برای فروردین معادل ۴۰۰۰ واحد بود ولی در آخر فروردین متوجه شدیم که تقاضای واقعی بیشتر یا کمتر از مقدار پیش‌بینی آن است و همچنین موجودی انبار با آنچه که برنامه‌ریزی شده بود متفاوت می‌باشد در این صورت برنامه اولیه برای ماه بعد باید بازنگری شود و اطلاعات واقعی را در بر گیرد. وقایع دیگری نیز ممکن است در برنامه تأثیر بگذارد. مثلاً اگر به‌عللی نتوان به میزان برنامه‌ریزی شده برای ماه بخصوصی تولید کرد و یا اینکه نیروی کاری به‌میزان متوسط توانایی خود عمل نکرد برنامه باید طوری طراحی شده باشد که از طریق بازنگری قادر به پاسخگویی در مقابل این تغییرات باشد. پس از بازنگری برنامه‌ریزی جدید معمولاً با استفاده از همان روش برنامه‌ریزی قبلی صورت می‌گیرد با این تفاوت که اطلاعات واقعی ماه قبل به جای اطلاعات پیش‌بینی شده در برنامه جدید منظور می‌شود.

مطالعات اندکی در زمینه مقایسه نتایج تکنیکهای مختلف برنامه‌ریزی کلی (از روش ساده ترسیمی گرفته تا مدل‌های پیچیده ریاضی) انجام گرفته و دلیل این موضوع هزینه زیاد

1. Parametric Production Planning

2. Search decision Model

این نوع مطالعات است. یکی از این مطالعات توسط لی و کواموالا انجام گرفته است. این دو نفر برنامه‌ریزی کلی برای کارخانه‌ای را که معادل ۱۱۰۰ میلیون دلار فروش سالانه دارد با استفاده از سه مدل مختلف برنامه‌ریزی انجام داده، نتایج آن را با هم مقایسه کردند. این کارخانه به صورت سفارشی کار می‌کرد و قطعات در انبار نگهداری می‌شدند تا طبق سفارش مشتری محصول نهایی مونتاژ شود. نتایج استفاده از مدل‌های مختلف برنامه‌ریزی برای این کارخانه در جدول (۷-۱۹) آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید مدل‌های مختلف نتایج متفاوتی را ارائه داده‌اند. مدل «ضریب همبستگی» نسبت به مدل فعلی مؤسسه میزان سودآوری را ۱۸۷۰۰۰ دلار (حدود ۴ درصد) افزایش داده است. در حالی که مدل برنامه‌ریزی از طریق جستجو میزان سودآوری را ۶۰۱۰۰۰ دلار (حدود ۱۴ درصد) افزایش داده است. بدین ترتیب در مقام مقایسه مدل برنامه‌ریزی از طریق جستجو بهترین مدل در مطالعه انجام شده می‌باشد.

این مطالعه نشان‌دهنده اثرات استفاده از مدل‌های مختلف برنامه‌ریزی کلی در بازدهی سیستم‌های تولیدی و خدماتی است. مؤسسات مختلف هر قدر هم کوچک باشند باید حداقل از روش ترسیمی برای برنامه‌ریزی کلی خود استفاده کنند.

مدل‌های برنامه‌ریزی کلی	سود سالانه (به ۱۰۰۰ دلار)
مدل فعلی مؤسسه	۲۴۲۰
مدل ضریب همبستگی	۲۶۰۷
مدل تصمیم‌گیری خطی	۲۸۲۱
مدل برنامه‌ریزی پارامتری	۲۹۰۰
مدل برنامه‌ریزی از طریق جستجو	۵۰۲۱

جدول شماره ۷-۱۹

ارزبایی مدل‌های مختلف از طریق مقایسه میزان سودآوری

1. W. B. Lee & B. M. Khumawala Simulation Testing of Aggregate Production Planning Models in a Implementation Methodology Management Science 20 no. 6 (Feb 1974) pp. 903-11.

مسائل و تمرینات فصل هفتم

- ۷-۱ برنامه‌ریزی کلی را تعریف کرده، هزینه‌های مرتبط در تعیین يك برنامه کلی را مشخص کنید.
- ۷-۲ پیش‌بینی، چه نقشی در جریان برنامه‌ریزی کلی دارد؟
- ۷-۳ چه عواملی را برای تعیین يك دوره زمانی باید در نظر گرفت؟
- ۷-۴ نکات مثبت و منفی سه استراتژی برنامه‌ریزی کلی را بیان کنید.
- ۷-۵ مشکلات برنامه‌ریزی در واحدهای تولیدی و خدماتی را شرح دهید.
- ۷-۶ برنامه‌ریزی کلی براساس پیش‌بینی تقاضا صورت می‌گیرد. اما پس از اینکه پیش‌بینی انجام شد، معمولاً تقاضای واقعی دقیقاً مطابق با تقاضای پیش‌بینی شده نمی‌باشد. در چنین صورتی جریان برنامه‌ریزی کلی چگونه دنبال می‌شود؟
- ۷-۷ با توجه به شکل (۷-۲) و (۷-۳) و جدول (۷-۴) و (۷-۱۰) يك برنامه کلی بهتر برای تولید چادر و انت طراحی کنید.
- ۷-۸ با توجه به جدول (۷-۱۵) يك برنامه کلی بهتر برای ارائه خدمات شهرداری طراحی کنید.
- ۷-۹ فرض کنید که در مسئله ۱ موجودی انبار در ابتدای دوره معادل ۱۰۰۰۰ چادر می‌باشد، با استفاده از روش ترسیمی يك برنامه کلی، تحت این شرایط طراحی کنید.
- ۷-۱۰ فرض کنید که در مسئله ۱ سفارشهای عقب افتاده مجاز می‌باشد. هزینه‌ای که از

نداشتن کالا به وجود می آید ۱۰۰ ریال برای هر واحد در ماه است با استفاده از روش ترسیمی يك برنامه کلی برای تولید چادر طراحی کنید.

۷-۱۱ مسئله ۱ را در نظر بگیرید. پس از اینکه سه ماه از اجرای برنامه گذشته، اطلاعات زیر به دست آمده است. تقاضای واقعی در فروردین برابر با ۵۰۰۰ واحد، اردیبهشت ۱۲۰۰۰ و خرداد ۱۴۰۰۰ واحد می باشد. براساس پیش بینی تقاضا برای بقیه ماههای سال بازنگری شده و به صورت زیر تغییر کرده است.

پیش بینی تقاضا	ماه	پیش بینی تقاضا	ماه
۱۸۰۰۰	آذر	۲۴۰۰۰	تیر
۱۲۰۰۰	دی	۲۵۰۰۰	مرداد
۱۰۰۰۰	بهمن	۲۱۰۰۰	شهریور
۷۰۰۰	اسفند	۱۶۰۰۰	مهر
		۱۶۰۰۰	آبان

الف - برنامه را با توجه به اطلاعات به دست آمده اصلاح کنید.
ب - هزینه های این برنامه را چگونه با هزینه های برنامه قبلی مقایسه می کنید؟ توضیح دهید.

۷-۱۲ شرکتی تقاضای محصول خود را در بازار سال آینده به صورت زیر برآورد کرده است:

ماه	روزهای کاری	تقاضا (واحد)
فروردین	۲۲	۸۰۰۰
اردیبهشت	۱۹	۱۲۰۰۰
خرداد	۲۱	۱۸۰۰۰
تیر	۲۲	۲۰۰۰۰
مرداد	۲۱	۲۸۰۰۰
شهریور	۲۱	۲۵۰۰۰
مهر	۲۲	۲۶۰۰۰
آبان	۱۱	۱۶۰۰۰
آذر	۲۱	۱۸۰۰۰
دی	۲۲	۱۴۰۰۰
بهمن	۱۸	۹۰۰۰
اسفند	۲۱	۷۰۰۰

در حال حاضر تعداد ۱۵۰ نفر در استخدام شرکتند که بازدهی متوسط هر کارگر ۱۲ عدد در روز می باشد. ظرفیت روزانه را می توان توسط اضافه کاری تا ۳۵ درصد افزایش داد که در این صورت هزینه اضافی در ساعات اضافه کاری برای هر واحد کالا ۲۵ تومان می باشد. دستمزد روزانه معمولی هر کارگر ۳۰۰ تومان است. هزینه انبار کردن کالا در انبار ۲۵ تومان در ماه برای هر واحد می باشد. هزینه کمبود کالا ۱۵۰۰ تومان در ماه برای هر واحد کمبود می باشد. هزینه استخدام و آموزش هر نفر ۳۰۰۰ تومان و هزینه باز خرید و اخراج هر نفر ۲۰۰۰ تومان می باشد. هزینه ساخت هر واحد محصول توسط پیمانکار ۸۰ تومان می باشد. هم اکنون تعداد ۵۰۰۰ واحد از این محصول در انبار شرکت وجود دارد. برنامه کلی سال آینده شرکت را با توجه به اطلاعات فوق طراحی کنید.

۷-۱۳ يك شرکت توليدي به منظور افزایش کارایی و کاهش هزینه ها، طرح های مختلفی را مورد مطالعه قرار می دهد. یکی از این طرح ها امکان کاهش در میزان موجودی انبار را بررسی می کند.

پیش بینی تقاضای کلی این شرکت برای سال آینده به صورت زیر آورده شده است.

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
پیش بینی تقاضا	۸۵	۴۵	۱۲۰	۲۱۰	۱۴۵	۲۵	۵۰	۵۰	۱۱۰	۹۰	۱۰۰	۵۰

در حال حاضر ۴۵۰ نفر در استخدام این شرکت می باشند. بازدهی هر کارگر ۱۰۰ واحد کالا در روز است. به عبارت دیگر برای تولید يك واحد (کلی) ۱۰۰ روز يك کارگر مورد نیاز است. حداکثر میزان تولید با استفاده از اضافه کاری و ساعات معمولی و دیگر منابع موجود برابر ۷ واحد در روز می باشد. همچنین بر اساس سیاست هیأت مدیره شرکت، حداقل تعداد کارکنان ۴۰۰ نفر تعیین شده است. در حال حاضر ۵۰ واحد کالا در انبار این شرکت وجود دارد. هزینه تولید در شرایط اضافه کاری برای هر واحد ۲۰۰۰۰۰۰ ریال بیش از شرایط عادی است و همچنین انبارداری هر واحد در ماه برابر ۱۰۰۰۰۰۰ ریال می باشد. (روزهای کاری در هر ماه را برابر ۲۰ روز فرض کنید).

الف - منحنی تقاضای تراکمی را رسم کنید و محدوده‌های بالا و پایین تولید را روی آن نشان دهید. (منحنیها را با دقت رسم کنید و عملیات خود را برای محاسبه شیب منحنی‌ها در ورقه نشان دهید).

ب - نقاط منحنی LCP را محاسبه کنید.

ج - يك برنامه تولید با استفاده از حداقل نیروی کاری و اضافه‌کاری پیشنهاد سپس هزینه اضافه‌کاری و هزینه موجودی انبار را در این برنامه محاسبه کنید.

د - برنامه به‌دست آمده در بند ۳ را با برنامه فعلی سازمان (۴۵۰ نفر) مقایسه و میزان تغییر در موجودی انبار را محاسبه کنید.

ه - مقادیر محاسبه شده برای منحنی‌های LCP و MCP چه اطلاعاتی به طراح برنامه می‌دهد؟

و - با چه نیروی کاری می‌توان برنامه‌ای بین منحنی LCP و منحنی نقاط طراحی کرد. چرا؟

۷-۱۶ شرکت پوشاك كاوه تولیدکننده ۲۸ نوع بلوز مختلف می‌باشد. میزان تقاضای کلی برای شش ماه آینده به‌صورت زیر برآورد شده است:

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
پیش‌بینی	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰

زمان لازم برای تولید هر کدام از بلوزها با هم برابر است. در حال حاضر شرکت كاوه ۹ نفر کارگر در استخدام دارد که این تعداد می‌توانند ۴۵۰۰ بلوز در ماه در شرایط معمولی و ۹۰۰ بلوز در ماه در شرایط اضافه‌کاری تولید کنند. هزینه تولید هر بلوز ۲۰۰۰ ریال است که ۱۰۰۰ ریال آن از بابت مواد اولیه و ۱۰۰۰ ریال دیگر از بابت دستمزد می‌باشد. اگر بلوز در زمان اضافه‌کاری تولید شود هزینه دستمزد آن به ۱۵۰۰ ریال افزایش خواهد یافت که با احتساب مواد اولیه، هزینه تولید آن ۲۵۰۰ ریال می‌شود. هزینه استخدام و آموزش هر کارگر جدید ۲۰۰۰۰۰ ریال است و هر کارگر جدید قادر است ۵۰۰ عدد بلوز در شرایط معمولی و ۱۰۰ عدد در شرایط اضافه‌کاری تولید کند. میزان دستمزد کارگران جدید برابر دستمزد کارگران قدیمی است. همچنین هزینه اخراج هر کارگر ۲۰۰۰۰۰ ریال است. هزینه انبارداری هر واحد محصول ۴۰۰ ریال در ماه می‌باشد (تعداد روزهای کاری در هر ماه را ۲۵ روز فرض کنید).

الف - محدوده های برنامه تولید را رسم کنید.

ب - محدوده های برنامه کلی تولید شرکت کاوه را به دست آورید. (نقاط منحنی LCP و MCP را محاسبه کنید).

ج - مدیریت شرکت کاوه در نظر دارد که همواره تقاضای مشتریان خود را جوابگو باشد در این صورت آیا نیروی کاری موجود می تواند جوابگوی تقاضا باشد؟
د - آیا با استفاده از اضافه کاری می توان زمان اوج تقاضا را برآورده کرده و یا استخدام جدید باید صورت گیرد؟ هزینه برنامه با استفاده از اضافه کاری و همچنین با استفاده از استخدام نیروی جدید را به دست آورید و باهم مقایسه کنید.

۷-۱۵ در کارخانه سامان کسه تولیدکننده وسائل خانگی است، افزایش تولید از طریق استخدام نیروی جدید برای شیفت فعلی ممکن نیست. زیرا خط تولید گنجایش بیش از تعداد فعلی را ندارد اما این شرکت می تواند با دایر کردن يك شیفت دوم و یا بسا اضافه کاری تولید را افزایش دهد. اگر شرکت شیفت دوم را دایر کند تولید دو برابر می شود (شرکت سامان هیچ گاه پایتتر از حداکثر ظرفیت هر شیفت کار نمی کند) کارگران شیفت دوم را می توان برای دومه یا چهار ماه و یا به طور دائم استخدام کرد. میزان پیش بینی تقاضا برای ۸ ماه سال ۱۳۶۶ در جدول زیر نشان داده شده است.

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
تقاضا بعدد	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۳۸۰۰	۴۰۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۸۱۰۰	۸۱۰۰۰

سایر اطلاعات مربوط در زیر آمده است:

- هزینه انبارداری هر واحد محصول درماه = ۴۰۰۰ ریال
- دستمزد هر کارگر درماه برای هر شیفت = ۸۰۰۰۰ ریال
- هزینه اضافه کاری = ۵۰ درصد بیشتر از هزینه معمولی
- هزینه استخدام = ۱۰۰۰۰۰۰ ریال برای کلیه افراد شیفت دوم
- هزینه اخراج = ۴۰۰۰۰۰۰ ریال برای کلیه افراد شیفت دوم
- حجم تولید = ۵۰۰۰ واحد درماه در هر شیفت
- حجم تولید توسط اضافه کاری = ۱۲۵۰ واحد درماه در هر شیفت
- میزان موجودی انبار در اول دوره = ۱۵۰۰ عدد

الف - منحنی مجموع تقاضا را رسم کنید و سپس محدوده‌های تولید را برای شیفت اول بر روی آن نشان دهید.

ب - نقاط منحنیهای محدوده تولید در بند الف را با استفاده از محاسبات ریاضی به دست آورید.

ج - حداقل هزینه را با استفاده از اضافه کاری و یک شیفت کار به دست آورید.
د - حداقل هزینه برنامه را با استفاده از شیفت اول و شیفت دوم (بدون اضافه کاری) به دست آورید.

ه - آیا تلفیق بندهای ج و د برنامه بهتری را ارائه می‌دهد؟

۷-۱۶ بازار تقاضای محصولی برای شش ماه آینده به صورت زیر برآورد شده است.

ماه	روزهای کاری	تقاضا (واحد)
فروردین	۲۲	۸۰۰۰
اردیبهشت	۱۹	۱۲۰۰۰
خرداد	۲۱	۱۳۰۰۰
تیر	۲۲	۲۵۰۰۰
مرداد	۲۱	۲۸۰۰۰
شهریور	۲۱	۳۰۰۰۰

با توجه به آمار تقاضا، مدیریت تصمیم گرفته که برای شش ماه آینده دوسطح تولید مختلف یکی برای سه ماهه اول و دیگری برای سه ماهه دوم اختیار کند به طوری که در هر دوسطح تولید مؤسسه همواره جوابگوی تقاضای بازار باشد. اگر بازدهی هر کارگر ۱۰ عدد کالا در روز و دستمزد روزانه هر کارگر ۳۰۰ تومان و هزینه انبار کردن هر واحد کالا در انبار در هر ماه ۳۰ تومان باشد (از هزینه استخدام و اخراج صرف نظر کنید).

الف - تولید روزانه در هر دوسطح تولید را به دست آورید.

ب - منحنی تولید را رسم کنید.

ج - هزینه برنامه تولید را با توجه به استراتژی مدیریت به دست آورید.

۷-۱۷ یک کارخانه تراشکاری سه نوع قطعه که در ساخت اتومبیل به کار می‌رود تولید می‌کند. پیش‌بینی فروش برای هشت ماه آینده به صورت زیر برآورد شده است.

ماه / قطعات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
الف	۴۰	۵۰	۵۵	۵۰	۸۰	۹۰	۸۰	۶۰
ب	۳۵	۳۵	۴۰	۳۵	۵۰	۶۰	۵۰	۴۰
ج	۲۰	۱۵	۱۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۵	۲۵

مدت زمان کار برای ساخت هر واحد از قطعات فوق برابر ۱۰۰ ساعت می باشد. هزینه انبارداری هر قطعه در سال ۲۰ درصد ارزش آن قطعه بوده و ارزش هر یک از قطعات الف، ب و ج به ترتیب برابر ۱۰۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۴۰۰۰ ریال می باشد.

۱- یک واحد مشترک برای برنامه ریزی کلی این کارخانه انتخاب کنید و سپس میزان تقاضای کلی در هر ماه را فقط محاسبه کنید (نیازی به رسم منحنی تقاضای کلی نمی باشد).

۲- در مواقعی که تقاضا کمتر از ظرفیت تولیدی می باشد، ترجیح می دهد کدام یک از کالاها به منظور انبار کردن تولید شود.

۷-۱۸ شرکت صنعتی X کالایی را تولید می کند که تقاضا برای آن در ماههای مختلف یکسان نیست. این شرکت دارای ۲۰ نفر کارگر می باشد که تولیدات روزانه هر کارگر به طور متوسط ۱۵ واحد کالا و تولید هر کارگر در شرایط اضافه کاری روزی ۵ واحد می باشد.

هزینه دستمزد برای هر کارگر در ماه ۲۲۵۰۰ ریال است و در شرایط اضافه کاری هزینه دستمزد ۲۰٪ افزایش می یابد. هزینه تولید یک واحد کالا (هزینه مواد-سربار) ۶۰ ریال برآورد شده است، طبق انبارگردانی در تاریخ ۱۳۶۱/۱۲/۲۹ موجودی انبار ۲۴۰۰ واحد کالا می باشد. طبق نظرخواهی از کارگران در استخدام شرکت، از ۲۰ نفر کارگران فقط ۱۰ نفر از آنان حاضر به اضافه کاری هستند و آن هم برای ۱۴ روز در هر ماه. هزینه انبارداری هر واحد کالا در ماه ۲۰۰ ریال می باشد.

با توجه به جدول تقاضای پیش بینی شده برای ۹ ماهه اول سال ۱۳۷۲

الف - محدوده های تولید را مشخص و رسم کنید.

ب - محدوده های تولید را محاسبه کنید.

۳۱۴ □ مدیریت تولید

ج - با توجه به اینکه شرکت می‌خواهد هیچ گاه کمبود نداشته باشد هزینه‌ها حداقل گردد برنامه‌ای پیشنهاد هزینه کل برنامه را برآورد کنید.

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
روزهای کاری	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
تقاضا	۷۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	۷۰۰۰	۶۰۰۰	۵۵۰۰	۶۵۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰



برنامه‌ریزی در سیستم‌های تولید غیر پیوسته^۱

سیستم‌های تولیدی و خدماتی با توجه به خصوصیات خود یا به صورت پیوسته عمل می‌کنند و یا به صورت غیر پیوسته. سیستم پیوسته آن چنان سیستمی است که در آن، کالاهای همگن به مقدار زیاد تولید می‌شوند در صورتی که در سیستم غیر پیوسته کالاهای متنوع به مقدارهای معین (اغلب بر اساس سفارش) تولید می‌شوند. اکثر سیستم‌های تولیدی و خدماتی نه به صورت کاملاً پیوسته عمل می‌کنند و نه به صورت کاملاً غیر پیوسته، بلکه ترکیبی از این دو سیستم می‌باشند. در بخش‌های گذشته مشخصات سیستم غیر پیوسته و طرز استقرار ماشین‌آلات در این سیستم مطرح شد. همان‌طور که بحث شد در سیستم غیر پیوسته ماشین‌آلات مشابه با توجه به نوع کار در یک محل مستقر می‌شوند. هر سفارش ممکن است روش انجام کار منحصر به خود را داشته باشد. از آنجا که مشخصات هر سفارش با مشخصات دیگری متفاوت است، اطلاعات راجع به هر سفارش به‌طور جداگانه نگهداری می‌شود. به‌طور خلاصه هر سفارش ممکن است مراحل انجام کار، مواد اولیه، روش انجام و زمان تحویل متفاوت داشته باشد.

در صنعت، سیستم غیر پیوسته شامل سیستم‌های سفارشی می‌باشند. به محض دریافت

1. Job shop

يك سفارش جدید، میزان کار کارگاه افزایش می‌یابد. بعضی از ماشین‌آلات ممکن است بیکار باشند و بعضی دیگر بیشتر از ظرفیت خود کار داشته باشند. پس از تکمیل يك سفارش، ماشین‌آلات باید برای انجام سفارش بعدی دوباره، تنظیم شوند. ترتیب قرار گرفتن سفارشها در خط انتظار در بازدهی سیستم غیر پیوسته بسیار مهم می‌باشد. با توجه به این ترتیب است که می‌توان مواردی از قبیل: مدت زمانی که سفارشها دیرتر از موعد مقرر تحویل می‌شوند، هزینه راه‌اندازی ماشین‌آلات^۲، زمان تحویل^۳، هزینه انبارداری^۴ و میزان تراکم کار در کارگاه^۵ را معین کرد. از این رو برنامه‌ریزی سیستمهای غیر پیوسته کار ساده‌ای نیست و بازدهی این برنامه نیاز به خلاقیت و ابتکار مدیر عملیاتی دارد.

سیستم غیر پیوسته هم در صنعت و هم در خدمات وجود دارد. سیستمهای خدماتی غیر پیوسته معمولاً بر اساس سفارش عمل می‌کنند مثلاً در رستوران غذا بر اساس سفارش مشتری تهیه می‌شود و یا يك مغازه تعمیر ساعت، تعمیرات مختلف ساعت را بر اساس سفارش مشتری انجام می‌دهد.

انواع برنامه‌ریزی در سیستمهای غیر پیوسته و روشهای آن

برنامه‌ریزی در سیستمهای غیر پیوسته شامل فعالیت‌های چندی است. هدف اصلی برنامه‌ریزی تخصیص منابع برای تولید کالا و یا خدمات با توجه به تقاضا می‌باشد.

۱- برنامه‌ریزی کلی^۶

در این مرحله از برنامه‌ریزی، بازدهی سیستم و منابع ورودی آن در يك محدوده زمانی مشخص به صورت کلی تعیین می‌شوند. مثلاً ممکن است در يك برنامه ماهیانه تولید ۱۰۰۰ واحد از کالایی با استفاده از ۲۰ نفر طراحی شود. در این مرحله از برنامه‌ریزی تصمیم‌گیرهای تفصیلی و جزء به جزء انجام نمی‌گیرد. این برنامه تفاوتی میان تولید تمامی ۱۰۰۰ واحد کالا قائل نمی‌شود. به عبارت دیگر برنامه تولید هر کدام از این کالاها مانند دیگری طراحی می‌شود. زمان تقویمی و ترتیب انجام هر کدام از این ۱۰۰۰ واحد در طول

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. Job lateness | 2. Setup cost |
| 3. delivery time | 4. inventory cost |
| 5. degree of congestion | 6. Aggregate Planning |

ماه تعیین نمی‌شود. همچنین در این برنامه مشخص نیست که کدام کالا توسط کدام يك از ۲۰ نفر نیروی کاری باید تولید شود.

۲- برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات^۱

پس از اینکه برنامه‌ریزی کلی تعیین شد برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات که مفصل‌تر از برنامه‌ریزی کلی است طراحی می‌شود. این برنامه کار کارگاه‌های مختلف يك کارخانه را به تفكيك مشخص می‌کند. در این برنامه کارها و سفارشات به کارگاه‌های مختلف تخصیص داده شده و مقدار بار هر کارگاه تعیین می‌شود. تخصیص کارها به منابع انجام آن را برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات می‌نامند.

۳- تعیین ترتیب اولویت انجام سفارشات^۲

در این مرحله ترتیب انجام سفارشهایی که در خط انتظار هستند مشخص می‌شود. بدین‌منظور باید روشهایی برای تعیین تقدم و تأخر انجام سفارشات طراحی کرد که در این مورد بعداً بحث خواهد شد.

۴- برنامه‌ریزی تفصیلات^۳

در برنامه‌ریزی تفصیلات زمان تقویمی انجام فعالیتها در کارگاه‌های مختلف و همچنین زمان تحویل سفارشات مشخص می‌شود. پس از اینکه قواعدی برای تعیین ترتیب انجام سفارشات معین شد تقدم و تأخر سفارشات در خط انتظار مشخص می‌شود، آنگاه برنامه‌ریز می‌تواند با توجه به برآورد زمان انجام هر سفارش و زمان تحویل آن، زمان شروع و خاتمه هر سفارش را تعیین کند. این عمل همان برنامه‌ریزی تفصیلات است. پس از این مرحله از برنامه‌ریزی، سفارش از قسمت برنامه‌ریزی خارج می‌شود و در اختیار کارگاه قرار می‌گیرد. در این مرحله است که برنامه از واحدهای ستادی به واحدهای عملیاتی انتقال می‌یابد. حال مراحل بالا را به تفصیل شرح می‌دهیم.

1. loading

2. Priority Sequencing

3. detailed scheduling

۱- طراحی برنامه‌ریزی کلی

در فصل قبل برنامه‌ریزی کلی در سیستم‌های پیوسته مورد بررسی قرار گرفت. این برنامه را می‌توان در سیستم‌های غیر پیوسته نیز به ترتیب زیر به کار برد.

۱- در بلندمدت ظرفیت کلی و امکانات فنی مؤسسه برای رسیدن به تقاضای بلندمدت بازار تعیین می‌شود.

۲- در کوتاه مدت ظرفیت و امکانات ثابت هستند. هدف در سیستم‌های غیر پیوسته آنست که از ظرفیت و امکانات موجود به طور مطلوب استفاده شود. این کار را می‌توان در دو مرحله خلاصه کرد.

الف- يك دوره زمانی کوتاه انتخاب می‌شود. حداکثر ظرفیت تولیدی با پیش‌بینی تقاضا در آن دوره زمانی مقایسه می‌شود. سپس تقاضا به ظرفیت تولیدی تخصیص داده می‌شود. این مرحله از برنامه‌ریزی بازدهی کلی در آن دوره را مشخص می‌کند.

ب- تهیه و تأمین نیروی انسانی برای رسیدن به سطح بازدهی کلی برنامه‌ریزی می‌شود. با انجام مراحل بالا می‌توان برنامه کلی در سیستم‌های غیر پیوسته را طراحی کرد.

۲- برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات

تخصیص کارها به منابع انجام آن نظیر ماشین‌آلات را برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات نامند. با توجه به ماشین‌آلات و ظرفیت موجود این سؤال مطرح می‌باشد که کدام سفارش به کدام ماشین تخصیص داده شود. اگر تنها يك ماشین برای انجام کارها وجود داشته باشد نحوه کار تقریباً مشخص است اما اگر ماشین‌آلات مختلفی قادر به انجام يك سفارش بخصوصی باشند در مورد انتخاب ماشین باید تصمیم گرفت. تکنیک‌های مختلفی برای انجام این کار وجود دارند. در اینجا نمودار گانت^۱ که يك تکنیک ترسیمی است مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۲. برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات با استفاده از نمودار گانت

نمودار گانت به ساده‌ترین صورت در شکل ۱-۸ نشان داده شده است. این نمودار برنامه يك کارخانه تعمیر هواپیما را نشان می‌دهد که شامل چهار کارگاه است و در حال حاضر پنج سفارش در دست اقدام دارد. هواپیماهای A، B، C، D، E همگی احتیاج به تعمیرات

1. The Gantt load chart

فعالیت	زمان به روز
آهن‌کاری	۵۵ ۵۰ ۴۵ ۴۰ ۳۵ ۳۰ ۲۵ ۲۰ ۱۵ ۱۰ ۵
الکترونیک	۵۵ E ۴۴ D ۳۵ C ۲۱ B ۴ A
رنگ‌کاری	۴۲ D ۱۶ B ۱۲ A
هیدرولیک	۳۲ C ۲۱ B ۱۲ D ۵ A
	۲۶ E ۱۲ C

شکل ۸-۱

نمودار گانت برای کارخانه تعمیر هواپیما

آهن‌کاری و هواپیماهای A، B و D نیاز به کارهای الکتریکی دارند. همچنین این نمودار جمع روزهای کاری هر کارگاه را نشان می‌دهد. مثلاً کارگاه آهن‌کاری جمعاً ۵۵ روز و کارگاه رنگ‌کاری جمعاً ۳۲ روز کار دارند. تاریخ تکمیل سفارشها و همچنین ترتیب انجام سفارشها در نمودار مشخص نیست. یکی از مزایای نمودار گانت، سادگی آن است. این نمودار، اطلاعات مهم یک کارگاه را به صورتی ساده بیان می‌کند. از طرفی این نمودار دارای محدودیتهایی نیز می‌باشد. از آنجا که نمودار گانت وضعیت ماشین‌آلات را در یک مقطع زمانی مشخص تعیین می‌کند نمی‌توان نمودار را با وضعیت واقعی کار همواره مطابقت داد. به عبارت دیگر وقایعی مانند خرابی ماشین‌آلات، نوسانهای بسازدهی نیروی انسانی و غیره می‌توانند دقت برآورد بار ماشین‌آلات را کاهش دهند. همچنین این نمودار حالت ثابت دارد و همواره باید به لحاظ ورود سفارشهای جدید به روز درآورده شود و زمان سفارشهای موجود بازنگری گردد.

نمودار گانت به صورتی واضح بار ماشین‌آلات در کارگاههای مختلف و یا بار ماشین‌آلات مختلف را نشان می‌دهد و هر زمان که کار بر روی یک ماشین بیش از ظرفیت موجود باشد به مدیران هشدار می‌دهد که برنامه موجود را بازنگری کنند. مثلاً ممکن است در این گونه موارد نیروی انسانی از کارگاههایی که کار کمتری دارند به کارگاههایی که

کار بیشتری باید انجام دهند انتقال یا بند و یا نیروی انسانی به طور موقت برای کارگاههای پرکارتر افزایش یابد. همچنین می توان با انتقال ماشین آلات مناسب از کارگاههای دیگر به کارگاههای پرکار، مشکل عدم توازن کار ماشین آلات را حل کرد. در بعضی موارد نیز آن دسته از سفارشهایی که قابل انجام در کارگاههای دیگر هستند به آن کارگاهها انتقال داده می شوند. در مورد کاربرد نمودار گانت در برنامه ریزی تفصیلی بعداً بحث خواهیم کرد.

۲-۲. برنامه ریزی بار ماشین آلات با استفاده از روش تخصیص منابع^۱

این روش حالت خاصی از برنامه ریزی خطی می باشد. این روش را می توان در مواردی که تعداد سفارشها برابر تعداد ماشین آلات و یا کارگاهها است به کار برد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.

مثال:

کارگاه آهنگری يك کارخانه چهار سفارش در دست دارد. چهار ماشین که همگی قادر به انجام هر چهار سفارش هستند در کارخانه موجود می باشد. سفارشها را چگونه به ماشینها تخصیص می دهید؟

در این روش حتماً باید هر ماشین فقط برای انجام يك سفارش تخصیص داده شود. همچنین معیارهایی برای ارزیابی نحوه تخصیص منابع باید انتخاب کرد. این معیارها ممکن است حداقل هزینه های عملیاتی، حداقل زمان تکمیل سفارش و یا حداکثر سود باشد. فرض کنید در مثال بالا حداقل زمان لازم برای انجام سفارشات معیار مورد نظر باشد. در جدول (۸-۱) برآورد زمان انجام هر سفارش با به کارگیری هر ماشین ذکر شده است. همان طور که جدول نشان می دهد حداقل زمان انجام سفارش ۱ توسط ماشین A انجام پذیر است. از طرفی ماشین A برای انجام سفارش ۳ نیز بهترین می باشد. از آنجا که هر ماشین باید فقط يك سفارش را انجام دهد روش تخصیص مطلوب چگونه می باشد؟

در این گونه موارد از تکنیک تخصیص منابع می توان استفاده کرد. برای تخصیص سفارشها به ماشین آلات مختلف، مراحل زیر باید طی شود.

۱- کوچکترین عدد ممکنه را در هر ستون از بقیه اعداد آن ستون کم کنید: (جدول

۸-۱ ب). در این مرحله حداقل يك صفر در هر ستون به وجود می آید.

۲- در جدول به دست آمده کوچکترین عدد ممکنه در هر ردیف را از بقیه اعداد آن

ردیف کم کنید. در مورد مثال بالا این مورد را فقط می توان برای ردیفهای ۱ و ۲ انجام

1. assignment Method

D	C	B	A	ماشین آلات
				سفارشات
۱۴	۲۱	۱۶	۱۳	۱
۱۴	۱۹	۱۳	۱۷	۲
۱۶	۲۰	۱۶	۱۲	۳
۱۱	۱۷	۱۲	۲۰	۴

جدول شماره ۸-۱ (الف)

داد زیرا در بقیه ردیفها کوچکترین عدد ممکنه صفر می باشد (جدول ۸-۱ ج). اگر در مرحله ۱ در هر ردیف حداقل يك صفر به وجود آمده باشد در این صورت به مرحله ۲ دیگر نیازی نیست و این مرحله حذف می شود.

۳- حداقل خطهای افقی یا عمودی که بتواند صفرها را بپوشاند بکشید. در جدول (۸-۱ ج) سه خط می تواند تمام صفرها را بپوشاند. اگر تعداد خطها برابر تعداد ردیفها و یا ستونها باشد جواب مطلوب به دست آمده است در غیر این صورت جدول باید تغییر کند. در مورد مثال بالا به جای چهار خط (تعداد ردیفها و یا ستونها) فقط سه خط تمام صفرها را پوشانده بنا بر این مرحله بعدی مورد نیاز می باشد.

D	C	B	A	ماشین آلات
				سفارشات
۳	۴	۴	۱	۱
۳	۲	۱	۵	۲
۵	۳	۴	۰	۳
۰	۰	۰	۸	۴

جدول شماره ۸-۱ (ب)

ماشین آلات	سفارشات			
	D	C	B	A
۱	۲	۳	۳	۰
۲	۲	۱	۰	۴
۳	۵	۳	۲	۰
۴	۰	۰	۰	۸

جدول شماره ۸-۱ (ج)

۴- در جدول (۸-۱ ج) کوچکترین عددی که به وسیله هیچ خطی پوشانده نشده (یعنی ۲) را از بقیه اعداد پوشانده نشده کم کنید. سپس همین عدد را به اعداد محل برخورد خطها (عدد ۲ در ردیف ۲ و عدد ۸ در ردیف ۴) اضافه کنید. این اعداد به ترتیب ۶ و ۱۰ خواهند شد. بقیه اعدادی که پوشانده نشده اند را بدون تغییر بنویسید. جدول (۸-۱ د).

۵- مرحله ۳ را تکرار کنید. در جدول (۸-۱ د) حداقل تعداد خطهایی که بتواند تمامی صفرها را پوشاند ۴ خط می باشد ممکن است این خطوط را بتوان به گونه های مختلف رسم کرد، ولی در نتیجه نهایی تفاوتی ایجاد نمی کند. اگر هنوز تعداد خطها برابر تعداد ستونها و یا ردیفها نبود مرحله ۴ را دوباره تکرار می کردیم تا تعداد خطها برابر

ماشین آلات	سفارشات			
	D	C	B	A
۱	۰	۱	۱	۰
۲	۲	۱	۰	۶
۳	۳	۱	۲	۰
۴	۰	۰	۰	۱۰

جدول شماره ۸-۱ (د)

تعداد ستون‌ها شود. هنگامی که تعداد خط‌ها برابر تعداد ستون‌ها شود می‌توان جواب مطلوب را محاسبه کرد.

ع- با عدد صفری که در ردیف و یا ستون خود نك باشد می‌توان تخصیص کار به ماشین را شروع کرد. (اگر چنین صفری وجود نداشت می‌توان با هر صفری کار را آغاز کرد) در مثال فوق نقاط مورد نظر (صفرها) که در ردیف یا ستون خود منحصر به فرد هستند عبارتند از A۳، B۲ و C۴. به عبارت دیگر سفارش شماره ۳ به ماشین A تخصیص داده می‌شود و همین‌طور سفارش ۲ به ماشین B و سفارش ۴ به ماشین C اختصاص می‌یابد. حال با توجه به جدول مشاهده می‌شود که ماشین D را می‌توان برای انجام سفارش ۱ یا ۴ در نظر گرفت اما چون سفارش ۴ قبلاً به ماشین C تخصیص یافته بنابراین سفارش ۱ به ماشین D تخصیص می‌یابد. اکنون حداقل زمان ممکن را می‌توان با مراجعه به جدول (۱-۸الف) به ترتیب زیر محاسبه کرد.

$$\text{روز } ۵۶ = ۱۲ + ۱۳ + ۱۷ + ۱۴ = \text{زمان}$$

۲-۳. محدودیتهای روش تخصیص منابع

کاربرد این روش دارای محدودیتهایی است. اولاً اگر تعداد سفارشها برابر تعداد ماشینها نباشد باید تغییراتی در این روش داده شود که خارج از بحث این کتاب است. دوم اینکه این روش سفارشهای جدیدی را که ممکن است به‌طور دائم برسد در نظر نمی‌گیرد. به عبارت دیگر این روش يك روش مقطعی است و پویا نمی‌باشد. فرض کنید این روش را به‌صورت هفتگی برای سفارشهای جدید به کار بریم پس از چند هفته ممکن است بار يك ماشین در مقابل ماشینهای دیگر بسیار زیاد گردد. در این گونه موارد معمولاً می‌توان از نمودار گانت برای حفظ تعادل بار ماشین آلات استفاده کرد. به‌طوری‌که با توجه به موعد تحویل سفارشها، سفارشهای بعدی به ماشین آلات کم بارتر تخصیص داده شود و بالاخره معمولاً هر سفارش را نمی‌توان با هر ماشین انجام داد. بعضی از کارها فقط با يك ماشین قابل انجام است. در این موارد مسأله انتخاب ماشین وجود نداشته و این روش را نمی‌توان به کار برد.

۳- تعیین ترتیب اولویت انجام سفارشها (ترتیب و توالی انجام سفارشها)

فعالیت‌های سیستم غیر پیوسته را می‌توان در قالب يك سیستم خط انتظار مجسم کرد. سفارشها در هر کارگاه برای انجام در خط انتظار قرار می‌گیرند. تعیین توالی انجام این سفارشها را تعیین اولویت می‌نامند و تصمیم‌گیری در این زمینه بسیار مهم است. برای

روشن شدن مطلب به يك مثال توجه كنيد. فرض كنيد كه پنج سفارش در كارگاه آهن‌كاری كارخانه تعمیر هواپیما كه قبلاً بدان اشاره شد وجود دارد. این سفارشات در طول هفته گذشته داده شده است. اگر شما سرپرست كارگاه باشید چگونه ترتیب انجام این پنج سفارش را تعیین می‌كنید؟ می‌دانیم كه ۵ یا ۱۲۰ دقیقه مختلف برای انجام این كار وجود دارد. طرق متداول تعیین توالی انجام سفارشات عبارتند از:

۳-۱. انجام سفارشات به ترتیب دریافت آنها (FCFS)

اگر بخواهید در انجام سفارشهای مشتریان خود به گونه‌ای عادلانه رفتار كنید، بهتر است از روش FCFS استفاده كنید. در جدول (۲-۸) سفارشات به ترتیب حروف الفبا دریافت شده‌اند و موعد تحویل سفارشات در جدول آمده است:

ترتیب سفارشات	زمان تولیدی	مدت زمانی كه سفارش در سیستم وجود دارد	موعد تحویل سفارش
A	۴	۴	۶
B	۱۷	۲۱	۲۰
C	۱۴	۳۵	۱۸
D	۹	۲۲	۱۲
E	۱۱	۵۵	۱۲

جدول شماره ۲-۸

در جدول (۲-۸) «مدت زمانی كه سفارش در سیستم وجود دارد» عبارتست از مجموع مدت زمانی كه سفارش در خط انتظار برای انجام شدن قرار دارد به علاوه زمان انجام آن سفارش به عبارت دیگر این زمان مدتی است كه سفارش از مرحله دریافت تا تحویل در سیستم باقی می‌ماند. برای مثال سفارش B مدت ۴ روز باید در خط انتظار باشد تا سفارش A تکمیل شود و آنگاه ۱۷ روز لازم است تا خود این سفارش انجام گیرد بنابراین کل زمانی كه سفارش B در سیستم قرار دارد ۲۱ روز می‌باشد اگر روش FCFS را در مورد مثال قبل به كار بریم نتایج زیر حاصل می‌شود.

1. First Come First Serve

۱- زمان تکمیل سفارشها: تمامی سفارشها در مدت ۵۵ روز تکمیل می‌شوند.
 ۲- متوسط زمان تکمیل سفارشها: متوسط زمانی که يك سفارش در سیستم کارخانه وجود دارد برابر با ۳۱۸۸ روز می‌باشد. این عدد از تقسیم مجموع زمانهایی که سفارشها در سیستم وجود دارند بر تعداد آنها به دست می‌آید یعنی:

$$(۲+۲۱+۳۵+۲۲+۵۵) \div ۵ = ۳۱۸۸$$

۳- متوسط تعداد سفارشها در سیستم: متوسط تعداد سفارشها در سیستم در طول دوره برنامه‌ریزی برابر ۲۸۸۹ می‌باشد. چون در ۴ روز اول ۵ سفارش در کارخانه وجود دارد. پس از ۴ روز سفارش A تکمیل و از سیستم خارج می‌شود. بنابراین برای ۱۷ روز بعدی که سفارش B در حال انجام شدن است چهار سفارش در کارخانه وجود دارند و به همین ترتیب این محاسبه را می‌توان برای بقیه سفارشها انجام داد. از طرفی کل سفارشها در ۵۵ روز تکمیل می‌شوند. یعنی:

$$۵۵ = ۲۸۸۹ \div (۱۱) + ۲(۹) + ۳(۱۲) + ۴(۱۷) + ۵(۲)$$

۴- متوسط زمانی که سفارشها دیرتر از موعد مقرر تحویل داده می‌شوند: متوسط زمان دیرکرد برابر ۱۸۶۶ روز می‌باشد. دیرکرد هر سفارش از مقایسه مدت زمانی که سفارش در سیستم است و زمان تحویل آن به دست می‌آید. بنابراین سفارش A در روز چهارم تکمیل می‌شود و از آنجایی که موعد تحویل روز ششم است دیرکردی وجود ندارد. سفارش B در روز بیست و یکم تکمیل می‌شود و چون زمان تحویل روز بیستم است بنابراین يك روز دیرتر از موعد مقرر تحویل داده می‌شود. به همین ترتیب دیرکرد برای سفارشات C، D و B برابر ۱۷، ۳۲ و ۴۳ روز می‌باشد. متوسط این دیرکرد برابر است با:

$$\text{روز } ۱۸۶۶ = (۰+۱+۱۷+۳۲+۴۳) \div ۵$$

مزیت روش FCFS در سادگی آن است و از طرف دیگر چنین به نظر می‌رسد که به صورت عادلانه با سفارش دهندگان رفتار شده است. اما از نقطه نظر بسازدهی روشهای بهتری وجود دارد.

۲-۳. روش کوتاهترین زمان انجام سفارش (SPT)^۱

این روش ترتیب انجام سفارشها را بر اساس کوتاهترین زمان انجام آنها تنظیم می‌کند. جدول (۳-۸) ترتیب انجام سفارشها را با استفاده از روش SPT نشان می‌دهد.

1. Shortest Processing Time

ترتیب سفارشات	زمان انجام	مدت زمانی که سفارش در سیستم وجود دارد	موعد تحویل سفارش
A	۲	۲	۶
D	۹	۱۳	۱۲
E	۱۱	۲۲	۱۲
C	۱۴	۳۸	۱۸
B	۱۷	۵۵	۲۰

جدول شماره ۸-۳

ترتیب انجام سفارشات با استفاده از روش SPT

با انجام سفارشات به ترتیب A، D، E، C و B نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- مدت زمان تکمیل تمامی سفارشات: تمامی سفارشات در عرض ۵۵ روز انجام می‌شوند.

۲- متوسط زمان انجام سفارشات: متوسط زمان انجام سفارشات برابر است با مجموع مدت زمانی که سفارشات در سیستم وجود دارند تقسیم بر تعداد آنها یعنی:

$$(۲+۱۳+۲۲+۳۸+۵۵) \div ۵ = ۲۶٫۸$$

۳- متوسط تعداد سفارشات در روز: در طول ۵۵ روز سفارشات به ترتیب زیر در سیستم تقسیم شده‌اند. در چهار روز اول ۵ سفارش در سیستم وجود دارد که یا در حال انجامند (سفارش A) و یا در خط انتظار برای انجام شدن هستند (بقیه سفارشات). در ۹ روز بعدی چهار سفارش در سیستم وجود دارند (سفارش D در حال انجام است و بقیه در خط انتظار می‌باشند). به همین ترتیب می‌توان برای بقیه سفارشات این محاسبه را انجام داد. بنابراین متوسط تعداد سفارشات برابر است با:

$$۵(۲)+۲(۹)+۳(۱۱)+۲(۱۴)+۱(۱۷) \div ۵۵ = ۲٫۴۲$$

۴- متوسط دیرکرد سفارشات: متوسط دیرکرد سفارشات برابر است با:

$$(۰+۱+۱۲+۲۰+۳۵) \div ۵ = ۱۳٫۶ \text{ روز}$$

اگر بازدهی روشهای FCFS و SPT را با هم مقایسه کنیم متوجه می‌شویم که روش SPT در این مورد روش بهتری می‌باشد. با وجود اینکه در هر دو روش سفارشات در مدت

۵۵ روز تکمیل می‌شوند اما متوسط زمان انجام هر سفارش در روش SPT کمتر است. این بدان معنی است که با استفاده از روش مذکور، خدمات سریعتر انجام می‌گیرد. همچنین در روش SPT، متوسط تعداد سفارشات در روز کمتر می‌باشد. این کاهش باعث می‌شود که به‌طور متوسط تجمع کار در کارگاه کمتر شود و به‌همین نسبت سطح موجودی انبار نیز کاهش یابد و بالاخره چون متوسط دیرکرد سفارشات در روش فوق کمتر است می‌توان نتیجه گرفت که بدین وسیله خدمات بهتری ارائه می‌شود. نتایج روش SPT تصادفی نیست و همواره بر روشهای دیگر مرجح می‌باشد. این روش برای کاهش متوسط زمان انجام سفارشات، کاهش متوسط تعداد سفارشات و کاهش متوسط دیرکرد سفارشات روش مطلوب یا بهینه‌ای می‌باشد.

۳-۳. ترتیب انجام سفارشات با توجه به هزینه راه‌اندازی ماشین‌آلات

در بعضی موارد هزینه دیگری را که همانا هزینه راه‌اندازی یا هزینه تنظیم ماشین‌آلات است باید در انتخاب ترتیب انجام سفارشات در نظر گرفت. در مثال قبل فرض کرده بودیم که این هزینه قابل اغماض است اما این فرض در تمامی موارد درست نیست. اگر هزینه راه‌اندازی و تنظیم ماشین‌آلات قابل توجه باشد ترتیب انجام سفارشات را می‌توان بر اساس حداقل هزینه راه‌اندازی معین کرد. جدول (۴-۸) هزینه راه‌اندازی و تنظیم ماشین‌آلات را بر اساس ترتیب انجام سفارشات نشان می‌دهد. هزینه‌های جدول (۴-۸) بر این اساس است که سفارشات ردیف ۱ بعد از سفارشات ستون ۱ انجام گیرد.

j \ i					
	E	D	C	B	A
A	۲۴۰۰۰	۱۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۹۰۰۰	۰
B	۱۵۰۰۰	۱۹۰۰۰	۱۴۰۰۰	۰	۰
C	۲۶۰۰۰	۳۷۰۰۰	۰	۳۵۰۰۰	۰
D	۱۰۰۰۰	۰	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۰
E	۰	۲۰۰۰۰	۱۶۰۰۰	۱۸۰۰۰	۰

جدول شماره ۴-۸

هزینه راه‌اندازی و تنظیم ماشین‌آلات

در این جدول فرض شده است که سفارش A در حال انجام است و سفارشهای B، C، D و E در خط انتظار می‌باشند. اگر سفارش B را بعد از A انتخاب کنیم هزینه راه‌اندازی ۲۹۰۰۰ ریال خواهد بود. اگر سفارش D را بعد از A انتخاب کنیم هزینه راه‌اندازی ۱۸۰۰۰ ریال می‌شود. پس چه ترتیبی برای انجام این سفارشها هزینه راه‌اندازی را حداقل می‌کند.

روشهای مختلفی برای تعیین ترتیب انجام سفارشها بر اساس حداقل هزینه تنظیم و راه‌اندازی ماشین‌آلات وجود دارد. یکی از روشهایی که در صنعت متداول است روش «بهترین طریق بعدی» (NBR) است.

روش بهترین طریق بعدی با فرض اینکه سفارشهای ستون ۱ در حال انجام است سفارشهای ردیف ۲ را طوری انتخاب می‌کند که هزینه تنظیم ماشین‌آلات حداقل گردد. برای مثال اگر سفارش A در حال انجام باشد سفارشی که کمترین هزینه را بعد از آن دارا می‌باشد یعنی سفارش D برای انجام انتخاب می‌شود. پس از اینکه سفارش D در جریان انجام قرار گرفت سفارشی که بعد از آن کمترین هزینه را دارد یعنی سفارش C یا E (هزینه راه‌اندازی هر دو ۱۰۰۰۰ ریال) انتخاب می‌شود. بنابراین با به‌کارگیری روش NBR دو نوع ترتیب انجام سفارشها حاصل می‌شود:

ترتیب انجام سفارشها	هزینه
$NBR_1 = A - D - C - E - B$	$18000 + 10000 + 26000 + 18000 = 72000$
$NBR_2 = A - D - E - C - B$	$18000 + 10000 + 16000 + 35000 = 79000$

با توجه به هزینه‌های انجام سفارشهای دو ترتیب فوق، ترتیب NBR_1 مرجح است زیرا هزینه‌اش کمتر از هزینه NBR_2 می‌باشد. البته NBR_1 بهترین طریق مطلوب نیست، چه اگر تمامی ۲۲ طریق ممکن برای این پنج سفارش را محاسبه کنیم متوجه خواهیم شد که بهترین ترتیب مطلوب عبارتست از $A - D - E - B - C$ و هزینه این ترتیب برابر با ۶۰۰۰۰ ریال می‌باشد. اما می‌توان روش NBR را روش قابل قبولی دانست مخصوصاً زمانی که محاسبه تمامی ترتیبهای یک سفارش ممکن نباشد.

در مثال فوق نتایج ترتیب NBR_2 و SPT مشابه می‌باشند. این نتیجه اتفاقی است و به‌طور کلی انتظار نمی‌رود که نتایج این دو روش همواره یکی باشند. اگر نتایج یکسان

1. The Next Best Role

نبودند، باید از بین این دو روش یکی را انتخاب کرد. این انتخاب بستگی به اهمیت دارد که برای هزینه راه‌اندازی ماشین‌آلات و بازدهی سیستم تولیدی قائل هستیم.

۳-۴. ترتیب انجام سفارشها در دوکارگاه

در بحث قبلی ترتیب انجام سفارشهای مختلف فقط در يك کارگاه مورد بررسی قرار گرفت. اگر سفارشها، لازم است در دوکارگاه و یا بر روی دو ماشین به صورت متوالی انجام شوند، آنگاه ترتیب انجام سفارشها در خط انتظار وضع دیگری خواهد داشت. در این گونه موارد روشی که زمان تکمیل آخرین سفارش را حداقل می‌کند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فرض کنید سفارشهای A تا E در کارخانه تعمیر هواپیما همگی باید اول در کارگاه ورق‌کاری پرس شده و سپس به کارگاه رنگ‌رزی فرستاده شوند. حال بساید دید ترتیبی که زمان آخرین سفارش را حداقل گرداند کدام است؟ زمان انجام هر فعالیت در جدول (۵-۸) آمده است.

سفرش	کارگاه شماره ۱ (ورق‌کاری)	کارگاه شماره ۲ (رنگ‌رزی)
A	۲	۵
B	۱۷	۷
C	۱۲	۱۲
D	۹	۲
E	۱۱	۶

جدول شماره ۵-۸

زمان انجام سفارشها در دوکارگاه

برای تضمین ترتیب انجام سفارشها در این روش مراحل زیر باید انجام گیرد:

- ۱- حداقل زمان موجود از بین تمامی زمانها را مشخص کنید.
- ۲- اگر این زمان متعلق به کارگاه شماره ۱ باشد، سفارش را اول انجام دهید و اگر این زمان متعلق به کارگاه شماره ۲ باشد آن سفارش را در ردیف آخر برای انجام شدن قرار دهید.

۳- پس از تعیین ترتیب سفارش در مرحله ۲، زمانهای متعلق به آن سفارش را از جدول حذف کنید.

۴- به مرحله ۱ برگردید و مراحل ۱ تا ۳ را تکرار کنید تا ترتیب تمامی سفارشها معین شود.

حال مراحل بالا را در مورد مثال کارخانه تعمیر هواپیما به کار می‌بریم:
۱- کوتاهترین زمان ممکنه از بین تمامی زمانهای موجود در جدول ۵-۸، ۲ روز می‌باشد.

۲- از آنجایی که این زمان متعلق به کارگاه شماره ۲ است، سفارش D را آخر انجام می‌دهیم.

۳- بعد از تعیین ترتیب سفارش D، زمانهای آن سفارش را از جدول حذف می‌کنیم (۹ و ۲ از جدول حذف می‌شود) و فقط زمانهای سفارشات A، B، C و E در جدول باقی می‌مانند.

۴- از بین زمانهای باقی‌مانده، ۲ روز که متعلق به سفارش A می‌باشد کمترین مقدار است و چون این زمان متعلق به ماشین شماره ۱ می‌باشد، سفارش A را اول انجام می‌دهیم و زمانهای آن سفارش را از جدول حذف می‌کنیم. ترتیب بقیه سفارشها را نیز به همین نحو تعیین می‌کنیم. این ترتیب به صورت زیر خواهد بود.

A—C—B—E—D

نمودار زمانی از سفارشها در جدول شماره ۶-۸ نشان داده شده است.

زمان کارگاه										
	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰
ورق‌کاری		D	E		B		C		A	
رنگ‌کاری		D	E	زمان آزاد	B	زمان آزاد	C	زمان آزاد	A	زمان آزاد
زمان تکمیل هر سفارش	۵۷ ↑ D	۵۲ ↑ E	۴۲ ↑ B		۳۰ ↑ C			۹ ↑ A		

جدول شماره ۶-۸

نمودار زمانی انجام سفارشها

همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای تنظیم جدول (۶-۱۲) ابتدا باید سفارش اول یعنی سفارش A به مدت ۴ روز در کارگاه ورق‌کاری انجام گیرد تا بتواند برای رنگ‌کاری به کارگاه رنگ‌گری انتقال یابد. به عبارت دیگر در مدت ۴ روز اول کارگاه رنگ‌گری ۴ روز وقت آزاد دارد و به همین ترتیب سفارش‌های بعدی در جدول منعکس شده و زمانهای آزاد برای کارگاه رنگ‌گری معین می‌شود. در زیر جدول مذکور زمان تکمیل هر سفارش مشخص شده است. مثلاً سفارش A در روز نهم و سفارش C در روز سی‌ام تکمیل خواهد شد. به خاطر داشته باشید که از این روش زمانی می‌توانید استفاده کنید که اولاً تمامی سفارش‌ها احتیاج به کار در دو کارگاه داشته باشند و ثانیاً ترتیب انجام کار در دو کارگاه برای تمامی سفارش‌ها یکسان باشد. در مثال پیش تمامی سفارش‌ها به کارهای ورق‌کاری و رنگ‌گری نیاز دارند و ترتیب انجام آنها بدین صورت است که بر روی هر سفارش اول کارهای ورق‌کاری و سپس کارهای رنگ‌گری صورت می‌گیرد.

۵-۳. ترتیب انجام سفارش‌ها در دو کارگاه یا بیشتر

اگر بحث در مورد تعیین ترتیب انجام سفارشات را به مسائل واقعی صنایع نزدیک کنید، متوجه خواهید شد که اولاً در بیشتر صنایع فقط یک کارگاه و یا فقط یک ماشین نیست که کارها را انجام می‌دهد. همچنین تمامی کارها به یک روش و توسط یک ماشین انجام نمی‌شوند. بعضی از سفارش‌ها به مقدار کار کمتر و بعضی دیگر به مقدار کار بیشتر احتیاج دارند. همین که سفارش‌ها با مشخصات خاص خود دریافت شدند به کارگاه‌های مختلف ارجاع می‌شوند بنا بر این ترتیب سفارش‌ها در خط انتظار، ممکن است دائماً عوض شود و تعیین ترتیب و توالی انجام سفارش‌ها به صورت پویا درآید. در چنین مواردی می‌توان از تئوری خط انتظار^۱ استفاده کرد. تئوری خط انتظار ترتیب مطلوب را در این گونه مسائل مشخص می‌کند اما کاربرد آن محدودیتهایی دارد، زیرا در تئوری خط انتظار، چنین فرض شده که زمان رسیدن سفارش‌ها و زمان انجام آنها از یک توزیع شناخته شده (مانند توزیع پواسون) تبعیت می‌کنند. به همین دلیل وقتی توزیع واقعی آنها با توزیع فرض شده تفاوت کند نمی‌توان به نتایج این روش زیاد متکی بود. تعیین ظرفیت سیستم‌های خدماتی با استفاده از تئوری خط انتظار در پیوست ۲ آمده است.

حال به ذکر مطالعه‌ای که در مورد روش‌های مختلف تعیین ترتیب انجام سفارشات صورت گرفته می‌پردازیم. در این مطالعه ده روش تعیین ترتیب انجام سفارش‌ها برای شش سفارش با استفاده از کامپیوتر مورد بررسی قرار گرفت.

1. Queueing theory

معیارهای تکمیل سفارشها محور اصلی این مطالعه بود و این یکی از مسائل مهمی است که همیشه مدیران در سیستمهای غیر پیوسته بدان توجه خاص دارند.

زمان تکمیل سفارشها معمولاً به کمک دو معیار اندازه گرفته می شود. یکی «متوسط زمانی که سفارش در سیستم وجود دارد» و دیگری «پراکندگی این زمان در سیستم» (که به وسیله انحراف معیار اندازه گیری می شود). سیستم مطلوب آن سیستمی است که برای هر دو معیار بالا مقادیر کمتری را حاصل سازد. این بدان معنی است که سفارشها سریعتر انجام گرفته، سرویس بهتری به مشتری داده شده، موجودی انبار پای کار کاهش داده شده و امکانات بیشتری برای گرفتن سفارشهای جدید ایجاد شده است.

در این مطالعه نتایج ده روش مختلف تعیین ترتیب انجام سفارشها به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت:

روش ۱: FCFS انجام سفارشها به ترتیب دریافت آنها. «سفارش اول، اول انجام گیرد». روش ۲: SPT انجام سفارشهای موجود در خط انتظار به ترتیب کوتاهترین زمان انجام آنها.

روش ۳: SS^۱ انجام سفارشها در خط انتظار به ترتیب کوتاهترین زمان فرجه ایستا. فرجه ایستا عبارتست از تفاوت بین تاریخ تکمیل یک سفارش و تاریخ ورود به سیستم.

روش ۴: $\frac{SS}{PT}$ فرجه ایستا تقسیم بر باقیمانده زمان هر سفارش (PT)^۲. در این روش زمانی که یک سفارش در سیستم وجود دارد با زمان فرجه، مقایسه می شود. هر قدر نسبت $\frac{SS}{PT}$ کمتر شود آن سفارش اولویت بیشتری برای انجام دارد.

روش ۵: $\frac{SS}{RO}$ فرجه ایستا تقسیم بر باقیمانده تعداد فعالیتهای هر سفارش (RO)^۳. در این روش بین سفارشهایی که فرجه ایستای مساوی دارند، آنکه تعداد فعالیتهای باقی مانده اش بیشتر است اولویت بیشتری دارد.

روش ۶: FDFS^۴ انجام سفارشها به ترتیب زمان تحویل. آن سفارشی که زمان تحویلش زودتر است اول انجام می گیرد.

1. Static Slack

2. Processing Time

3. Remaining Operations

4. First Due First Serve

روش ۷: LIFS \ آخرین سفارش رسیده به سیستم اول انجام می‌گیرد. (سفارش آخر اول انجام می‌شود.)

روش ۸: DS \ انجام سفارشها به ترتیب کوتاهترین زمان فرجه پویا-فرجه پویا عبارتست از تفاضل زمان باقی مانده تا تاریخ تحویل، و زمان باقیمانده برای انجام سفارش.

روش ۹: $\frac{DS}{PT}$ فرجه پویا تقسیم بر باقیمانده زمان تکمیل سفارش در سیستم. هرچه قدر این نسبت کوچکتر شود سفارش اولویت بیشتری خواهد داشت.

روش ۱۰: $\frac{DS}{RO}$ فرجه پویا تقسیم بر باقیمانده تعداد فعالیت‌های یک سفارش. هر قدر این نسبت کمتر شود سفارش اولویت بیشتری خواهد داشت.

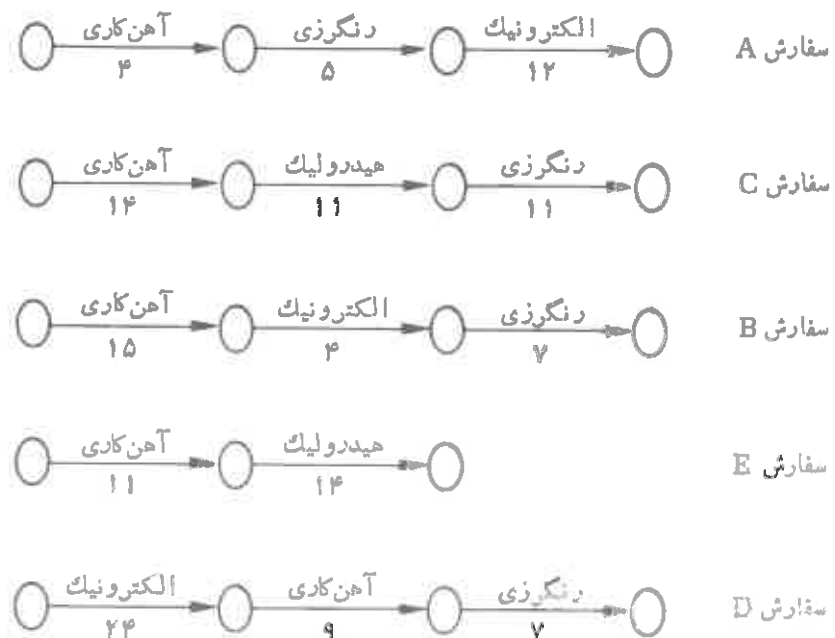
این روشها در کارخانه‌ای که دارای چهار کارگاه بود به کار گرفته شد. متوسط زمانی که سفارش در سیستم وجود دارد با استفاده از روش شماره ۲ (SPT) ۹۹ ر و با استفاده از روش شماره ۹، ۲۵۴ ر به دست آمد. انحراف معیار زمانهای فوق بین ۱۵۵ و ۴۳ ر حاصل شد. مطالعه مذکور نشان داد روش SPT در مقایسه با دیگر روشها از نظر هر دو معیار روش مطلوبتری بود.

۴- برنامه‌ریزی تفصیلی (زمان بندی تقویمی)

پس از طراحی برنامه‌ریزی کلی، برنامه‌ریزی بار ماشین آلات، و تعیین ترتیب انجام سفارشها، نوبت به طراحی برنامه‌ریزی تفصیلی می‌رسد. در این مرحله برنامه‌ریزی کارکنان که شامل زمان تقویمی شروع و خاتمه هر فعالیت است به طور دقیق مشخص می‌شود. در برنامه‌ریزی تفصیلی ابتدا لیست کاملی از کلیه کارها و زمان تحویل آنها تهیه می‌شود. سپس طبق لیست تهیه شده و با توجه به زمان تکمیل فعالیتها زمان شروع هر فعالیت مشخص می‌شود. بسیاری از مدیران با تجربه از این روش استفاده می‌کنند و نتایج خوبی نیز از آن گرفته‌اند. اما در پاره‌ای موارد این روش بسیار پیچیده است و قابل استفاده چندانی نیست به همین منظور روشهای ترسیمی کاربرد بیشتری دارند. یکی از روشهای ترسیمی که در این قسمت مورد بررسی قرار می‌گیرد «نمودار گانت» می‌باشد.

۳-۱. نمودار گانت

نمودار گانت قبلاً نیز مورد بررسی قرار گرفت. یکی دیگر از موارد استفاده از نمودار گانت در برنامه‌ریزی تفصیلی است. در این نمودار بعد افقی نشان‌دهنده زمان انجام کار است که بر حسب مورد می‌توان آنرا با واحد ساعت، روز، هفته و یا ماه نشان داد. در بعد عمودی نمودار، نام واحد سازمانی که مسئولیت انجام کار را به عهده دارد یا گروه کار و یا ماشین آلات ذکر می‌شود. طول زمان هر فعالیت با خطوط نازک ممند (—)، آغاز کار با علامت [، و پایان کار با علامت] مشخص شده‌اند. برای سهولت مراجعه می‌توان در زیر خطی که زمان انجام فعالیت را نشان می‌دهد نام سفارش یا کارفرما را ذکر کرد. خطوط ضخیم (==) مشخص‌کننده مجموع بار ماشین آلات در طول دوره برنامه‌ریزی می‌باشد. حال به تنظیم نمودار گانت برای برنامه تفصیلی کارگاه تعمیر هواپیما می‌پردازیم. اگر ترتیب انجام سفارشها در کارگاه مذکور به صورت $A-C-B-E-D$ و توالی و زمان انجام فعالیت‌ها به شرح شکل شماره (۲-۸) باشد، برنامه تفصیلی کارگاه را که متضمن زمان تقویمی انجام فعالیتهاست می‌توان در نمودار شماره (۳-۸) ملاحظه کرد.



شکل شماره ۳-۸

توالی و زمان انجام فعالیتها

روزهای کاری	مرکز فعالیت				
	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰
آهن‌کاری	A ۴	C ۱۴	B ۱۵	E ۱۱	D ۹
الکترونیک	A ۱۲	B ۴	D ۲۶		
رنگرزی	A ۵	C ۱۱	B ۷	D ۷	
هیدرولیک		C ۱۱	E ۱۴		

نمودار شماره ۳-۸

برنامه زمان‌بندی کارگاه تعمیر هواپیما

نمودار مذکور نشانگر زمان‌بندی سفارشها به شرح زیر است:

سفارش A- این سفارش ابتدا چهار روز در کارگاه آهن‌کاری کار داشته آنگاه به کارگاه رنگ‌کاری فرستاده شده، و پس از ۵ روز رنگ‌کاری به کارگاه الکترونیک برده می‌شود (روز نهم) سفارش مذکور در کارگاه الکترونیک ۱۲ روز کار دارد که پس از اتمام این فعالیت، سفارش آماده تحویل می‌باشد. (روز بیست و یکم).

سفارش C- این سفارش ۱۴ روز در کارگاه آهن‌کاری کار دارد که می‌توان پس از اتمام عملیات آهن‌کاری سفارش A، کار این سفارش را شروع کرد. البته برای شروع انجام این سفارش ۲ روز زمان لازم است تا ماشین‌آلات برای سفارش جدید تنظیم گردند. بنابراین زودترین زمانی که می‌توان کار سفارش C در کارگاه آهن‌کاری را شروع کرد روز ششم می‌باشد. پس از اتمام عملیات آهن‌کاری این سفارش به قسمت هیدرولیک فرستاده می‌شود و در آنجا ۱۱ روز کار دارد. در روز سی و یکم کار به کارگاه رنگرزی ارجاع و پس از ۱۱ روز عملیات رنگرزی سفارش C تکمیل می‌شود (روز چهل و دوم).

سفارش B- انجام سفارش B نیز پس از دو روز تنظیم و راه‌اندازی بعد از سفارش

C در کارگاه آهن کاری شروع می شود. این سفارش ۱۵ روز در این کارگاه کار دارد و در روز سی و هفتم به کارگاه الکترونیک فرستاده می شود. در آنجا این سفارش ۴ روز کار دارد و پس از اتمام عملیات الکترونیک در روز چهل و یکم به کارگاه رنگرزی فرستاده می شود. در کارگاه رنگرزی کار این سفارش نمی تواند بلافاصله شروع شود چون کارگاه رنگرزی تا روز چهل و سوم برای انجام سفارش C برنامه ریزی شده است. زمان تنظیم ماشین آلات برای انجام سفارش B، ۲ روز است بنابراین زودترین زمانی که می توان سفارش B را شروع کرد روز چهل و پنجم می باشد. این سفارش ۷ روز در این کارگاه کار دارد و در روز پنجاه و دوم آماده تحویل می شود.

سفارش E - کار این سفارش از کارگاه آهن کاری شروع می شود. زودترین زمانی که می توان این سفارش را برنامه ریزی کرد دو روز پس از اتمام فعالیت های سفارش B می باشد. به عبارت دیگر می توان سفارش E را در روز سی و نهم برای کارگاه آهن کاری برنامه ریزی کرد. پس از ۱۱ روز، کار این سفارش در کارگاه آهن کاری تکمیل و در روز پنجاهم به کارگاه هیدرولیک فرستاده می شود. سفارش مذکور در آنجا نیز چهارده روز کار دارد و در روز شصت و چهارم سفارش آماده تحویل می باشد.

سفارش D - کار این سفارش از کارگاه الکترونیک شروع می شود و ۲۴ روز در این کارگاه کار دارد. اولین زمانی که می توان این سفارش را برای مدت ۲۴ روز بدون وقفه برنامه ریزی کرد پس از انجام سفارش B می باشد. با احتساب ۲ روز زمان برای تنظیم ماشین آلات زودترین زمانی که می توان کار سفارش D را شروع کرد روز چهل و سوم است. این سفارش در روز شصت و هفتم به کارگاه آهن کاری ارجاع و پس از ۹ روز به کارگاه رنگرزی فرستاده می شود. در آنجا نیز ۷ روز کار دارد و در روز هشتاد و سوم سفارش D آماده تحویل است.

همان طور که نمودار نشان می دهد در کارگاه آهن کاری از روز پنجاه تا روز شصت و هفتم سفارشی برنامه ریزی نشده و در این فاصله کارگاه آهن کاری آزاد است. این امر به دلیل آنست که کار سفارش D را نمی توان قبل از اتمام عملیات الکترونیک، در کارگاه آهن کاری شروع کرد. همچنان که قبلاً اشاره شد خط ضخیم که در زیر برنامه زمان بندی شده برای هر کارگاه آمده نشان دهنده مجموع بار کارگاه در طول دوره برنامه ریزی می باشد. مثلاً در کارگاه آهن کاری جمعاً ۵۳ روز کار وجود دارد که در طول ۷۶ روز انجام می شود. و یا در کارگاه الکترونیک ۴۵ روز کار در طول دوره برنامه ریزی وجود دارد.

بر این نشان دادن وضعیت عملیاتی کارگاه در یک مقطع زمانی خاص پس از آغاز فعالیتها از علامت (V) استفاده می شود.

فرض کنید وضعیت فعالیت‌های انجام شده کارگاه پس از ۳۵ روز که از اجرای برنامه گذشته به شرح زیر می‌باشد:

۱- در کارگاه آهن‌کاری کار سفارشات A و C تکمیل شده و ۱۱ روز از سفارش B انجام شده است.

۲- در کارگاه الکترونیک سفارش A تکمیل شده است.

۳- در کارگاه رنگرزی سفارش A تکمیل شده و ۷ روز از کار سفارش C نیز انجام گرفته است.

۴- در کارگاه هیدرولیک کار سفارش C تکمیل شده است.

با توجه به وضعیت فعالیت‌های انجام شده و برنامه پیش‌بینی شده در روز سی و پنجم نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- از آنجا که طبق برنامه در کارگاه آهن‌کاری تا روز سی و پنجم باید ۱۳ روز از سفارش B انجام می‌گرفت و تنها ۱۱ روز از آن انجام شده، بنابراین کارگاه مذکور ۲ روز از برنامه خود عقب است.

۲- در کارگاه الکترونیک فعالیت‌ها مطابق برنامه انجام شده است.

۳- در کارگاه رنگرزی تا روز سی و پنجم ۷ روز از کار سفارش C انجام گرفته در صورتی که طبق برنامه می‌بایست فقط ۴ روز از کار آن سفارش انجام می‌گرفت بنابراین کارگاه مذکور ۳ روز از برنامه خود جلو می‌باشد.

۴- فعالیت‌ها در کارگاه هیدرولیک طبق برنامه صورت گرفته است.

برنامه پیشرفت عملیات برای کارگاه تعمیر هواپیما در نمودار (۴-۸) آمده است. علل مختلفی می‌تواند باعث عقب افتادگی کار با پیشرفت سریعتر آن از برنامه پیش‌بینی شده، بشود. در مورد مثال کارگاه تعمیر هواپیما علت عقب افتادگی در کارگاه آهن‌کاری ممکن است بدین جهت بوده که اولاً عملیات آهن‌کاری سفارشات A و C عملاً ۶ روز و ۱۸ روز طول کشیده، در صورتی که در برنامه ۴ روز و ۱۴ روز برنامه‌ریزی شده بود. خرابی ماشین‌آلات، مشکلات نیروی انسانی و سایر وقایع پیش‌بینی نشده می‌توانند دلایل عقب افتادگی از برنامه باشند.

از طرفی علت انجام سریعتر کار در کارگاه رنگرزی ممکن است به لحاظ این باشد که کار سفارش C در کارگاه هیدرولیک زودتر از موعد مقرر تمام شده و در نتیجه سفارش ۲ روز زودتر به کارگاه رنگرزی تحویل شده است.

با مقایسه وضعیت فعالیت‌ها در روز سی و پنجم با برنامه اولیه، برنامه بازنگری شده و مجدداً بر اساس واقعیت‌های موجود تنظیم می‌شود. این عمل را به‌روز درآوردن برنامه

روزهای کاری	هرگز فعالیت									
	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰		
آهن کاری	A ۴	C ۱۳	B ۱۱	E ۱۱			D ۹			
الکترونیک							D ۲۳	B ۳		A ۱۱
رنگری	A ۵				B ۷	C ۱۱				
هیدرولیک						E ۱۳			C ۱۱	

نمودار شماره ۴-۸

برنامه پیشرفت عملیات در کارگاه تعمیر هواپیما

می‌نامند، نمودار ۴-۸ برنامه بازنگری شده کارگاه تعمیر هواپیما را با توجه به اطلاعات به‌دست آمده در روز سی و پنجم نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید زمان تحویل سفارشات در برنامه جدید تغییر کرده است. با به‌روز درآوردن برنامه می‌توان فعالیت‌هایی را که عقب‌تر از برنامه، مطابق برنامه و یا جلوتر از برنامه هستند مشخص و پیشرفت کار را پیگیری کرد. همچنین می‌توان کارگاه‌هایی که کار در آنها متراکم شده و دلایل وقفه در خط تولید (کمبود مواد اولیه، خرابی ابزار و غیره) را مشخص کرد و مبنایی برای برآورد زمان تکمیل سفارشات جدید به‌وجود آورد. در بعضی موارد با استفاده از نمودار به‌روز درآورده شده گانت می‌توان مقداری از کار در کارگاه‌هایی را که کار در آنها متراکم شده به کارگاه‌هایی که کار کمتری دارند انتقال داد.

۳۳۹ □ برنامهریزی درسیستمهای تولید غیرپیوسته

روزهای کاری	مرکز فعالیت						
	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰
آهن کاری							
الکترونیک							
رنگری							
هیدرولیک							

نمودار شماره ۵-۸

برنامه بازنگري شده کارگاه تعمیر هواپیما

مسائل و تمرینات فصل هشتم

۸-۱ اطلاعات زیر مربوط به سفارشهای در خط انتظار یک سیستم تولیدی می باشد. بازدهی این سیستم را با استفاده از روش «اول آمده اول برود FCFS» و «کوتاهترین زمان انجام SPT» محاسبه کنید.

سفارشهای در خط انتظار به ترتیب دریافت				
T	S	R	Q	P
۷	۸	۱۶	۴	۱۰
۱۷	۱۸	۲۶	۱۲	۲۰

۸-۲ اگر در مسئله ۱ هزینه تنظیم و راه اندازی ماشین آلات به صورت جدول زیر باشد:

T	S	R	Q	P	j^* i
۳۰	۸۰	۱۰	۱۲۰	—	P
۶۰	۷۰	۲۰	—	۱۰۰	Q
۸۰	۱۰۰	—	۵۰	۱۰	R
۲۰	—	۸۰	۹۰	۵۰	S
—	۳۰	۶۰	۲۰	۸۰	T

* سفارشهای j بعد از سفارشهای i می باشند.

۳۴۱ □ برنامه‌ریزی درسیستم‌های تولید غیر پیوسته

با فرض اینکه سفارش P در حال حاضر در حال انجام است با استفاده از روش «بهترین طریق بعدی (NB)» هزینه ترتیب انجام سفارشها را به دست آورید. نتایج این ترتیب چه فرقی با روش SPT دارد؟

۸-۳ سفارشهای داده شده به شرکتی به صورت زیر است:

زمان تکمیل به روز	زمان انجام به روز	سفارشهای در خط انتظار (به ترتیب دریافت)
۲۰	۱۲	۳۱۷
۲۰	۱۱	۳۱۸
۱۸	۱۴	۳۱۹
۸	۲	۳۲۰

الف- به چند طریق ممکن می‌توان این سفارشها را انجام داد؟

ب- ابتدا با استفاده از روش FCFS، متوسط دیرکرد سفارشها را به دست آورید. سپس روش FST را به کار برده، متوسط دیرکرد سفارشها را محاسبه کنید. کدام روش برای متوسط دیرکرد سفارشها بهتر است؟

۸-۴ شرکت‌های سازنده هواپیما از جمله سیستم‌های تولیدی غیر پیوسته می‌باشند. در یکی از این شرکتها در حال حاضر هشت سفارش در خط انتظار می‌باشد.

H	G	F	E	D	C	B	A	سفارشهای در خط انتظار:
۲۱	۳	۲۷	۹	۳۱	۷	۱۴	۲۷	زمان انجام
۲۴	۹	۵۲	۲۸	۴۰	۱۷	۳۳	۳۲	زمان تکمیل

الف- با استفاده از نمودار گنت، بارکارخانه فوق را نشان دهید.

ب- به چند طریق می‌توان این سفارشها را انجام داد.

۸-۵ نمودار صفحه بعد، برنامه کاری يك کارگاه را نشان می‌دهد.

پس از ۴۵ روز که از اجرای برنامه گذشته اطلاعات زیر به دست آمده است.

۱- در کارگاه آهن‌کاری سفارشهای A، C و B تمام شده و ۲ روز از سفارش

E نیز انجام گرفته است.

۲- در کارگاه الکترونیک سفارشهای A و B تمام شده و ۶ روز از سفارش D

نیز انجام گرفته است.

روزهای کاری	فعالیت						
	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
الکترونیک							
رنگرزی							
هیدرولیک							
آهن کاری							

۳- در کارگاه رنگرزی سفارش A و C تمام شده است.

۴- در کارگاه هیدرولیک سفارش C تمام شده است.

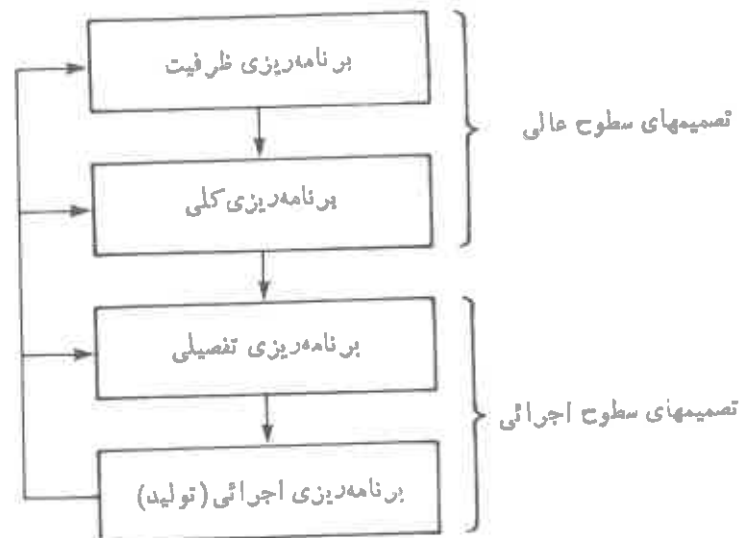
وضعیت عملیاتی کارگاه را روی نمودار نشان دهید و وضع هر کارگاه را با توجه به برنامه تعیین شده تحلیل کنید.

برنامه ریزی تفصیلی در سیستمهای تولیدی^۱

نظر به اینکه در برنامه های کلی جزئیات عملیات تولید مانند نوع ماشین آلات و کارگاهها مشخص نشده اند برنامه ریزی دیگری که از آن تحت عنوان «برنامه ریزی تفصیلی» یاد می کنیم ضرورت پیدا می کند. در این فصل انواع مختلف برنامه ریزی تفصیلی در سیستمهای تولیدی مورد بررسی قرار می گیرد.

همانطور که در شکل (۹-۱) نشان داده شده است برنامه ریزی ظرفیت و برنامه ریزی کلی قبل از برنامه ریزی های تفصیلی قرار دارند. تصمیمهایی که در سطوح عالی گرفته می شود نحوه برنامه ریزی و حوزه عملکرد سطوح اجرایی را معین می کند. همچنین اطلاعات برنامه های تفصیلی و اجرایی تولید به سطوح بالاتر تصمیم گیری برای اصلاح برنامه ها انتقال داده می شود. انتقال اطلاعات به صورت بازخورد در شکل (۹-۱) نشان داده شده است. اصولاً سیستمهای تولیدی را می توان در دو گروه عمده طبقه بندی کرد. تولید پیوسته و تولید سفارشی یا غیر پیوسته. برنامه ریزی تفصیلی سیستم سفارشی در فصل هشتم مورد بررسی قرار گرفت، موضوع بحث این فصل تولید پیوسته به صورت دسته ای است. در این سیستم تولید،

1. Detailed Production Scheduling



شکل ۹-۱

ارتباط سطوح مختلف برنامه‌ریزی باهم

معمولاً چند کالای مختلف توسط يك ماشین تولید می‌گردند و نتیجهٔ مشکلات این سیستم زمان‌بندی تولید کالاهای مختلف با استفاده از يك یا چند ماشین بخصوص می‌باشد. در این گونه موارد سیستم تولید کاملاً پیوسته نیست و برای برنامه‌ریزی تفصیلی آن، باید از برنامه‌ریزی دسته‌ای استفاده کرد.

لازم به یادآوری است که اگر تنها يك نوع کالا تولید گردد، در این صورت مشکلی در برنامه‌ریزی تفصیلی وجود نخواهد داشت بلکه مشکل برنامه‌ریزی در رابطه با برنامه‌ریزی کلی خواهد بود. مثلاً کارخانجات اتومبیل‌سازی بندرت سیستم تولید خود را عوض می‌کنند بنا بر این مشکل عمده‌ای در برنامه‌ریزی تفصیلی ندارند در این کارخانجات مسائلی نظیر تهیه مواد اولیه و قطعات برای متعادل نگهداشتن خط تولید، تعیین انبار در محل‌های مورد نیاز، و تعیین میزان تولید وجود دارد که مشکلات برنامه‌ریزی کلی به‌شمار می‌آید.

در تولید پیوسته به‌صورت دسته‌ای يك خط تولید مشخص وجود دارد و فروش هر قلم کالا را می‌توان با روش‌های آماری پیش‌بینی کرد. اساس تصمیم‌گیری در این حالت برقرار کردن تعادلی بین هزینه تنظیم و راه‌اندازی ماشین‌آلات و هزینه انبارداری کالا می‌باشد. اغلب در این حالت از يك ماشین بخصوص برای کالاهای و قطعات مختلف استفاده می‌شود. بنا بر این از آنجا که نمی‌توان تولید تمامی کالاهای و قطعات را همزمان باهم روی

يك ماشين انجام داد، توليد آنها بايد زمان بندي شود به عبارت ديگر زمان شروع و مدت زمان توليد هر كالاي خاصي روي ماشين بايد تعيين شود.
مثال زير اين مسأله را روشن مي‌كند:

«شرکت موکت» داراي سه نوع توليد است. موکت گلدار، موکت معمولي و اسفنج زيرموکت. اسفنج زيرموکت فقط در يك نوع توليد مي‌شود و لي موکت گلدار و موکت ساده در مدل‌هاي مختلف به رنگ‌ها و نقش‌هاي گوناگون توليد مي‌شوند.

مدیر کارخانه مسائل و مشکلات برنامه تفصیلی تولید را مورد بررسی قرار داده است. زيرا اخيراً با وجود اينكه کارخانه با ۱۰۰٪ ظرفيت خود كار مي‌كند مشكلاتي در تهيه و توزيع بموقع مي‌كنند به وجود آمده است. مدیریت معتقد است كه مدت زمان تغيير توليد از يك نوع به نوع ديگر پيش از اندازه مي‌باشد.

اگر کالاها از بيرون تهيه مي‌شد ميزان اقتصادي سفارش همان‌طور كه قبلاً نيز مورد

بررسی قرارگرفت از رابطه EOQ به صورت $Q^* = \sqrt{\frac{2DC_t}{C_1}}$ به دست مي‌آمد.

اما اگر کالا به جای اینکه خریداری شود در خود کارخانه تولید گردد باید تغییراتی در رابطه فوق ایجاد کنیم از آنجا که درحین تولید، کالاها به فروش می‌روند متوسط سطح انبار کمتر از آنچه در مدل EOQ آمده خواهد بود. به عبارت دیگر در صورتی که:

$D =$ میزان تقاضا یا مصرف در واحد زمان (روز، هفته، ماه و...)

$P =$ میزان تولید در واحد زمان

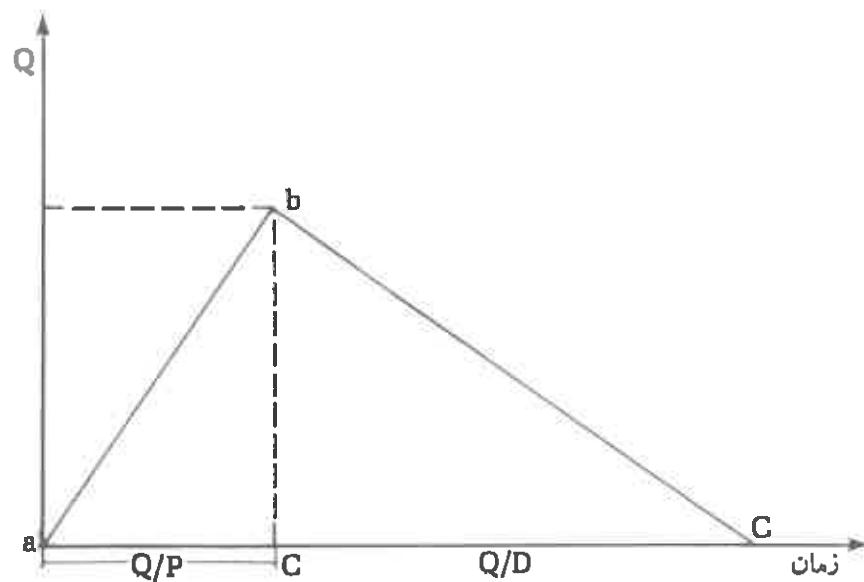
آنگاه در مدت زمانی که تولید آن کالا صورت می‌گیرد، کالا به میزان $P - D$ در واحد زمان به انبار اضافه می‌شود زیرا در هر واحد زمان P واحد تولید و در همان واحد زمان D واحد مصرف می‌شود بنابراین آنچه به انبار فرستاده می‌شود تفاوت بین میزان تولید شده و میزان مصرف شده یعنی $P - D$ می‌باشد. وقتی تولید کالا متوقف شد کالا به میزان D واحد در واحد زمان از انبار کسر می‌شود.

نمودار (۹-۲) سطح موجودی انبار را در این حالت نشان می‌دهد.

برای محاسبه متوسط موجودی انبار باید حداکثر موجودی انبار را به دست آوریم. اگر فرض کنیم که در هر مرتبه به میزان Q واحد تولید می‌شود، زمان تولید در هر مرتبه

برابر است با: $\frac{Q}{P}$

همان‌طور که در شکل (۹-۲) نشان داده شده است مقدار $(P - D)$ واحد کالا در



نمودار شماره ۲-۹

سطح موجودی انبار

هر واحد زمان به مدت $\frac{Q}{P}$ به انبار فرستاده می شود بنابراین حداکثر موجودی انبار در طول دوره برابر است با:

$$(\text{میزان کالایی که در هر واحد زمان به انبار می رود}) \times (\text{زمان تولید}) = \text{حداکثر موجودی انبار}$$

همان طور که قبلاً در مدل EOQ گفته شد متوسط موجودی انبار برابر است با حداکثر موجودی انبار تقسیم بر ۲ زیرا موجودی انبار از صفر شروع شده و به اوج می رسد و دوباره به صفر برمی گردد. به عبارت دیگر:

$$(\text{میزان کالایی که در هر واحد زمان به انبار می رسد}) \times (\text{زمان تولید}) = \frac{1}{2} \times \text{متوسط موجودی انبار}$$

برای محاسبه هزینه تنظیم و راه اندازی ماشین آلات باید زمان بین دو دوره تولید را به دست آوریم یا به عبارت دیگر معین کنیم هر چند وقت یک بار ماشین باید برای تولید کالا تنظیم گردد. از آنجا که کل تولید Q به مقدار D واحد در هر واحد زمان مصرف می شود

پس مدت زمانی که طول می‌کشد تا تمامی Q مصرف شود برابر است با: $\frac{Q}{D}$

بنابراین در زمان هر $\frac{Q}{D}$ یک بار باید ماشین را برای تولید این کالا تنظیم کرد. هزینه

تنظیم و راه‌اندازی برای هر $\frac{Q}{D}$ یک بار صورت می‌گیرد و یا در هر واحد زمان تعداد

$\frac{Q}{D}$ هزینه تنظیم و راه‌اندازی خواهیم داشت.

به‌طور مثال اگر میزان تولید کالایی در هر مرتبه برابر ۱۰۰ واحد ($Q = 100$) و

میزان مصرف روزانه آن ۱۰ واحد ($D = 10$) فرض شود مدت $\frac{100}{10} = 10$ روز طول

خواهد کشید که میزان تولید شده مصرف گردد و به محض اینکه تمام کالا مصرف گردید ماشین باید دوباره برای تولید کالای فوق تنظیم و راه‌اندازی شود به عبارت دیگر هر ۱۰ روز یک بار نیاز به تنظیم و راه‌اندازی ماشین می‌باشد. برای به دست آوردن تعداد دفعات تنظیم و راه‌اندازی این ماشین در واحد زمان می‌توان از تناسب ساده استفاده کرد.

تعداد دفعات تنظیم و راه‌اندازی روز

۱۰

۱

$$x = \frac{1}{10}$$

بنابراین تعداد دفعات تنظیم و راه‌اندازی ماشین در واحد زمان برابر $\frac{1}{Q/D} = \frac{D}{Q}$

می‌باشد. حال می‌توان هزینه کل در واحد زمان را به صورت تابعی از Q (میزان تولید) نشان داد:

$$TC_{(Q)} = \frac{D}{Q} C_t + \frac{1}{Q} \left[Q \left(\frac{P-D}{P} \right) \right] C_h \quad (1)$$

در رابطه فوق:

C_t = هزینه تنظیم و راه‌اندازی برای هر مرتبه

C_h = هزینه انبارداری هر واحد در واحد زمان

در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که هر مرتبه چه میزان تولید کنیم تا هزینه کل سیستم حداقل گردد. به عبارت دیگر رابطه (۱) به ازاء چه مقدار Q حداقل می‌شود. بنابراین از رابطه

(۱) نسبت به Q (میزان تولید) مشتق می‌گیریم و آن را برابر صفر قرار می‌دهیم:

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = \frac{-D}{Q^2} C_t + \frac{1}{Q} \left(\frac{P-D}{P} \right) C_h$$

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = 0 \quad \frac{D}{Q^2} C_t = \frac{1}{Q} \left(\frac{P-D}{P} \right) C_h$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_t}{C_h}} \sqrt{\frac{P}{P-D}} \quad (2)$$

رابطه (۲) همان رابطه EOQ با ضریب $\sqrt{\frac{P}{P-D}}$ می‌باشد این رابطه را میزان اقتصادی تولید می‌نامند. اطلاعات زیر در مورد اسفنج زیرموکت در دست است:

$D = 15000$ مترمربع در هفته

$P = 35000$ مترمربع در هفته

$C_t = 65000$ ریال برای هر مرتبه

$C_h = 106$ ریال برای هر مترمربع در هفته

بنابراین میزان اقتصادی تولید برابر است با:

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{\frac{2DC_t}{C_h}} \sqrt{\frac{P}{P-D}} \\ &= \sqrt{\frac{2(15000)(65000)}{106}} \sqrt{\frac{35000}{20000}} = (37910)(1.3223) \\ &= 461820 \approx 46200 \end{aligned}$$

زمان لازم برای تولید Q برابر است با:

$$t_P = \frac{Q}{P} = \frac{46200}{35000} = 1.3222 \text{ هفته}$$

و مدت زمانی که طول خواهد کشید تا میزان تولید شده مصرف گردد نیز برابر است با:

$$t_D = \frac{Q}{D} = \frac{46200}{15000} = 3.08 \text{ هفته}$$

1. Economic Production Quantity (EPQ)

نظر به اینکه در رابطه EPQ تولید سایر کالاهای سازمان در نظر گرفته نشده است، لازم است تغییراتی در آن صورت گیرد که در قسمت‌های بعد بدان می‌پردازیم.

محاسبه میزان اقتصادی تولید برای چندین کالا از يك خانواده

بحث خود را با مثال «شرکت موکت» دنبال می‌کنیم. مسأله تعیین میزان تولید محصولات مختلف شرکت موکت پیچیده‌تر از آنست که در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفت زیرا در این شرکت دو نوع هزینه تنظیم و راه‌اندازی وجود دارد. نوع اول مربوط به هزینه تنظیم و راه‌اندازی ماشین‌آلات برای تولید سه نوع کالای اصلی یعنی موکت گلدار موکت ساده و اسفنج زیر موکت می‌باشد. این هزینه را هزینه راه‌اندازی اصلی می‌نامند و نوع دوم مربوط به هزینه تنظیم و راه‌اندازی برای تغییر رنگ و یا تغییر طرح در يك نوع موکت می‌باشد که آن را هزینه تنظیم و راه‌اندازی فرعی نامند. در شرکت موکت هزینه راه‌اندازی اصلی ۶۵۰۰۰ ریال و هزینه راه‌اندازی فرعی ۱۲۰۰۰ ریال می‌باشد. آن گروه از کالاهایی را که در يك هزینه راه‌اندازی اصلی مشترك هستند، کالای هم‌خانواده می‌نامند. زیرا به محض اینکه هزینه راه‌اندازی اصلی برای يك کالا از آن خانواده انجام گرفت، تولید تمامی و یا بیشتر کالاهای آن خانواده صورت می‌گیرد. در شرکت موکت هر يك از دو نوع موکت تولیدی در ده طرح و رنگ متفاوت تولید می‌شود. موکتهایی که در طرحها و رنگهای متفاوت از يك نوع موکت تولید می‌شوند کالاهای هم‌خانواده آن نوع موکت هستند. همچنین طرحها و رنگهای متفاوت دیگری نیز وجود دارد که تولید اغلب آنها بر اساس سفارش مخصوص صورت می‌گیرد این شرکت به‌طور متوسط در هر هفته ۲ سفارش مخصوص برای هر يك از انواع موکتهای تولیدی خود دریافت می‌کند.

در ارتباط با تولید کالاهای يك خانواده، دو نوع تصمیم‌گیری باید صورت گیرد. ابتدا باید مشخص شود هر چند وقت يك بار تولید کالاهای يك خانواده برنامه‌ریزی شوند؟ همچنین در هر مرتبه چه میزان از هر نوع کالا تولید شود؟

زمان‌بندی تولید کالاهای هم‌خانواده

اگر

فاصله زمانی بین دو دوره تولید کالاهای يك خانواده $T =$

$C_T =$	هزینه راه اندازی اصلی
$C_{T,i} =$	هزینه راه اندازی فرعی برای کالای i
$C_{h,i} =$	هزینه انبارداری یک واحد از کالای i در یک واحد زمان
$N =$	تعداد کالاهای متعلق به یک خانواده
$D_i =$	میزان تقاضا و نیاز به کالای i در واحد زمان
$P_i =$	میزان تولید کالای i در واحد زمان
$Q_i =$	میزان تولید کالای i در یک دوره

با وجود اینکه زمان تولید هر نوع کالا از یک خانواده با دیگری متفاوت است، اما فاصله زمانی بین دو دوره تولید هر نوع کالا از آن خانواده باهم برابر و مساوی T می باشد. مثلاً "خانواده" موکتهای گلدار را در نظر بگیرید. در این خانواده ممکن است مدت زمان تولید موکت گلدار مدل i با مدت زمان تولید موکت گلدار مدل j باهم متفاوت باشد اما فاصله زمانی بین دو دوره تولید مدل i با فاصله زمانی بین دو دوره تولید مدل j باهم برابر و مساوی همان فاصله زمانی بین دو دوره تولید کل خانواده موکت گلدار می باشد. بنابراین در هر زمان که تولید خانواده موکت گلدار شروع می شود میزان تولید کالای i از این خانواده برابر است با میزان مصرف بین دو دوره تولید. میزان مصرف کالای i بین دو دوره تولید نیز برابر است با حاصل ضرب نرخ مصرف در واحد زمان (D_i) در فاصله زمانی بین دو دوره تولید کالای i (T) یعنی:

$$Q_i = (T)(D_i)$$

اگر به جای Q در رابطه (۱) مقدارش را از رابطه $Q_i = T(D_i)$ قرار دهیم خواهیم داشت

$$TC_i = \frac{D_i}{TD_i} C_{T,i} + \frac{1}{T} \left[(T)(D_i) \frac{P_i - D_i}{P_i} \right] C_{h,i} \quad (3)$$

رابطه (۳) هزینه کل تولید کالای i می باشد. هزینه کل کالاهای خانواده موکت گلدار برابر است با مجموع هزینه کل تمامی کالاهای آن خانواده به اضافه هزینه راه اندازی اصلی که برای شروع کار آن خانواده لازم است؛ هزینه راه اندازی اصلی هر T مدت یک بار صورت می گیرد. اگر هزینه راه اندازی اصلی در هر دوره را با C_T نشان دهیم هزینه راه اندازی اصلی در واحد زمان برابر است با $\frac{C_T}{T}$. بنابراین هزینه کل خانواده را می توان

به صورت زیر نشان داد:

$$TC_F = \frac{1}{T} \left(C_T + \sum_{i=1}^N C_{T,i} \right) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\gamma} (T)(D_i) \left(\frac{P_i - D_i}{P_i} \right) C_{h,i} \quad (۴)$$

برای به دست آوردن بهترین فاصله زمانی بین دو دوره تولید (TC_F) از رابطه (۴) نسبت به T مشتق گرفته و آن را برابر صفر قرار می‌دهیم و سپس مقدار مطلوب T را به دست می‌آوریم. اگر بهترین فاصله زمانی بین دو دوره تولید را با T^* نشان دهیم خواهیم داشت:

$$\frac{\partial TC_F}{\partial T} = -\frac{C_T + \sum_{i=1}^N C_{T,i}}{T^2} + \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^N D_i \frac{P_i - D_i}{P_i} C_{h,i} = 0$$

$$T^* = \frac{\gamma \left(C_T + \sum_{i=1}^N C_{T,i} \right)}{\sum_{i=1}^N (D_i)(C_{h,i})(P_i - D_i)/P_i} \quad (۵)$$

اگر در رابطه ۵ فقط یک نوع کالا در خانواده وجود داشته باشد ($N=1$) و هزینه راه‌اندازی اصلی برابر صفر باشد ($C_T=0$) رابطه مذکور برابر رابطه EPQ تقسیم بر D خواهد بود (زیرا: $t_D = \frac{Q}{D}$)

برای محاسبه میزان اقتصادی تولید کالای i در هر دوره تولید یک خانواده، می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

$$Q_i = (D_i)(T^*)$$

مثلاً اگر اطلاعات زیر در مورد خانواده موکت گلدار در دست باشد:

هزینه راه‌اندازی اصلی برای تولید خانواده موکت گلدار به ریال $C_T = ۶۵۰۰۰$

هزینه راه‌اندازی مدل‌های مختلف موکت گلدار به ریال $C_{T,i} = ۱۲۰۰۰$

میزان تولید در هفته به مترمربع $P_i = ۳۵۰۰۰$

هزینه نگهداری یک مترمربع کالا در انبار در یک هفته به ریال $C_{h,i} = ۱۲$

انواع مختلف مدل‌های موکت گلدار $N = ۱۰$

میزان نیاز به موکت گلدار مدل ۱ به مترمربع $D_1 = ۳۰۰۰$

میزان نیاز به موکت گلدار مدل ۲ به مترمربع $D_2 = ۲۰۰۰$

میزان نیاز به موکت گلداز مدل ۳ به مترمربع $D_3 = 2000$

میزان نیاز به موکت گلداز مدل‌های ۲ الی ۱۰ به مترمربع $D_4 - D_{10} = 1000$

برای اینکه عملیات محاسبه رابطه (۵) ساده‌تر صورت گیرد بهتر است محاسبه را در دو مرحله انجام دهیم ابتدا صورت رابطه (۵) را محاسبه می‌کنیم و سپس مخرج رابطه مذکور را به دست می‌آوریم:

$$C_T + \sum_{i=1}^N C_{T,i} = 65000 + \sum_{i=1}^N (12000) = 185000$$

$$\sum_{i=1}^N D_i (C_{h,i}) \frac{P_i - D_i}{P_i} = 3000 (12) \left(\frac{35000 - 3000}{35000} \right)$$

$$+ 2000 (12) \left(\frac{35000 - 2000}{35000} \right) + \dots + 1000 (12) \left(\frac{35000 - 1000}{35000} \right)$$

$$= 32910 + 22620 + 22620 + 11660 + 11660 + 11660$$

$$+ 11660 + 11660 + 11660 + 11660 = 159770$$

حال ارقام به دست آمده را در رابطه (۵) قرار می‌دهیم و T^* را محاسبه می‌کنیم.

$$T^* = \sqrt{\frac{2(185000)}{159770}}$$

$$= 1.052 \approx 1.05 \quad \text{بهترین فاصله زمانی بین دو دوره تولید به هفته}$$

بنابراین هر ۱.۰۵ هفته یکبار باید خانواده موکتهای گلداز را تولید کرد و به طور متوسط میزان تولید هر مدل از موکتهای گلداز را می‌توان با استفاده از رابطه زیر به دست آورد.

$$Q_i = T(D_i)$$

میزان تولید موکت گلداز مدل ۱ در هر دوره تولید به مترمربع $Q_1 = 3000(1.05) = 3150$

میزان تولید موکت گلداز مدل ۲ در هر دوره تولید به مترمربع $Q_2 = 2000(1.05) = 2100$

میزان تولید موکت گلداز مدل ۳ در هر دوره تولید به مترمربع $Q_3 = 2000(1.05) = 2100$

میزان تولید موکت گلداز مدل ۴ در هر دوره تولید به مترمربع $Q_4 = 1000(1.05) = 1050$

$Q_5 = 1050$ و $Q_6 = 1050$ و $Q_7 = 1050$ و $Q_8 = 1050$ و $Q_9 = 1050$

$$Q_{10} = 1050$$

بدین ترتیب انواع مختلف مدل‌های موکت گلداز به میزان ۲۱۰۰۰ مترمربع $(\sum_{i=1}^N Q_i = 21000)$ تولید می‌شود، همچنین اگر طول زمان تولید خانواده موکتهای گلداز را با t_i نشان دهیم خواهیم داشت:

$$t_i = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{P_i} = \frac{21000}{35000} = 0.6 \text{ هفته}$$

فاصله زمانی بین دوره‌های تولید و زمان تولید خانواده موکتهای ساده و خانواده اسفنج زیرموکت را می‌توان با داشتن اطلاعاتی نظیر اطلاعات موکت گلداز به همان طریق بالا محاسبه کرد، فرض کنید چنین اطلاعاتی در دست است و فاصله زمانی بین دوره‌های تولید خانواده موکت ساده برابر ۲٫۶ هفته و فاصله زمانی بین دوره‌های تولید اسفنج زیرموکت برابر ۳٫۰۸ هفته محاسبه شده و زمان تولید موکت ساده ۵٫۰ هفته و اسفنج زیرموکت ۱٫۳ هفته به دست آمده است. این اطلاعات برای ادامه بحثهای بعدی مفید خواهد بود.

مثال:

در رابطه با موکتهای گلداز شرکت موکت فرض کنید که تقاضا برای مدل‌های ۱، ۲، ۳ به‌عللی کم شود و شرکت موکت تصمیم بگیرد طرحهای مذکور را از خط تولید خارج سازد. همچنین تقاضا برای مدل‌های ۱، ۲، ۳ به ترتیب به‌صورت ۱۰۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۲۰۰۰ مترمربع تغییر کند. با توجه به اطلاعات داده شده فاصله زمانی بین دوره‌های تولید مدل‌های ۱، ۲، ۳ را دوباره محاسبه کنید.

در اینجا نیز محاسبه رابطه (۵) را در دو مرحله انجام می‌دهیم:

$$C_T + \sum_{i=1}^N C_{T,i} = 65000 + 12000 + 12000 + 12000 = 101000$$

$$\sum_{i=1}^N D_i (C_{h,i}) \frac{P_i - D_i}{P_i} = (100000)(12) \frac{35000 - 100000}{35000}$$

$$+ 6000(12) \frac{35000 - 6000}{35000} + 2000(12) \frac{35000 - 100000}{35000}$$

$$= 187900$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2(101000)}{187900}} = 1.036$$

زمان بندی تولید کالاها از خانواده های مختلف

به لحاظ وجود دو مسأله نمی توان مستقیماً روابط به دست آمده در بخشهای گذشته را برای شرکت موکت به کار برد. اول اینکه اغلب تقاضای واقعی دقیقاً برابر میزان پیش بینی شده خود نخواهد بود و دوم اینکه در تولید دسته ای برای تولید چندین کالا در يك خانواده از تجهیزات مشترکی استفاده می شود و امکان تداخل زمانی در تولید کالاهای يك خانواده وجود ندارد. بنابراین نمی توان زمانهای تولیدی به دست آمده در قسمت قبل را که برای هر کالا در آن خانواده مستقل از دیگری محاسبه شده بود دقیقاً به کار برد. این مشکل برای شرکت موکت در نمودار (۹-۳) نشان داده شده است.

در نمودار (۹-۳) مدت زمان تولید و فاصله زمانی بین دوره های تولید برای هر سه خانواده موکت گلداز، موکت ساده، اسفنج زیر موکت نشان داده شده است ($T_F^* = 1.52$ ، $T_S^* = 2.62$ ، $T_B^* = 3.08$) در شکل مذکور فواصل زمانی دوره های تولید به اعداد ۱، ۲، ۳ به ترتیب گرد شده است. همچنین همان طور که قبلاً محاسبه شد زمان تولید موکت گلداز ۶ هفته، موکت ساده ۵ هفته و اسفنج زیر موکت ۴ هفته می باشد.

در نمودار (۹-۳) تولید موکت گلداز اول برنامه ریزی شده و بدنبال آن موکت ساده

زمان هفته	فرآورده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
موکت گلداز		■		■		■	
موکت ساده				■			■
اسفنج زیر موکت			■		■		

نمودار شماره ۹-۳

فاصله زمانی بین دوره های تولید کالاهای شرکت موکت

و اسفنج زیرموکت تولید خواهند شد. زمانهای برنامه‌ریزی شده در نمودار به صورت هاشور نشان داده شده است. اگر در يك زمان مشخص بیشتر از يك هاشور وجود داشته باشد برنامه زمانی تولید کالاها از خانواده‌های مختلف دچار تداخل شده است. این مشکل ابتدا در هفته ۱۵ و زمانی که تولید مرتبه دوم موکت گلدار شروع می‌شود پدید می‌آید بنا براین در به کارگیری زمانهای تولید به دست آمده از بخش گذشته اصلاحاتی باید صورت گیرد. در این بخش روش برنامه دوره‌ای برای حل این مشکل مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از تداخل زمانی در تولید کالاها می‌توان از يك برنامه دوره‌ای مشترك بین تمامی کالاها استفاده کرد. برای به دست آوردن يك برنامه دوره‌ای مراحل زیر باید طی شود.

۱- خانواده‌ای را که بیشترین فاصله زمانی بین دوره‌های تولید خود را دارد (T^*) انتخاب کنید و آن را T_{max} بنامید. در مورد مثال قبل T_{max} متعلق به اسفنج زیرموکت می‌باشد و عبارتست از:

$$T_{max} = ۳۲۰۸$$

۲- نسبت $\frac{T_{max}}{T^*}$ را برای هر گروه به دست آورید و سپس نسبتهای به دست آمده را به عدد صحیح گرد کنید. این نسبت را ضریب تولید می‌نامند. ضرایب تولید برای مثال قبل عبارتند از:

$$\frac{T_{max}}{T_F^*} = \frac{۳۲۰۸}{۱۲۵۲} = ۲٫۵۶ \quad \text{ضریب تولید موکت گلدار}$$

$$\frac{T_{max}}{T_P^*} = \frac{۳۲۰۸}{۳۲۶۲} = ۰٫۹۸ \quad \text{ضریب تولید موکت ساده}$$

$$\frac{T_{max}}{T_S^*} = \frac{۳۲۰۸}{۳۲۰۸} = ۱ \quad \text{ضریب تولید اسفنج زیرموکت}$$

با گرد کردن ارقام به دست آمده ضرایب تولید موکت گلدار، ساده و اسفنج زیرموکت به ترتیب برابر با ۲، ۱ و ۱.

در بعضی موارد برای به دست آوردن ضرایب تولید از نسبت $\left(\frac{T_{max}}{T^*}\right)^2$ استفاده می‌شود.

۳- برای سهولت محاسبه مقدار T_{max} را به نزدیکترین عدد صحیح خود گرد کنید. در مورد مثال قبل T_{max} را می‌توان به عدد (۳) گرد کرد.

۴- متوسط زمان تولید هر خانواده از کالا را برای يك دوره کامل تولید محاسبه کنید. این زمان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$T_j = \frac{(T_{\max})(D_j)}{P_j}$$

در رابطه بالا D_j عبارتست از تقاضای کل خانواده j و P_j عبارتست از نرخ تولید و یا سرعت تولید اقلام خانواده j ، در مورد مثال شرکت موکت، نرخ تولید اقلام کلیه خانواده‌ها برابر فرض شده است. تقاضای کل برای انواع مدل‌های موکت گلداد ۱۴۰۰۰ مترمربع، موکت ساده ۱۶۰۰۰ مترمربع و اسفنج زیرموکت ۱۵۰۰۰ مترمربع در هفته می باشد. از آنجا که نرخ تولید ۳۵۰۰۰ مترمربع در هفته است زمان تولید برای هر خانواده را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\begin{aligned} T_F &= \frac{(T_{\max})(D_F)}{P_F} \\ &= \frac{3(14000)}{35000} = 1.2 \\ T_P &= \frac{3(16000)}{35000} = 1.37 \\ T_S &= \frac{3(15000)}{35000} = 1.29 \end{aligned}$$

۵- با استفاده از ضرایب تولیدی به دست آمده در مرحله ۲، نموداری شبیه نمودار (۳-۹) تنظیم و فعالیتها را به بهترین طریق ممکن برنامه ریزی کنید.

با استفاده از مراحل بالا مسأله شرکت موکت را تکمیل می کنیم. همان طور که در مرحله ۲ محاسبه شد ضرایب تولید برای خانواده‌های موکت گلداد، موکت ساده و اسفنج زیرموکت به ترتیب برابر بودند با (۲، ۱ و ۱). بدعبارت دیگر در يك سیکل کامل تولید، موکت گلداد در مرتبه تولید خواهد شد. طول زمان تولید در هر دو مرتبه جمعاً ۱.۲ هفته می باشد. همچنین موکت ساده يك مرتبه با زمان تولید ۱.۳ هفته و اسفنج زیرموکت نیز يك مرتبه با زمان تولید ۱.۳ هفته تولید می شود.

یکی از طرق طراحی سیکل تولید برای شرکت موکت می تواند به صورت نمودار (۴-۹) باشد.

در نمودار (۴-۹) طول زمان تولید هر دو مرتبه موکت گلداد با هم برابر گرفته شده

زمان به هفته				فرآورده
۳	۲	۱		
				موکت گلدار
				موکت ساده
				اسفنج زیرموکت

نمودار شماره ۴-۹

یکی از طرق ممکن سیکل تولید برای شرکت موکت

است. این دوزمان لزوماً نباید با هم برابر باشند. این زمانها می‌توانند با یکدیگر متفاوت باشند لیکن مجموع آنها باید برابر ۱۲ هفته شود.

مثال:

فرض کنید زمانهای سیکل تولیدی شرکت موکت به صورت زیر تغییر کرده است.

زمان به هفته				
۳	۲٫۵	۲	۱٫۵	۱
موکت ساده	موکت گلدار	اسفنج زیرموکت		موکت گلدار

حال میزان تولید هر يك از خانواده فرآورده‌ها را در هر مرحله تولید محاسبه کنید. همچنین چه میزان موکت گلدار باید در زمان ۸٫۵ هفته در انبار موجود باشد تا بتواند جوابگوی تقاضا تا دوره بعدی تولید خود باشد.

میزان تولید هر يك از خانواده فرآورده‌ها عبارتست از:

$$Q_i = t_i(P)$$

میزان تولید موکت گلدار در مرتبه اول تولید به مترمربع $Q_1 = 0.8(35000) = 28000$

میزان تولید اسفنج زیرموکت به مترمربع $Q_2 = 1.3(35000) = 45500$

میزان تولید موکت گلدار در مرتبه دوم تولید به مترمربع $Q_3 = 0.4(35000) = 14000$

میزان تولید موکت ساده به مترمربع $Q_4 = 0.5(35000) = 17500$

میزان موجودی موکت گلدار در زمان ۰.۸ باید به اندازه نیاز ۱.۳ هفته (تا دوره بعدی تولید) باشد نیاز در طول ۱.۳ هفته برای موکت گلدار را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$1.3(14000) = 18200$$

بنابراین میزان موجودی انبار برای موکت گلدار در زمان ۰.۸ هفته باید حداقل برابر ۱۸۲۰۰ مترمربع باشد.

اختلاف بین تقاضای واقعی و تقاضای پیش بینی شده و اثر آن در محاسبه میزان تولید

تعیین برنامه دقیق میزان تولید کالا از قبل مشکل می باشد زیرا عموماً مقدار پیش بینی تقاضا با مقدار واقعی آن متفاوت است بنابراین میزان تولید در هر دوره با دوره ماقبل خود متفاوت است و باید میزان تولید برای هر دوره با توجه به اطلاعات جدیدتر محاسبه شود. یکی از روشهای محاسبه میزان تولید در هر مرتبه (برای مواقعی که تقاضای واقعی و تقاضای پیش بینی شده متفاوت می باشند)، محاسبه «زمان تمام شدن موجودی» در آن دوره تولید می باشد.

به عنوان مثال فرض کنید اطلاعات لازم در مورد موکت گلدار در جدول شماره (۹-۱) موجود باشد.

همچنین فرض کنید ترتیب تولید اقلام مختلف فرآورده ها بر شرکت موکت به صورتی که در صفحه بعد آمده تعیین شده باشد.

بنابراین شرکت موکت باید ابتدا به مدت ۰.۸ هفته موکت گلدار تولید کند. حال اگر یک سفارش مخصوص پیش بینی نشده به میزان ۲۰۰۰ مترمربع به شرکت داده شود و

۳۵۹ □ برنامه‌ریزی تفصیلی درسیستمهای تولیدی

مدلهای مختلف موکت گلدار	پیش‌بینی تقاضای هفتگی (به مترمربع)	موجودی انبار در حال حاضر (به مترمربع)
۱	۳۰۰۰	۲۲۰۰
۲	۲۰۰۰	۶۰۰
۳	۲۰۰۰	۸۰۰
۴	۱۰۰۰	۲۰۰
۵	۱۰۰۰	۹۰۰
۶	۱۰۰۰	۱۲۰۰
۷	۱۰۰۰	۶۰۰
۸	۱۰۰۰	۱۵۰۰
۹	۱۰۰۰	۴۰۰
۱۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰
جمع	۱۴۰۰۰	۹۸۰۰

جدول شماره ۹-۱

زمان به هفته	۱	۲	۳
اقلام فرآورده‌ها	موکت گلدار	اسفنج زیر موکت	موکت گلدار ساده
زمان تولید	۵۲۸	۱۲۳	۵۲۴ ۵۲۵

تغییراتی در میزان پیش‌بینی تقاضا به‌وجود آید، در این صورت برای تعیین برنامه تولید جدید باید مدت زمان تمام شدن موجودی را برای هر یک از مدل‌های مختلف موکت محاسبه کرد. بدین‌منظور بدترتیب زیر عمل می‌کنیم:

ظرفیت تولیدی پیش‌بینی شده برای تولید موکت گلدار برابر است با:

$$0.8 \times 35000 = 28000$$

اما با دریافت سفارش جدید، ظرفیت تولیدی موجود به‌صورت زیر تغییر می‌کند.

$$28000 - 2000 = 26000$$

برای سادگی محاسبات فرض کنید نرخ تولید برای کلیه مدل‌های گلدار تولیدی شرکت موکت با هم برابر باشد بنابراین مدت زمان تمام شدن موجودی تمام مدل‌های موکت گلدار را می‌توان به‌صورت زیر تعیین کرد.

rt = زمان تمام شدن موجودی

$$(6) \quad rt = \frac{\text{ظرفیت تولیدی} + \text{موجودی انبار در حال حاضر}}{\text{میزان تقاضا برای کل خانواده}}$$

همچنین می‌توان میزان تولید هر یک از کالاها را محاسبه کرد.

$$Q_i = \text{موجودی کالای } i - \left(\frac{\text{میزان تقاضای کالای } i}{\text{درواحد زمان}} \right) (\text{زمان تمام شدن موجودی خانواده}) = \frac{\text{میزان تولید}}{\text{کالای } i}$$

اگر زمان تمام شدن موجودی گروه موکت گلدار را با rt_F نشان دهیم، این زمان عبارت خواهد بود از:

$$rt_F = \frac{9800 + 26000}{14000} = 2.56 \text{ هفته}$$

همچنین میزان تولید مدل‌های مختلف موکت گلدار عبارتند از:

$$Q_1 = \text{میزان تولید مدل ۱} = 3000(2.56) - 22000 = 5280$$

$$Q_2 = \text{میزان تولید مدل ۲} = 2000(2.56) - 600 = 2520$$

$$Q_3 = \text{میزان تولید مدل ۳} = 2000(2.56) - 800 = 2320$$

$$Q_4 = \text{میزان تولید مدل ۴} = 1000(2.56) - 200 = 2160$$

۳۶۱ □ برنامه‌ریزی تفصیلی درسیستمهای تولیدی

$$Q_5 = 1000(2.56) - 900 = 1660$$

$$Q_6 = 1000(2.56) - 1200 = 1360$$

$$Q_7 = 1000(2.56) - 600 = 1960$$

$$Q_8 = 1000(2.56) - 1500 = 1060$$

$$Q_9 = 1000(2.56) - 400 = 2160$$

$$Q_{10} = 1000(2.56) - 1200 = 1360$$

مسائل و تمرینات فصل نهم

۹-۱ اطلاعات زیر مربوط به تولید دو گروه کالای مختلف با استفاده از یک ماشین می باشد.

گروه:	الف				ب
اقلام:	۱	۲	۳	۴	
میزان T^*	۶	۶	۱۲	۱۲	
تقاضای هفتگی	۷۰	۲۰	۳۰	۲۰	
تولید هفتگی	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	

الف: سیکل کامل تولیدی برای تولید هر گروه را به دست آورید.

ب: نمودار زمانی برنامه تولید را برای یک سیکل کامل رسم کنید.

۹-۲ اطلاعات زیر مربوط به ساخت یک کالای مخصوص می باشد.

هزینه نگهداری در سال به ریال = ۲۵۰۰

هزینه تنظیم و راه اندازی برای هر مرتبه به ریال = ۲۰۰۰

تقاضای سالیانه = ۷۵۰ واحد

تقاضای روزانه = ۳ واحد (هر سال ۲۵۰ روز فرض شده است).

تولید روزانه = ۲۵ واحد

۳۶۳ □ برنامه‌ریزی تفصیلی درسیستمهای تولیدی

معین کنید هر چند وقت يك بار تولید کالا باید صورت گیرد و در هر مرتبه چه میزان باید تولید شود؟

۹-۳ ماشین‌آلاتی که کالای مسأله ۲ را تولید می‌کنند در تولید ۱۱ قلم کالای دیگر نیز مورد استفاده واقع می‌شوند. سیکل تولید ۲۵ روز است و در خلال این سیکل سه مرتبه کالای مورد نظر طبق برنامه زیر تولید می‌شود.

روز اول	۲۵ واحد
روز یازدهم	۲۵ واحد
روز بیست و یکم	۲۵ واحد

الف: ثابت کنید که موجودی انبار در اول دوره برای برآورد نیاز با توجه به برنامه تولید بالا نمی‌تواند صفر باشد.

ب: در میزان تولید برنامه‌ریزی شده بازنگری کنید به‌طوری که بتوان تقاضا را

جواب داد (تعداد دفعات تنظیم و راه‌اندازی را تغییر ندهید).

ج: برنامه تنظیم شده در قسمت ب را چگونه تحلیل می‌کنید؟

۹-۴ اطلاعات زیر مربوط به ساخت يك کالا می‌باشد.

هزینه نگهداری در سال به ریال = ۲۵۰۰

هزینه تنظیم و راه‌اندازی برای هر مرتبه به ریال = ۲۰۰۰۰

تقاضای سالانه = ۷۵۰ واحد

تقاضای روزانه = ۳ واحد (هر سال ۲۵۰ روز کاری می‌باشد)

تولید روزانه = ۲۵ واحد

معین کنید هر چند وقت يك بار تولید کالا باید صورت گیرد و در هر مرتبه چه میزان از

آن کالا باید تولید شود؟

۹-۵ در يك سیستم تولیدی پنج گروه کالا تولید می‌شود اطلاعات مربوط به این پنج گروه در زیر آمده است.

گروه	تقاضای سالانه	T*	میزان تولید روزانه	تعداد دفعات تولید هر گروه در هر سیکل تولید:	
				برنامه اول	برنامه دوم
A	۱۰۰۰۰۰	۵۰۱	۵۰۰	۱	۱
B	۳۰۰۰۰۰	۵۰۳۳۳	۵۰۰	۳	۳
C	۵۰۰۰۰۰	۵۰۴	۵۰۰	۳	۲
D	۴۰۰۰۰۰	۵۰۳۷۵	۵۰۰	۳	۳
E	۲۰۰۰۰۰	۵۰۵۰۰	۵۰۰	۲	۲

الف- نشان دهید که هر دو برنامه اول و دوم منطقی به نظر می‌رسند.

ب- ترتیب تولید برای برنامه اول و دوم را تنظیم کنید.

ج- فرض کنید که یک سیکل کامل تولید ۱۰۰ سال طول می‌کشد و همچنین زمان بیکاری در سیستم نیز وجود ندارد. ترتیب تولیدی که در قسمت ب برای هر برنامه تعیین کرده‌اید را در محور زمان با نشان دادن زمان تولید هر قلم از کالاهای رسم کنید (یک سیکل کامل تولید ۳۰ روز کاری طول می‌کشد).

۹-۶ کارخانه‌ای همراه با تولید سایر محصولات خود یک نوع آدامس در ۴ طعم مختلف تولید می‌کند تقاضای هفتگی و موجودی انبار برای هر چهار طعم به قرار زیر است:

انواع طعم	میوه‌ای	ساده	نعناعی	دارچینی
تقاضای هفتگی	۱۵۰	۹۰۰	۸۰۰	۲۰۰
موجودی انبار	۲۵۰	۱۲۰۰	۱۱۰۰	۶۰۰
(ارقام به ۱۰۰۰)				

میزان تولید دستگاه آدامس‌سازی ۲۵۰۰۰۰۰ عدد در هفته می‌باشد.

الف- زمان تمام شدن موجودی هر طعم را با فرض اینکه در حال حاضر دستگاه آماده تولید ۲۵۰۰۰۰۰ عدد می‌باشد محاسبه کنید.

ب- میزان تولید هر یک از طعم‌های مختلف آدامس را با استفاده از روش زمان

تمام شدن موجودی محاسبه کنید.

۷-۹ يك كارخانه سازنده بطریهای نوشابه، سه نوع بطری در ابعاد مختلف تولید می‌کند. اطلاعات مربوطه قبل از شروع برنامه تولید در اول هفته به صورت زیر در دست است.

انواع بطری	کوچک	متوسط	بزرگ
موجودی	۱۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۸۰۰۰
تقاضای هفتگی	۷۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰۰

میزان کل تولید در يك دوره تولید برابر ۱۰۰۰۰۰۰ بطری است (این کارخانه همیشه برنامه تولید را هفتگی تنظیم می‌کند و میزان تولید در يك هفته برابر ۱۰۰۰۰۰۰ بطری می‌باشد).

الف- با فرض اینکه دوره تولید يك هفته‌ای برای تولید ۱۰۰۰۰۰۰ بطری هم اکنون شروع شده باشد، زمان تمام شدن موجودی را برای این گروه محاسبه کنید.

ب- میزان تولید را برای هر نوع بطری در این برنامه تولید محاسبه کنید.

ج- ترتیب تولید انواع بطریها چگونه باشد؟

۸-۹ يك كارخانه تولیدکننده نئوپان برای تولید نئوپان (نئوپان دوسانتي و نئوپان سه سانتي) از يك دستگاه پرس استفاده می‌کند. هر کدام از انواع نئوپانها در طول ۲ متر و سه متر تولید می‌شوند. سایر اطلاعات مربوط در زیر آمده است:

نئوپان دوسانتي		نئوپان سه سانتي		
۲ متری	۳ متری	۲ متری	۳ متری	
۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	هزینه راه اندازی فرعی به ریال
۲	۲	۲	۲	هزینه انبارداری (برای هر متر طول در سال)
۵۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۳۰۰۰	۷۰۰۰	تقاضا در هفته (متر طول)
۱۴۴۰۰۰۰	۱۴۴۰۰۰۰	۱۴۴۰۰۰۰	۱۴۴۰۰۰۰	میزان تولید در هفته (متر طول)

اگر هزینه تنظیم و راه اندازی دستگاه پرس برای نئوپان ۲ سانتي و یا ۳ سانتي

- ۱۰۰۰۰۰ ریال باشد و در هر سال ۵۰ دقیقه کاری وجود داشته باشد.
- الف- سیکل تولیدی برای تولید نئوپان ۲ سانتی و ۳ سانتی را مستقلاً به منظور یافتن حداقل هزینه کل عملیاتی محاسبه کنید.
- ب- در هر سیکل تولید چه میزان از هر یک از انواع نئوپانها را باید تولید کرد؟
- ج- زمان تولید هر یک از انواع نئوپانها در هر سیکل تولید چه مدت است؟
- د- نمودار زمانی برنامه تولید نئوپانها را رسم کنید.

برنامه ریزی مواد^۱

سیستم برنامه ریزی مواد يك سیستم اطلاعاتی برای هماهنگی برنامه های تفصیلی در سیستم های تولید چند مرحله ای می باشد. در کنترل موجودی، میزان مواد یا قطعات بدون توجه به ارتباط آنها با محصول نهایی مورد بررسی قرار می گرفت به عبارت دیگر برنامه ریزی برای تقاضای مواد و قطعات مستقل از محصول نهایی انجام می گرفت درحالی که در سیستم برنامه ریزی مواد، قطعات و مواد با توجه به محصول نهایی برنامه ریزی می شوند و یا برنامه ریزی برای تقاضای مواد و قطعات وابسته به محصول نهایی هستند.

در سیستم برنامه ریزی مواد ابتدا محصول نهایی را در نظر می گیریم، سپس آن را به اجزاء تشکیل دهنده اش تجزیه می کنیم و آن گاه با توجه به زمان احتیاج به هر يك از مواد و قطعات برنامه ریزی های لازم را انجام می دهیم. این سیستم به ما كمك می كند تا بتوانیم فعالیت های مربوط به تدارك قطعات و مواد را مشخص و زمان انجام آنها را در طول برنامه تعیین کنیم. در این سیستم اجزاء تشکیل دهنده محصول شناسایی شده، میزان هر يك از اجزاء تعیین و طول زمان لازم برای تهیه آنها در موعد مقرر مشخص می شود.

1, MRP (Material Requirement Planning)

- برای برنامه ریزی مواد باید: ۱- اجزاء تشکیل دهنده محصول مشخص باشد.
- ۲- لیست مواد و قطعات تشکیل دهنده دقیقاً مشخص باشد.
- ۳- تقاضا برای محصول نهایی در طول برنامه معین باشد.

تقاضای مستقل^۱ و تقاضای وابسته^۲

قبل از آنکه به بررسی سیستم برنامه ریزی مواد پردازیم لازمست تفاوت بین تقاضای وابسته و تقاضای مستقل توضیح داده شود. در تقاضای مستقل، تقاضا برای يك قطعه جدا از تقاضا برای قطعات دیگر است. ولی در تقاضای وابسته، تقاضا برای يك قطعه وابسته به تقاضا برای قطعات دیگر می باشد.

زمانی که تقاضا برای قطعات و مواد براساس محصول نهایی محاسبه شود این تقاضا وابسته می باشد. درحالی که تقاضا برای قطعات یدکی که در رابطه مستقیم با محصول نهایی نیست، تقاضای مستقل به شمار می آید. در سیستم برنامه ریزی مواد، قطعات و مواد وابسته برای تولید محصول نهایی برنامه ریزی می شوند. به عبارت دیگر در تقاضای وابسته اگر تقاضا برای محصول نهایی معین باشد می توان تقاضا برای قطعات و مواد تشکیل دهنده محصول را محاسبه کرد. مثلاً اگر يك واحد از محصول الف از قطعه a_1 و قطعه a_2 تشکیل شده باشد زمانی که میزان تقاضا برای محصول الف مشخص شود می توانیم قطعات مورد نیاز a_1 و a_2 را محاسبه کنیم.

سیستمهای کنترل موجودی برای اقلام تقاضای مستقل مورد استفاده می باشند اما سیستم برنامه ریزی مواد برای اقلام تقاضای وابسته به کار می روند.

اهداف سیستم برنامه ریزی مواد

اهداف سیستم برنامه ریزی مواد عبارتست از:

- ۱- کاهش میزان موجودی انبار.
 - ۲- کاهش زمان تولید و تحویل کالا.
 - ۳- برآورد زمان واقعی تحویل کالا.
 - ۴- افزایش بازدهی تولیدی.
- کوشش در سیستم برنامه ریزی مواد آنست که اهداف فوق الذکر تحقق یابند.

1. dependent demand

2. independent demand

اجزاء تشکیل دهنده سیستم برنامه‌ریزی مواد

سیستم برنامه‌ریزی مواد از سه جزء زیر تشکیل می‌شود:

- ۱- برنامه تفصیلی تولید^۱ (برنامه تقویمی)
- ۲- لیست مواد و قطعات. ۳- صورت موجودی انبار

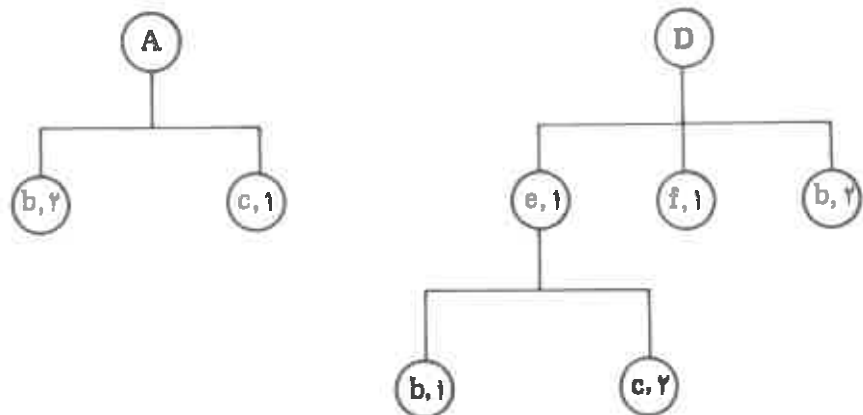
۱- برنامه تفصیلی تولید

طراحی سیستم برنامه‌ریزی مواد مبتنی بر برنامه تفصیلی تولید می‌باشد. در برنامه تفصیلی تولید میزان محصول و زمان تقویمی تولید آن در طول دوره برنامه مشخص می‌شود. برنامه تفصیلی تولید حاصل تفکیک برنامه کلی تولید به صورت کالاهای مشخصی و زمان تولید هر یک می‌باشد. سیستم برنامه‌ریزی مواد به تعیین زمان تهیه مواد و قطعات برای ساخت به موقع کالاهایی که در برنامه تفصیلی تولید پیش‌بینی شده می‌پردازد. از آنجایی که برنامه تفصیلی تولید نیازهای اطلاعاتی سیستم برنامه‌ریزی مواد را تأمین می‌کند، دقت و صحت در طراحی برنامه مذکور برای سیستم برنامه‌ریزی مواد بسیار مهم است.

۲- لیست مواد و قطعات^۲

لیست مواد و قطعات نشان می‌دهد که اجزاء تشکیل دهنده محصول چیست و ترتیب ساخت آن چگونه است. این لیست شامل کلیه اجزاء محصول، ترتیب ساخت و تعداد هر یک از اجزاء برای ساخت یک واحد محصول می‌باشد. اطلاعات مذکور معمولاً از نقشه‌های مهندسی و طراحی و نمودارهای فراگرد عملیاتی محصول به دست می‌آید. شکل (۱۰-۱) لیست مواد و قطعات را برای دو محصول فرعی A و D نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید یک واحد از محصول A شامل دو واحد قطعه b و یک واحد قطعه c می‌باشد. همچنین یک واحد محصول D شامل یک واحد قطعه e و یک واحد قطعه f و دو واحد قطعه b می‌باشد از طرفی قطعه e خود شامل یک واحد قطعه b و ۲ واحد قطعه c می‌باشد.

در سیستم MRP محصولات A و D در سطح اول نشان داده شده و قطعات و مواد تشکیل دهنده آنها به ترتیب در سطح پایین‌تری قرار می‌گیرند. این ترتیب را همیشه باید رعایت کرد. به طوری که محصول نهایی در سطح اول و قطعات و مواد تشکیل دهنده آن در



شکل ۱-۱۰

نمودار قطعات تشکیل‌دهنده محصولات A و D

سطوح دوم، سوم و... قرار گیرند.

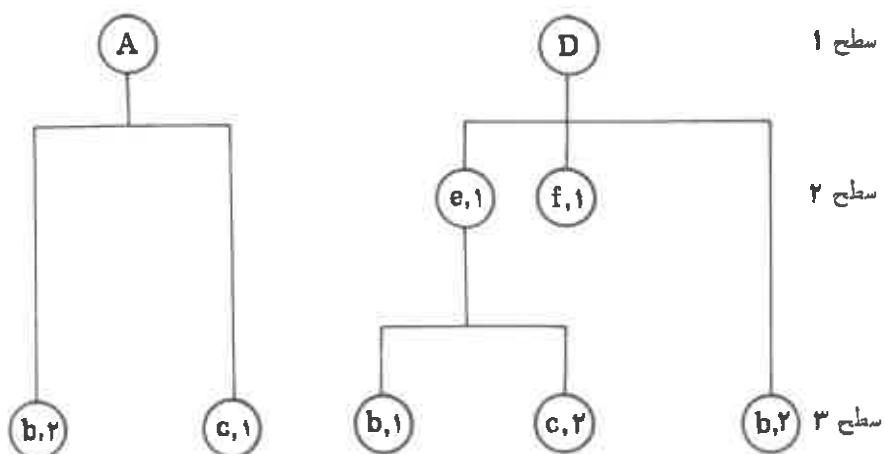
میزان محصولات A و D در برنامه تفصیلی تولید مشخص شده است و اکنون باید در سیستم MRP میزان مواد و قطعات مورد نیاز در سطوح بعدی محاسبه شود. در تخصیص اجزاء و قطعات به سطوح مختلف باید دومورد را مد نظر داشت یکی اینکه هر جزء فقط باید در یک سطح قرار گیرد و دوم اینکه اگر جزئی در دو سطح مختلف قرار داشت باید آن را در سطح پایینتر منظور کرد. مثلاً اگر جزئی هم در سطح ۲ و هم در سطح ۳ به کار رود آن جزء باید فقط در سطح ۳ نشان داده شود. در شکل (۱۰-۲) اجزاء تشکیل‌دهنده محصولات A و D در سطوح مختلف نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قطعات b و c هم در سطح ۲ قرار دارند و هم در سطح ۳ بنابراین قطعات مذکور را باید در سطح ۳ به صورت شکل (۱۰-۲) نشان داد.

۳- صورت موجودی انبار^۱

لازمه سیستم MRP داشتن اطلاعات دقیق از وضعیت موجودی کالا و قطعات مورد نیاز در انبار می‌باشد. با استفاده از این اطلاعات می‌توان فعالیتهای سفارش و تهیه کالا در مواقع لزوم را برنامه‌ریزی کرد. کارت موجودی انبار شامل اطلاعاتی نظیر شماره شناسایی،

1. inventory status file



شکل شماره ۲-۱۵

نمودار قطعات تشکیل‌دهنده محصول در سطوح مختلف

میزان موجودی، سطح حداقل موجودی، میزان هر بار سفارش و زمان لازم جهت تهیه و ساخت می‌باشد.

محاسبه میزان تقاضای اجزاء متشکله محصول

با استفاده از برنامه تفصیلی تقویمی تولید و موجودی انبار می‌توان میزان تقاضای اجزاء تشکیل‌دهنده محصول را محاسبه کرد. فرض کنید که در مثال پیش تقاضا برای محصولات A و D در طول ۶ هفته به صورت جدول (۱-۱۵) تعیین شده باشد.

زمان به هفته						محصول
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
		۲۰		۳۰		محصول A
	۵۰		۵۰			محصول D

جدول شماره ۱-۱۵

تقاضای محصولات A و D در طول ۶ هفته

زمان لازم جهت ساخت هر يك از محصولات مذکور در صورت موجود بودن قطعات و مواد اولیه مورد نیاز ۲ هفته می باشد قطعات c و f در داخل کارخانه تولید می شوند و مواد اولیه b و c از خارج تهیه می شود. زمان لازم جهت ساخت هر يك از قطعات e و f يك هفته و زمان جهت سفارش و حمل مواد اولیه b و c دو هفته می باشد. موجودی و زمان ساخت و یا سفارش هر يك از محصولات، قطعات و مواد اولیه مذکور در جدول شماره (۲-۱۰) آمده است.

محصولات و یا قطعات	محصول A	محصول D	قطعه c	قطعه f	مواد b	مواد c
موجودی	۴۰	۵۵	۳۵	۳۵	۸۰	۲۰
زمان ساخت و یا سفارش	۲	۲	۱	۱	۲	۲

جدول شماره ۲-۱۰

میزان موجودی و زمان ساخت یا سفارش قطعات و محصولات

حال با استفاده از برنامه ریزی مواد به محاسبه میزان قطعات و مواد مورد نیاز محصولات به طوری که بتواند بموقع جوابگوی جدول تقاضا باشد می پردازیم. جدول (۳-۱۰) این محاسبه را نشان می دهد. در جدول مذکور، ردیف اول شامل زمان به هفته می باشد. در سطح ۱ محصولات A و D قرار دارند.

برای هر محصول چهار نوع محاسبه باید صورت گیرد. این محاسبات عبارتند از تقاضا، موجودی، دریافتی و درخواست.

تقاضا: میزان تقاضا را می توان از برنامه تفصیلی تقویمی توارید به دست آورد. در مورد مثال قبل میزان تقاضا برای هر يك از محصولات A و D در ردیف تقاضا نشان داده شده است.

موجودی: موجودی محصول A در اول دوره ۴۰ واحد می باشد. از طرفی تقاضا برای محصول A در هفته اول وجود نداشته بنابراین در آخر هفته اول موجودی برابر همان ۴۰ واحد است. در هفته دوم تقاضا برابر ۳۰ واحد است این مقدار را می توان از موجودی انبار تأمین کرد. بنابراین در آخر هفته دوم میزان باقی مانده موجودی انبار ۱۰

سطوح	زمان (هفته)							
	محصولات و قطعات و مواد		۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶					
سطح ۱	محصول A:	تقاضا	۲۰	۳۰				
	موجودی ۴۰ میزان ساخت ۳۰ زمان ساخت ۲	موجودی دریافتی درخواست	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۲۰
سطح ۱	محصول D:	تقاضا	۵۰	۵۰				
	موجودی ۵۵ میزان ساخت ۶۰ زمان ساخت ۲	موجودی دریافتی درخواست	۱۵	۱۵	۵	۵	۵۵	۵۵
سطح ۲	قطعه I:	تقاضا	۶۰					
	موجودی ۳۵ میزان ساخت ۴۰ زمان ساخت ۱	موجودی دریافتی درخواست	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۳۵	۳۵
سطح ۲	قطعه e:	تقاضا	۶۰					
	موجودی ۳۵ میزان ساخت ۳۰ زمان ساخت ۱	موجودی دریافتی درخواست	۵	۵	۵	۵	۳۵	۳۵
سطح ۳	قطعه B:	تقاضا	۱۲۰	۹۰				
	موجودی ۸۰ میزان تهیه ۲۰۰ زمان تهیه ۲	موجودی درخواست درخواست	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۱۹۰	۸۰
سطح ۳	قطعه c:	تقاضا			۹۰			
	موجودی ۴۰ میزان تهیه ۵۰ زمان تهیه ۲	موجودی دریافتی درخواست	۰	۰	۰	۰	۰	۴۰

جدول شماره ۳-۱۰
جدول برنامه ریزی مواد

واحد می باشد. در هفته چهارم که تقاضای محصول A برابر ۲۰ واحد است موجودی در انبار به حد کافی وجود ندارد و باید تقاضا را به نحو دیگری تأمین کرد.

دریافتی: برای پاسخ به تقاضای هفته چهارم باید يك مجموعه ۳۰ تایی (میزان هر بار ساخت ۳۰ عدد می باشد) از محصول A آماده گردد. پس در ردیف دریافتی و در هفته چهارم به تعداد ۳۰ عدد از محصول A باید در دست باشد.

درخواست: چون زمان ساخت محصول A، ۲ هفته است بنابراین برای اینکه يك مجموعه ۳۰ تایی از محصول A در هفته چهارم آماده شود باید درخواست ساخت ۳۰ عدد محصول A در هفته دوم صادر شود. به عبارت دیگر اگر درخواست ساخت کالا در هفته دوم صادر شود و برای ساخت محصول A مدت دو هفته لازم باشد می توان انتظار داشت که محصول مذکور در هفته چهارم آماده شود و نیاز آن هفته برآورده گردد.

محاسبات تقاضا، موجودی، دریافتی و درخواست را می توان به همین منوال برای محصول D نیز انجام داد. همان طور که در جدول نشان داده شده است درخواست ساخت محصولات به وسیله دایره ای مشخص شده است.

محاسبه تقاضا برای قطعات و مواد اولیه محصولات به دقت بیشتری نیاز دارد. با توجه به نمودار قطعات تشکیل دهنده محصول در سطح ۲ برای ساخت يك واحد محصول D يك واحد قطعه f لازم است بنابراین هر زمان که نیاز به ساخت محصول D باشد (درخواست ساخت برای محصول D صادر شده باشد) قطعه f باید آماده باشد. به عبارت دیگر در هفته سوم که تعداد ۶۰ واحد از محصول D باید ساخته شود نیاز به ۶۰ واحد از قطعه f وجود دارد. همچنین برای ساخت يك واحد از محصول D نیاز به يك واحد قطعه g می باشد، پس برای ساخت ۶۰ واحد محصول D نیاز به ۶۰ واحد قطعه g می باشد. در سطح ۳ قطعات b و c وجود دارند.

قطعه b در موارد زیر به کار رفته است:

- برای ساخت يك واحد محصول D، ۲ واحد قطعه b لازم است.
 - برای ساخت يك واحد قطعه e، يك واحد قطعه b لازم است.
 - برای ساخت يك واحد محصول A، ۲ واحد قطعه b مورد نیاز است.
- بنابراین تقاضا برای قطعه b در هفته دوم برابر ۹۰ واحد و در هفته سوم برابر ۱۲۰ واحد می باشد. قطعه c در موارد زیر مورد استفاده قرار گرفته است:
- برای ساخت يك واحد قطعه g، ۲ واحد قطعه c لازم است.
 - برای ساخت يك واحد محصول A، يك واحد قطعه c مورد نیاز است.
- بنابراین تقاضا برای قطعه c در هفته دوم برابر ۹۰ واحد و در هفته سوم ۶۰ واحد

می‌باشد. جدول (۳-۱۵) نشان‌دهنده برنامه‌ریزی مواد و قطعات مورد نیاز برای تولید محصولات A و D می‌باشد به طوری که محصولات فوق بموقع طبق جدول تقاضا آماده شوند. بدیهی است تحقق این امر مستلزم تدارك و ساخت بموقع قطعات و مواد اولیه تشکیل‌دهنده محصولات می‌باشد.

در عمل ممکنست برنامه‌ریزی مواد صورت پیچیده‌تری داشته باشد. به مثال زیر توجه کنید:

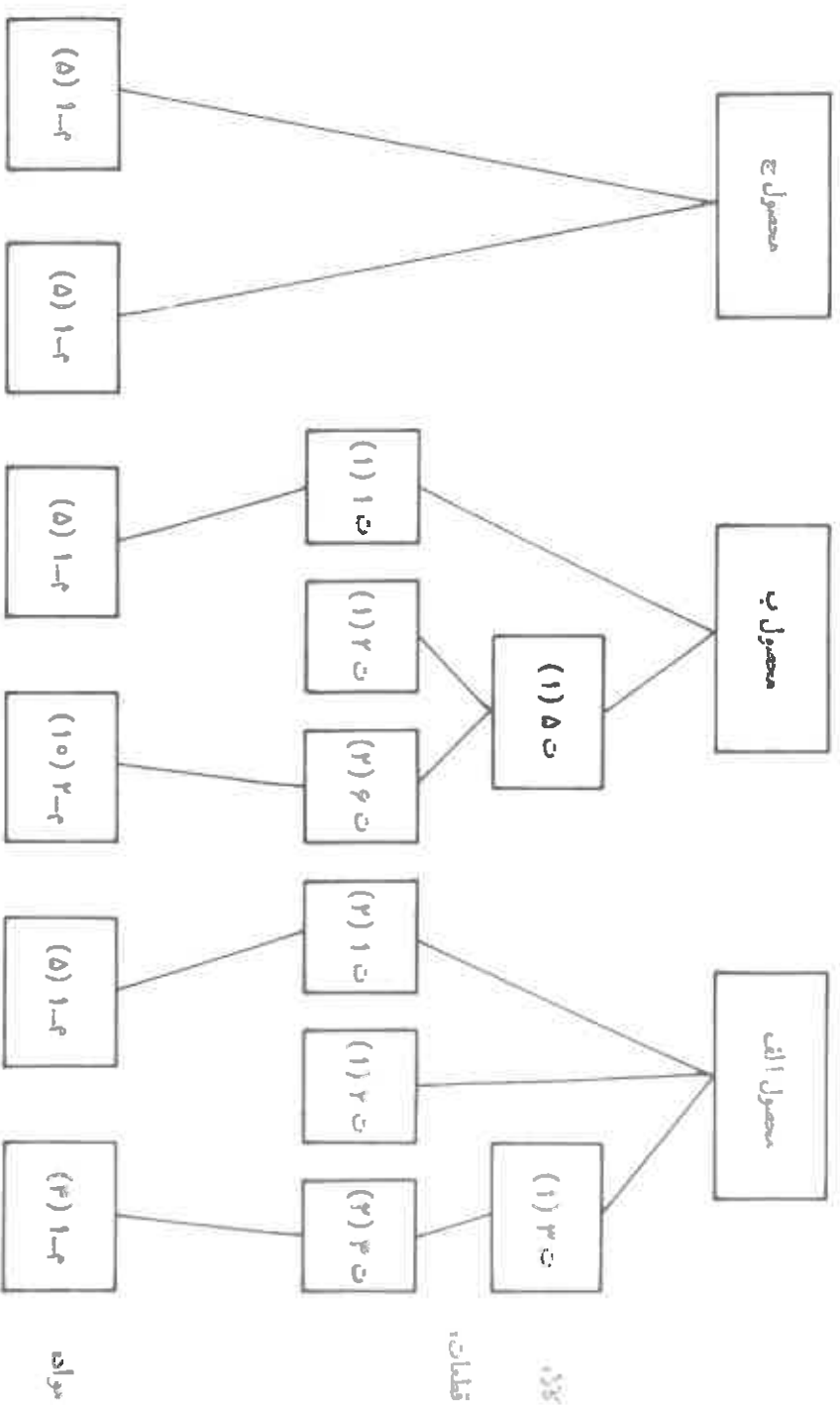
مثال:

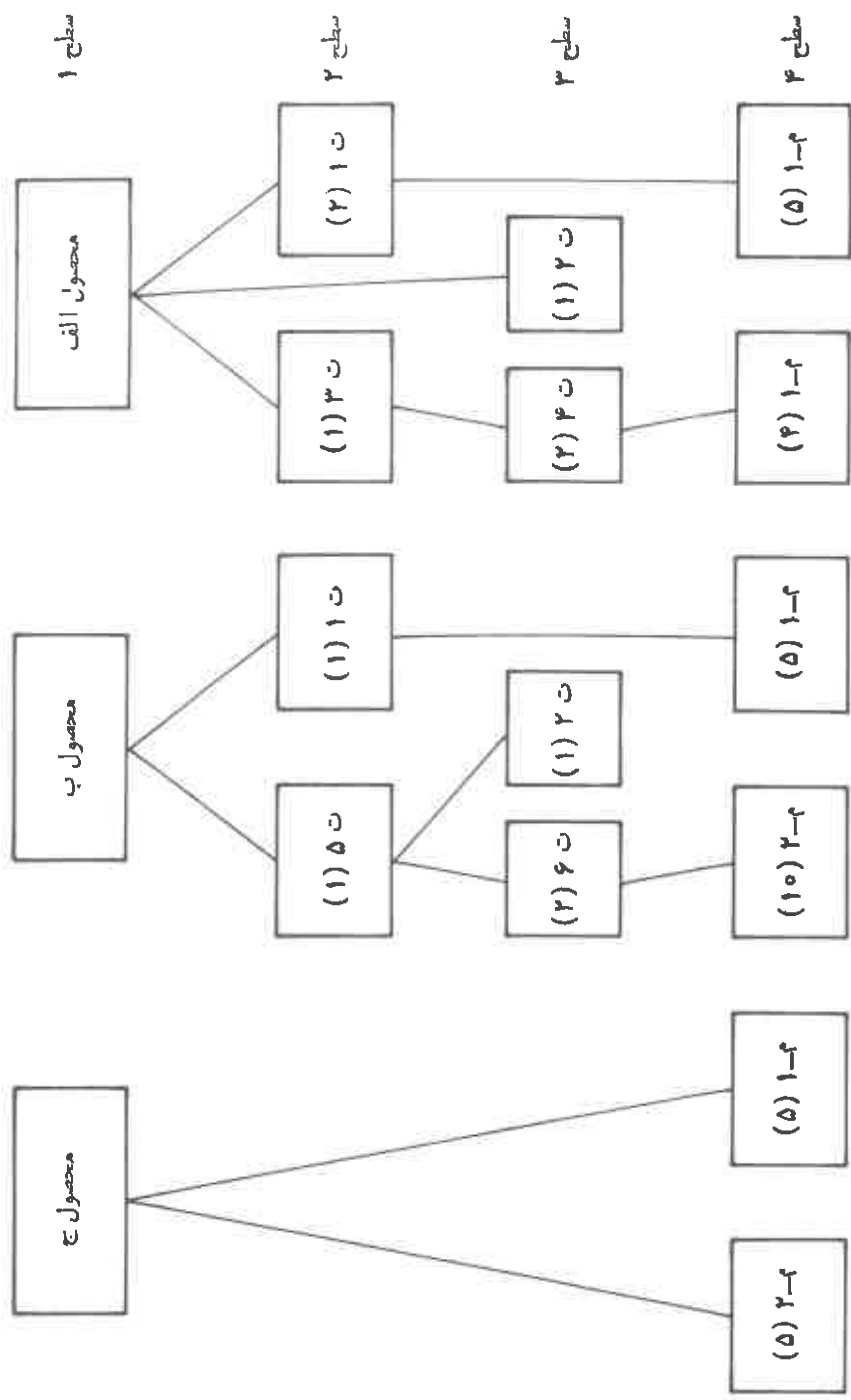
شرکت سامان تولیدکننده سه نوع کالا می‌باشد شکل شماره (۳-۱۵) نشان‌دهنده محصولات تولیدی این شرکت و قطعات و مواد متشکله آنها است.

شرکت سامان سفارش جدیدی مبنی بر افزایش تولید هر يك از محصولات خود به میزان ۱۰۰۰۰ واحد در هفته را دریافت کرده است. این سفارش قرار است برای مدت ۲۳ هفته به همین میزان ادامه یابد. این شرکت در حال حاضر از هر يك از محصولات الف، ب و ج به ترتیب ۷۰۰۰۰، ۸۰۰۰۰ و ۹۰۰۰۰ واحد در انبار موجود دارد. همچنین تجربه نشان داده که تولید هر يك از محصولات در بسته‌های ۱۰۰۰۰۰ تایی مقرون به صرفه می‌باشد. زمان لازم جهت ساخت و حمل هر يك از محصولات مذکور در صورت موجود بودن مواد اولیه و قطعات مورد نیاز ۲ هفته می‌باشد. تمامی قطعات بجز قطعه (ت-۲) در داخل کارخانه تولید می‌شوند. قطعه (ت-۲) مانند دیگر مواد اولیه (م-۱) و (م-۴) از خارج تهیه می‌شوند. زمان لازم جهت سفارش و حمل قطعه (ت-۲) و مواد اولیه (م-۱) و (م-۴) يك هفته است در حال حاضر موجودی مواد اولیه (م-۱) و (م-۴) و قطعه (ت-۲) در انبار صفر می‌باشد. سایر اطلاعات در مورد دیگر قطعات مواد در جدول (۴-۱۵) درج شده است. حال با استفاده از برنامه‌ریزی مواد به محاسبه میزان قطعات و مواد مورد نیاز شرکت به طوری که بتواند به موقع جوابگوی سفارش جدید باشد می‌پردازیم.

اولین قدم در ایجاد سیستم MRP تهیه لیست مواد و قطعات تشکیل‌دهنده محصول است. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد این لیست شامل کلیه اجزاء محصول می‌باشد. لیست قطعات و مواد برای هر سه محصول تولیدی شرکت سامان در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید محصولات الف، ب و ج در سطح ۱ قرار دارند. قطعه (ت-۲) مستقیماً در ساخت محصول الف به کار برده شده ولی از طرفی برای ساخت قطعه (ت-۵) نیز از قطعه (ت-۲) استفاده می‌شود. بنا بر این قطعه (ت-۲) در سطح ۳ قرار





شکل شماره ۱۰-۴
اجزاء تشکیل دهنده محصولات شرکت سامان در سطوح مختلف

خواهد داشت. مواد اولیه (م-۱) برای ساخت محصول ج در سطح ۲، در ساخت محصولات ب و الف در سطح ۳ و در ساخت قطعه (ت-۴) در سطح ۴ قرار دارد بنابراین مواد اولیه (م-۱) باید در سطح ۴ قرار گیرد. به همین ترتیب می‌توان سطوح مختلف قطعات و مواد اولیه لازم برای ساخت محصول را مشخص کرد.

جدول (۴-۱۵) برنامه‌ریزی قطعات و مواد شرکت سامان را در طول دوره برنامه که بیست و سه هفته است نشان می‌دهد. لازم به تذکر است که این برنامه بیست و سه هفته‌ای ازوماً در طول دوره برنامه بدون تغییر باقی نمی‌ماند و عواملی مانند تغییر در تقاضا، تعطیلات پیش‌بینی نشده، خرابی ماشین‌آلات و یا غیره باعث تغییر در برنامه مزبور می‌شود. با استفاده از سیستم MRP می‌توان به سادگی این تغییرات را در برنامه نشان داد و آن را به روز درآورد.

انواع سیستمهای برنامه‌ریزی مواد و موارد استفاده آنها

به‌طور کلی دو نوع سیستم برنامه‌ریزی وجود دارد: سیستم بازنگری کلی^۱ و سیستم بازنگری موردی^۲.

اصولاً^۳ برنامه اساسی تولید^۴ به‌دست دریافت سفارشهای جدید، کاهش سفارشهای در دست، تغییر در موجودی انبار، تغییر در زمان تهیه یا ساخت قطعات، تغییر در نقشه‌های مهندسی و طراحی کالا و غیره... باید مورد بازنگری قرار گیرد و تغییر کنند. در سیستم بازنگری کلی برنامه اساسی تولید در فواصل معین و مشخصی (اغلب به‌طور هفتگی یا ماهانه) از ابتدا تا انتها مورد بازنگری قرار می‌گیرد و کلیه تغییرات لازم در آن به‌عمل می‌آید به‌طوری که برنامه کاملاً جدید و به‌روز درآورده شده‌ای حاصل می‌شود. درحالی که در سیستم بازنگری موردی هرگاه تغییری در برنامه لازم شد بدون در نظر داشتن دوره زمانی خاص، تغییر مذکور را در برنامه منعکس می‌کنیم و برنامه را به‌روز درمی‌آوریم. بدین ترتیب تفاوت اصلی این دو سیستم بازنگری در فراوانی دفعاتی است که برنامه مورد بازنگری واقع می‌شود. در سیستم بازنگری کلی، بررسی برنامه در فواصل معینی مانند هفته یا ماه انجام می‌شود اما در سیستم بازنگری موردی چنین نظمی وجود ندارد و هرگاه تغییری لازم شد در برنامه منعکس می‌شود.

1. Regenerative

2. Net change

3. Master Production Schedule

روشهای تعیین میزان سفارش یا ساخت

در روش‌های تعیین میزان سفارش یا ساخت همانند مدل تعیین میزان اقتصادی سفارش (EOQ)، دونوع هزینه وجود دارد که یکی هزینه انبارداری و دیگری هزینه سفارش یا هزینه راه‌اندازی و تنظیم ماشین‌آلات می‌باشد. با در نظر داشتن این دونوع هزینه است که می‌توان میزان سفارش یا ساخت را در حد مطلوب تعیین کرد.

روشهای مختلفی برای تعیین میزان سفارش یا ساخت وجود دارد که در اینجا به دو روش: «سفارش براساس نیاز هر دوره» و «سفارش دوره‌ای» اشاره خواهد شد.

۱- روش سفارش براساس نیاز هر دوره^۱

در این روش میزان سفارش یا ساخت برابر نیاز هر يك از دوره‌ها تعیین می‌شود. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

میزان نیاز به کالایی در يك شرکت به صورت زیر می‌باشد:

جدول نیاز								
دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
نیاز	۵۰	۸۰	۲۰	۹۰	۰	۶۰	۱۲۰	۸۰

هزینه هر بار سفارش ۱۰۰۰۰ ریال و هزینه انبارداری هر واحد محصول در يك دوره برابر ۵۰ ریال است.

میزان سفارش در این روش براساس نیاز هر دوره انجام می‌گیرد. بدین ترتیب باید ۷ بار سفارش انجام گیرد تا نیازهای تمام دوره‌ها برآورده شود. ضمناً چون سفارش در هر دوره به اندازه نیاز همان دوره است، کالایی بین دوره‌ها در انبار باقی نمی‌ماند و هزینه انبارداری صفر می‌باشد. جدول شماره (۵-۱۰) هزینه انبارداری و هزینه سفارش یا ساخت را به این روش نشان می‌دهد.

دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
نیاز	۵۰	۸۰	۲۰	۹۰	۰	۶۰	۱۲۰	۸۰
میزان سفارشی یا ساخت	۵۰	۸۰	۲۰	۹۰	۰	۶۰	۱۲۰	۸۰
هزینه انبارداری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
هزینه سفارشی یا ساخت	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰

جدول شماره ۵-۱۰

جدول قیمت میزان سفارشی یا ساخت براساس نیاز هر دوره

۲- روش سفارش دوره‌ای

در این روش به جای آنکه در هر دوره میزان سفارش به اندازه نیاز همان دوره تعیین شود، مجموع نیاز چند دوره با توجه به هزینه‌های سفارش، ساخت و انبارداری محاسبه می‌شود.

برای روشن شدن مطلب میزان سفارش در مثال گذشته را به روش سفارش دوره‌ای تعیین می‌کنیم:

همان‌طور که در جدول نیاز برای کالا مشاهده می‌شود برای دوره اول ۵۰ واحد کالا مورد نیاز است و سفارش باید ۵۰ واحد باشد. اگر نیاز دوره دوم را نیز در سفارش دوره اول منظور کنیم باید ۱۳۰ واحد سفارش دهیم که در این صورت هزینه انبارداری ۸۰ واحد اضافی که از دوره ۱ تا دوره ۲ در انبار نگهداری می‌شود برابر است با:

$$۸۰ \times ۵۰ \times ۱ = ۴۰۰۰$$

این هزینه کمتر از هزینه سفارش (۱۰۰۰۰ ریال) است بنابراین بهتر است سفارش دوره دوم را در دوره اول منظور کنیم.

همین‌طور می‌توان امکان منظور کردن نیاز دوره ۳ را در سفارش دوره ۱ ارزیابی کرد. بدین‌منظور باید هزینه‌ها را محاسبه و با هم مقایسه کنیم.

هزینه‌ها در این حالت عبارتند از:

$$۴۰ \times ۲ \times ۵۰ = ۴۰۰۰ \quad \text{هزینه انبارداری ۴۰ واحد که از دوره اول تا سوم در انبار نگهداری می‌شود.}$$

$$۴۰۰۰ + ۴۰۰۰ = ۸۰۰۰ \quad \text{هزینه کل انبارداری (هزینه انبارداری ۸۰ واحد از دوره ۱ تا دوره ۲ به اضافه هزینه انبارداری ۴۰ واحد از دوره ۱ تا دوره ۳)}$$

از آنجایی که هزینه انبارداری کمتر از هزینه سفارش است (۱۰۰۰۰ ریال) منظور کردن نیاز دوره ۳ در دوره ۱ مقرون به صرفه است.

حال باید دید اگر نیاز دوره چهارم را در سفارش دوره ۱ منظور کنیم چه تغییری در هزینه‌های فوق ایجاد می‌شود.

$$۹۰ \times ۳ \times ۵۰ = ۱۳۵۰۰ \quad \text{هزینه انبارداری ۹۰ واحد که از دوره ۱ تا دوره ۴ در انبار نگهداری می‌شود.}$$

$$۱۳۵۰۰ + ۸۰۰۰۰ = ۲۱۵۰۰ \quad \text{هزینه کل انبارداری}$$

از آنجایی که هزینه انبارداری بیشتر از هزینه سفارش (۱۰۰۰۰ ریال) می باشد منظور کردن نیاز دوره ۲ در دوره ۱ منطقی نیست و بنابراین باید فقط ۱۷۰ واحد را در سفارش دوره ۱ منظور کرد که این تعداد نیاز دوره های ۲، ۳ و ۴ را تأمین می کند. همین محاسبه را می توان از دوره ۲ به بعد انجام داد و میزان مطلوب سفارش یا ساخت را تعیین کرد.

جدول شماره ۱۰-۶ نشان دهنده میزان سفارش یا ساخت و هزینه های مربوط به فروش دوره ای است.

دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
نیاز	۵۰	۸۰	۴۰	۹۰	۰	۶۰	۱۲۰	۸۰
میزان سفارش	۱۷۰	۰	۰	۱۵۰	۰	۰	۲۰۰	۰
هزینه انبارداری	۶۰۰۰	۲۰۰۰	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰	۴۰۰۰	۰
هزینه سفارش یا ساخت	۱۰۰۰۰۰	۰	۰	۱۰۰۰۰۰	۰	۰	۱۰۰۰۰۰	۰

جدول شماره ۱۰-۶

تعیین میزان سفارش یا ساخت به روش دوره ای

با مقایسه جداول شماره ۱۰-۵ و ۱۰-۶ می توان نتیجه گرفت که کل هزینه های سفارش، ساخت و انبارداری در فروش دوره ای برابر ۲۸۰۰۰۰ ریال و در فروش سفارش براساس نیاز هر دوره ۷۰۰۰۰۰ ریال است. بدین ترتیب در مثال پیش استفاده از روش دوره ای بهتری باشد اما این امر کلیت ندارد و ممکن است در مواردی روش سفارش براساس نیاز هر دوره نتیجه مطلوبتری حاصل سازد.

برنامه‌ریزی ظرفیت^۱

برنامه‌ریزی ظرفیت یکی از مهمترین اجزاء فرایند برنامه‌ریزی تولید می‌باشد. برنامه‌ریزی ظرفیت هماهنگی برنامه‌ریزی کلی با برنامه‌ریزی بار ماشین‌آلات و برنامه تعیین تقدم و تأخر فعالیتها را به منظور استفاده بهتر از امکانات میسر می‌کند. به عبارت دیگر هدف برنامه‌ریزی ظرفیت هماهنگ کردن برنامه‌های تولید با امکانات و ظرفیتهای موجود می‌باشد.

مثال:

فرض کنید در يك شرکت برنامه صدور سفارش تولید کالایی برای ۲۰ هفته با استفاده از سیستم MRP به صورت جدول (۷-۱۰) تعیین شده باشد:

زمان (هفته)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
کالا	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کالای شماره ۲۰۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

ارقام تولید ۱۰۰۰

جدول شماره ۷-۱۰

ظرفیت انجام کار در شرکت مذکور هفته‌ای یکصد هزار واحد کالا می‌باشد و مدیریت شرکت تصمیم گرفته است که هر سفارش دریافتی را در عرض سه هفته و به صورت مساوی تولید کند. مثلاً سفارشی که در هفته صفر به کارگاه داده شده باید در عرض سه هفته انجام گیرد بدین ترتیب تولید هفته صفر، یک و دو عبارتست از:

$$۲۰۰۰۰۰۰ \div ۳ = ۶۶۶۶۶۷$$

به همین صورت در هفته سوم که نیاز به تولید ۳۰۰۰۰۰۰ واحد کالا می‌باشد $\frac{۱}{۳}$ آن را در هفته سوم و بقیه را در هفته‌های چهارم و پنجم تولید خواهیم کرد به عبارت دیگر سهم تولید هفته‌های سوم و چهارم و پنجم هر کدام به میزان ۱۰۰۰۰۰۰ واحد می‌باشد. اما در هفته پنجم

1. CRP Capacity Requirement Planning

سفارش دیگری به میزان ۲۰۰۰۰۰ واحد وجود دارد که طبق رویه شرکت باید $\frac{1}{3}$ آن در آن هفته و مابقی در هفته‌های ششم و هفتم انجام گیرد. بنابراین سهم تولید هفته پنجم عبارتست از:

$$۱۰۰۰۰۰ + ۶۶۶۶۷ = ۱۶۶۶۶۷$$

به همین ترتیب می‌توان میزان تولید مورد نیاز در هفته‌های بعد را نیز محاسبه کرد. نتایج محاسبات در جدول شماره (۸-۱۰) آمده است.

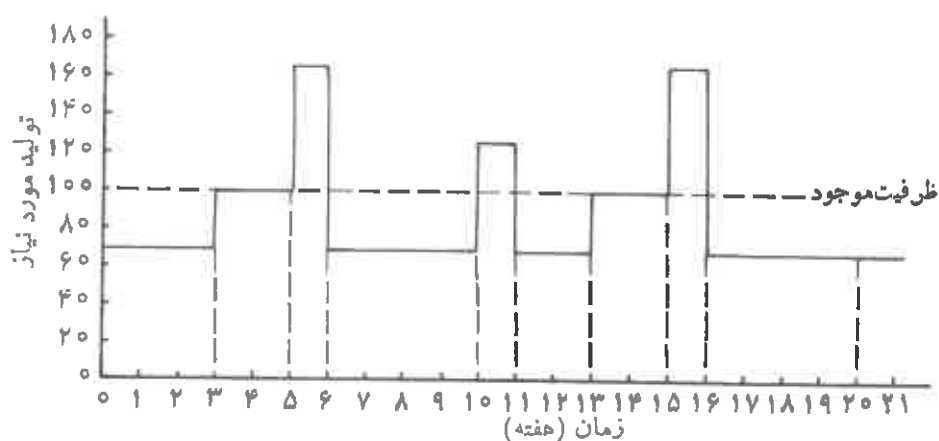
میزان تولید کالا	زمان به هفته
۶۶۶۶۷	۰
۶۶۶۶۷	۱
۶۶۶۶۷	۲
۱۰۰	۳
۱۰۰	۴
$۱۰۰ + ۶۶۶۶۷$	۵
۶۶۶۶۷	۶
۶۶۶۶۷	۷
۶۶۶۶۷	۸
۶۶۶۶۷	۹
$۶۶۶۶۷ + ۶۶۶۶۷$	۱۰
۶۶۶۶۷	۱۱
۶۶۶۶۷	۱۲
۱۰۰	۱۳
۱۰۰	۱۴
$۱۰۰ + ۶۶۶۶۷$	۱۵
۶۶۶۶۷	۱۶
۶۶۶۶۷	۱۷
۶۶۶۶۷	۱۸
۶۶۶۶۷	۱۹
۶۶۶۶۷	۲۰

ارقام تولید به ۱۰۰۰

جدول شماره ۸-۱۰

میزان تولید مورد نیاز در ۲۰ هفته

نتایج جدول شماره (۸-۱۰) در شکل شماره (۵-۱۰) نشان داده شده است.

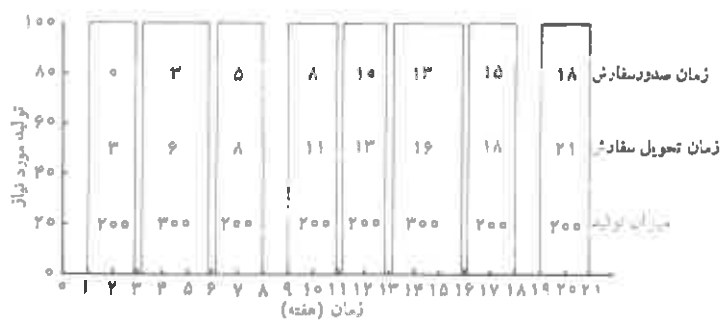


شکل ۵-۱۰

نمودار تولید مورد نیاز در ۲۰ هفته

همچنان که در نمودار (۵-۱۰) مشاهده می شود تولید مورد نیاز در برخی از هفته ها بیش از ظرفیت موجود (۱۰۰۰۰۰ واحد) و گاهی اوقات کمتر از آن می باشد. برای حل این مشکل که در اغلب برنامه ریزی های ظرفیت ایجاد می شود باید به متعادل ساختن برنامه و تطبیق ظرفیت مورد نیاز با ظرفیت موجود اقدام شود. برای انجام این کار در مثال فوق ابتدا با مراجعه به جدول (۷-۱۰) تولید مورد نیاز را با ظرفیت موجود که همان ۱۰۰۰۰۰ واحد می باشد از انتهای دوره رو به ابتدای دوره محاسبه می کنیم. مثلاً در هفته هجدهم ۲۰۰۰۰۰ واحد مورد نیاز است که باید حداکثر در عرض سه هفته آن را تولید کنیم حال اگر این ۲۰۰۰۰۰ واحد تولید را به هفته های ۲۰ و ۱۹ اختصاص دهیم در آغاز هفته ۲۱ میزان تولید مورد نیاز برآورده شده، و از طرفی از حداکثر ظرفیت موجود نیز استفاده شده است. به همین ترتیب تولید مورد نیاز در هفته های ۱۵ و ۱۳ و ... را می توان از انتها به ابتدا محاسبه کرد.

جدول شماره (۹-۱۰) برنامه ریزی با استفاده از حداکثر ظرفیت از انتها رو به ابتدا را نشان می دهد. در این جدول هر سفارش به صورت یک مستطیل نشان داده شده است که در آن زمان صدور سفارش، زمانی که سفارش باید آماده باشد و میزان تولید مورد نیاز مشخص شده است. مثلاً اولین مستطیل سمت راست جدول (۲۰۰، ۲۱، ۱۸) نشان دهنده آنست که درخواست سفارش ۲۰۰ هزار واحدی در هفته ۱۸ صادر شده و باید حداکثر تا

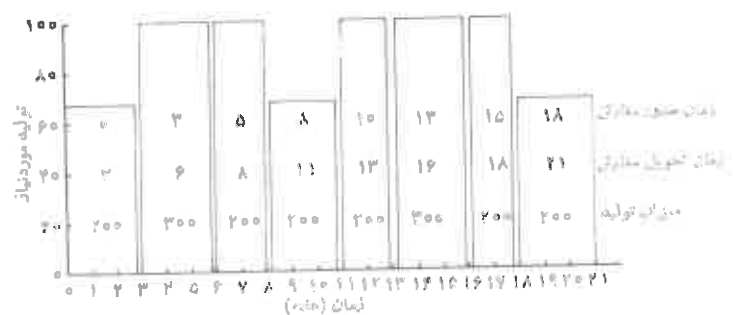


جدول شماره ۹-۱۰

جدول تولید با حداکثر ظرفیت

آغاز هفته ۲۱ تحویل داده شود.

حال با توجه به ظرفیت‌های خالی در جدول مذکور می‌توان به تنظیم جدول نهایی برنامه‌ریزی ظرفیت پرداخت. در جدول نهایی برنامه‌ریزی ظرفیت کوشش می‌شود ضمن توجه به مشخصات هر سفارش که در مستطیل‌های جدول (۹-۱۰) آمده حداکثر استفاده از ظرفیت‌های خالی برای پاسخ به نیازهای برنامه به عمل آید. جدول نهایی برنامه‌ریزی ظرفیت در جدول (۱۰-۱۰) نشان داده شده است.



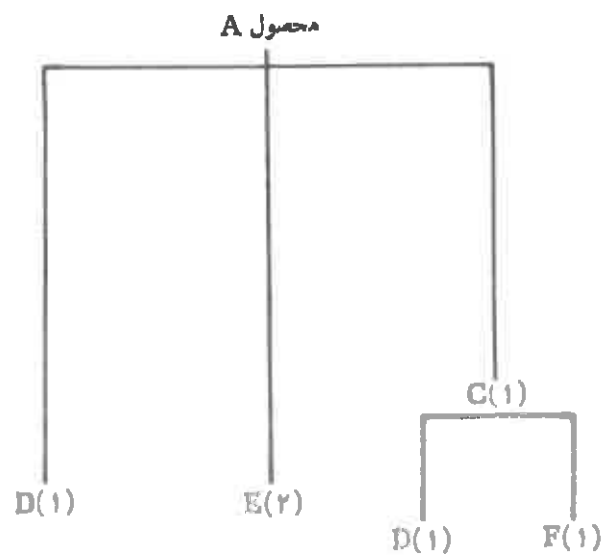
جدول شماره ۱۰-۱۰

جدول نهایی برنامه‌ریزی ظرفیت

با مقایسه جداول (۱۵-۹) و (۱۵-۱۰) می‌توان پی‌برد که چگونه از ظرفیتهای خالی استفاده شده است. مثلاً مطابق جدول (۱۵-۹) در هفته هیجدهم ظرفیت خالی موجود است بنابراین می‌توان ۲۰۰۰۰۰ واحد تولید مورد نیاز را از هفته ۱۸ که زمان صدور سفارش است آغاز کرد و ظرفیت خالی هفته ۱۸ را پر کرد. به همین ترتیب می‌توان از سایر ظرفیتهای خالی نیز استفاده کرد. در صورتی که به‌دروش فوق نتوان به‌نیازهای تولیدی با استفاده از ظرفیت موجود پاسخ داد باید از طرق دیگر مسانند اضافه‌کاری، جا به‌جایی سفارشها، پیمانکاری، افزایش ظرفیت استفاده کرد.

مسائل و تمرینات فصل دهم

۱۰-۱ کارخانه‌ای محصول A را تولید می‌کند نمودار قطعات متشکله و تعداد مورد نیاز در نمودار زیر مشخص شده است:



در صورتی که موجودی و زمان تهیه هر یک از قطعات و تقاضا برای آنها در جدول زیر داده شده باشد مطلوبست برنامه‌ریزی تهیه و ساخت قطعات محصول A به طوری که جوابگوی جدول تقاضا باشد.

۳۹۱ □ برنامه‌ریزی مواد

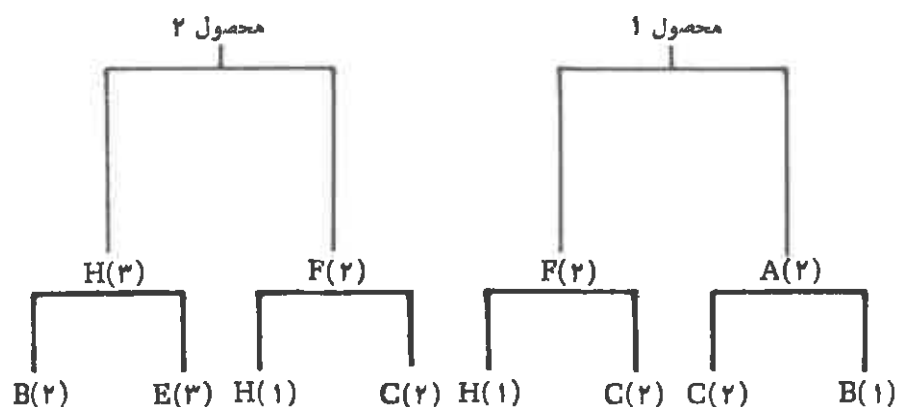
دوره								
	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳
تقاضای محصول								
A	۲۰		۵۰			۳۰	۲۰	

جدول تقاضا

نام قطعه	موجودی	زمان تهیه	میزان تهیه در هر بار
A	۲۰	۳	۵۰
C	۲۰	۱	۵۰
D	۱۷۰	۲	۱۰۰
E	۲۵	۱	۵۰
F	۵۰	۲	۵۰

جدول اطلاعات انبار

۱۰=۲ نمودار قطعات متشکله در محصول ۱ و ۲ به صورت زیر می‌باشد.



در صورتی که موجودی هر يك از قطعات در انبار و زمان تهیه آنها طبق جدول زیر باشد.

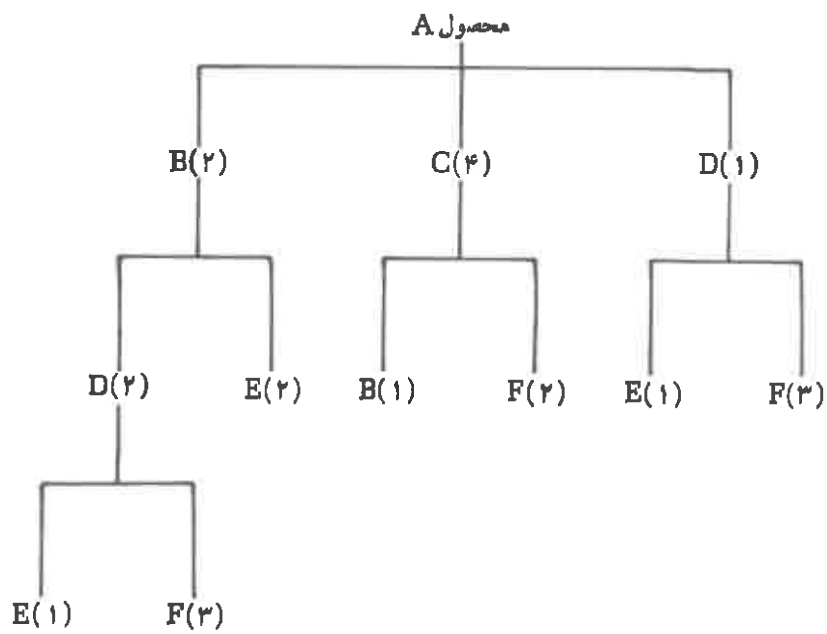
نام قطعه	موجودی در انبار	زمان تهیه - به هفته	میزان هر بار سفارش
محصول ۱	۲۰	۱	۵۰
محصول ۲	۳۰	۲	۵۰
A	۵۰	۱	۱۰۰
B	۷۰۰	۱	۵۰۰
C	۷۰۰	۱	۹۰۰
E	۱۰۰۰	۱	۸۰۰
F	۵۰	۱	۲۰۰
H	۱۰۰	۱	۲۵۰

و همچنین میزان تقاضای محصولات ۱ و ۲ به صورت زیر باشد.

دوره هفته	۳	۲	۵	۶
محصول				
۱	۵۰	۲۰	۳۰	
۲	۲۰		۲۰	۶۰

مطلوبست برنامه ریزی تهیه و ساخت قطعات محصولات ۱ و ۲ به طوری که جوابگوی جدول تقاضا باشد.

۱۰-۳ نمودار قطعات متشکله يك محصول به صورت زیر می باشد:



در صورتی که موجودی هر یک از قطعات در انبار و زمان تهیه آنها طبق جدول زیر باشد:

نام قطعه	موجودی انبار	زمان تهیه - به هفته	میزان هر سفارش
A	۴۰	۲	۵۰
B	۱۰۰	۱	۱۰۰
C	۲۵۰	۱	۱۰۰
D	۱۰۰۰	۱	۴۰۰
E	۱۵۰۰	۱	۴۰۰
F	۱۰۰۰	۱	۴۰۰

و همچنین میزان تقاضای محصول به صورت زیر باشد.

دوره هفته						تقاضای محصول
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۶۰	۳۰	۲۰	۴۰	A		

مطلوبست برنامه ریزی تهیه وساخت قطعات محصول A به طوری که این برنامه جوابگوی تقاضای جدول بالا باشد.

برنامه‌ریزی پروژه^۱

پروژه مجموعه يك سری از فعالیتهاست که از زمان مشخصی آغاز شده و در زمان مشخصی نیز خاتمه می‌یابد. این فعالیتها باید به‌ترتیب خاص و با تقدم و تاخر معینی انجام پذیرند. تفاوت پروژه با سایر برنامه‌ها در این است که پروژه عموماً برای يك بار صورت می‌گیرد و دیگر تکرار نمی‌شود. به عبارت دیگر پروژه مانند برنامه‌هایی که روزانه، هفتگی یا ماهانه برای تولید یا ارائه خدمات دائمی انجام می‌پذیرند نیست و رویدادی يك باره^۲ است.

برنامه‌ریزی پروژه نیز مانند سایر برنامه‌ریزی‌ها شامل مراحل است. ابتدا باید اهداف پروژه مشخص گردند، منابع و امکانات معین شوند، زمان تکمیل پروژه بیان شود، نتایج حاصل از آن برآورد و اولویتها مشخص گردد. مسؤولیتهای مجریان باید تعیین و به آنان محول شود. در مرحله بعد می‌باید پیش‌بینی عملیات برای نیل به هدف انجام پذیرد. کار زمان‌بندی (تعیین طول زمان انجام هر فعالیت) و تعیین منابع مورد نیاز در این مرحله انجام می‌پذیرد. بودجه‌بندی در برنامه‌ریزی پروژه مانند سایر برنامه‌ها مهم است و باید مد نظر باشد. و سرانجام مدیر پروژه باید معین کند که چه فعالیت‌هایی در تکمیل پروژه

نقش اساسی دارند و چگونه می‌توان از امکانات برای اجرای آنها استفاده کرد. برنامه‌ریزی پروژه شامل تمامی فعالیتها و عملیاتی است که برای تحقق اهداف پروژه لازم است در حالی که برنامه زمانی پروژه یا زمان‌بندی پروژه^۱ جزئیات اجرایی و زمان تقویمی انجام عملیات را تعیین می‌کند. مدیر عملیاتی برای زمان‌بندی پروژه فعالیت‌های پروژه را در نظر می‌گیرد و تاریخ انجام آنها و چگونگی ارتباطشان با یکدیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.

مثال:

داریوش که دانشجوی ترم اول در دانشگاه می‌باشد از هم‌اتاقی خود می‌خواهد که او را به منظور آماده‌شدن برای امتحانات پایان ترم راهنمایی کند. او به داریوش می‌گوید که ابتدا باید تمامی دروس آن ترم را فهرست و زمان لازم برای مطالعه و مرور هر یک از دروس را برآورد کند. سپس با توجه به برنامه امتحانات پایان ترم و ترتیب انجام آنها مطالعات خود را آغاز کند. به عبارت دیگر اگر امتحان اول او درس فارسی است اول مطالعه درس فارسی را آغاز کند و به همین ترتیب برای بقیه امتحانات آماده شود. داریوش راهنمایی هم‌اتاقی خود را می‌پذیرد و در ضمن پیش خود تصمیم می‌گیرد که به محض فارغ شدن از آخرین امتحان، تمامی برنامه مطالعات خود را کنار بگذارد و امتحانات، دانشکده و درس را فراموش کند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مثال فوق پروژه عبارتست از مطالعه برای امتحانات پایان ترم. زمان شروع پروژه دقیقاً مشخص نیست ولی می‌توان فرض کرد که آغاز پروژه دو هفته قبل از شروع امتحانات می‌باشد. زمان خاتمه پروژه نیز لحظه‌ای است که داریوش آخرین امتحان خود را انجام می‌دهد. فعالیت‌های پروژه شامل مطالعه دروس مختلفی است که می‌باید به ترتیب انجام امتحانات آنها تنظیم گردد.

مدلهای برنامه‌ریزی پروژه

مدلهای مختلفی برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها وجود دارند. معمولاً مدلهای ریاضی برای پروژه‌هایی که از هزاران فعالیت تشکیل شده‌اند به کار می‌رود اما به علت پیچیدگی اغلب آنها شاید مدلهای ترسیمی بهترین و متداولترین روش برای برنامه‌ریزی و کنترل

1. Project Scheduling

پروژه‌ها باشند. در این قسمت «نمودار گانت^۱»، «تکنیک بازنگری و ارزیابی برنامه^۲» و «روش مسیر بحرانی^۳» که هر سه جزء مدل‌های ترسیمی به شمار می‌آیند مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. (البته در تکنیک بازنگری و ارزیابی برنامه و روش مسیر بحرانی از محاسبات ریاضی نیز استفاده می‌شود.)

نمودار گانت

نمودار گانت در واقع یک نمودار ستونی است که فعالیت‌های یک پروژه را در یک دوره زمانی خاص نشان می‌دهد. در این نمودار فعالیت‌ها در ستون عمودی و زمان انجام آنها در ردیف‌های افقی مشخص می‌شوند. شکل (۱-۱۱) یک نمودار گانت برای فعالیت‌های دانشجویی است که در مثال قبل می‌خواست خود را برای امتحانات آماده کند.

فعالیت	زمان	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم
مطالعه فارسی					
مطالعه انگلیسی					
مطالعه ریاضی : مطالب جدید مطالب قبلی					
مطالعه روان‌شناسی					

شکل ۱-۱۱

نمودار گانت

1. Gantt Chart
2. PERT (Program Evaluation & Review Technique)
3. CPM (Critical Path Method)

فعالیت‌های این پروژه عبارتند از مطالعه برای دروس فارسی، انگلیسی، ریاضی و روان‌شناسی درم ریاضی خود به دو فعالیت تقسیم شده است یکی مطالعه مطالب جدیدی که بعد از امتحان میان ترم تدریس شده و دیگری مرور مطالبی است که قبلاً تدریس شده. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کل فعالیت‌ها باید در طول سه هفته و نیم صورت گیرند. جدول (۱۱-۱) علائمی را که در نمودار گانت به کار برده می‌شود نشان می‌دهد.

شروع يك فعالیت	┐
خاتمه يك فعالیت	┌
زمان پیش‌بینی شده برای يك فعالیت	—
میزان کار انجام شده	⊠
وضعیت کنونی پروژه	✓

جدول شماره ۱۱-۱

علائم نمودار گانت

مثلاً مطالعه درس فارسی برای مدت يك هفته و نیم برنامه‌ریزی شده که در نیمه هفته دوم فقط يك هفته از آن انجام شده است. بنابراین در زمانی که يك هفته و نیم از اجرای پروژه مطالعات سپری شده داریوش تنها يك هفته درس فارسی را مطالعه کرده و بدین ترتیب نیم هفته از برنامه خود عقب افتاده است. ولی در عوض در درس انگلیسی نیم هفته از برنامه جلوتر است. مطالعه در درس ریاضی مطابق برنامه پیشرفته است. به‌طوری‌که نمودار (۱۱-۱) نشان می‌دهد داریوش باید در نیم هفته آینده (نیمه دوم هفته دوم) درس انگلیسی را کنار بگذارد و در عوض عقب افتادگی درس فارسی را جبران کند. یکی از مهمترین مزایای نمودار گانت سادگی و سهولت استفاده از آن می‌باشد. مدیر عملیاتی می‌تواند با يك نگاه به نمودار گانت وضعیت فعالیت‌ها را دریافته و پیشرفت آنها را ارزیابی کند. نقطه ضعف این روش آنست که قادر نیست به وضوح و در تمامی موارد روابط بین فعالیت‌ها را مشخص سازد.

مدلهای شبکه‌ای^۱

اغلب برنامه‌ریزی‌های پروژه در مدیریت عملیاتی با استفاده از مدل‌های شبکه‌ای صورت می‌گیرد. این مدل‌ها یک سیستم کامل اطلاعاتی برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها می‌باشند. از جمله مدل‌های شبکه‌ای که بیشتر مورد استفاده هستند تکنیک ارزیابی و بازنگری برنامه و روش مسیر بحرانی است. تکنیک ارزیابی و بازنگری برنامه در سال ۱۹۵۸ توسط نیروی دریایی آمریکا برای کنترل پروژه پولاریس^۲ طراحی و به کار گرفته شد. کاربرد این تکنیک در پروژه فوق که حدود سه هزار پیمانکار در آن فعالیت داشتند موجب شد زیردریایی اتمی مجهز به موشک پولاریس دو سال زودتر از زمان برنامه‌ریزی شده آماده گردد. در همین زمان روش مسیر بحرانی نیز در شهر دوپانت^۳ توسط شرکت رمینگتون راند^۴ به کار گرفته شد. بزودی مشخص شد که هر دو روش بسیار شبیه هم هستند و اساس آنها یکی است.^۵ شاید به عنوان تفاوت این دو روش بتوان گفت که روش مسیر بحرانی یک روش کنترل مبتنی بر اطلاعات حاصل از وقایع گذشته است در حالی که تکنیک پرت یک روش کنترل پیش‌نگر^۶ می‌باشد که اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها را بر اساس تجربیات یا نظرات کارشناسان و با استفاده از احتمالات برآورد می‌نماید. قبل از شروع بحث راجع به روشهای مذکور لازم است علائمی را که در اغلب مدل‌های شبکه‌ای مورد استفاده اند معرفی کنیم.

فعالیت^۷

فعالیت جزئی از یک پروژه است که از یک زمان مشخص شروع می‌شود و در یک زمان مشخص خاتمه می‌یابد و انجام آن نیاز به صرف هزینه و زمان دارد. فعالیت در مدل‌های شبکه‌ای به صورت پیکان یا فلش نشان داده می‌شود و معمولاً مشخصات و زمان انجام آن در بالای پیکان و قسمت زیر آن نوشته می‌شود. جهت پیکان جهت انجام فعالیتها را نشان می‌دهد و طول آن هیچ گونه رابطه‌ای با زمان انجام فعالیت ندارد.

- | | |
|---|-------------------|
| 1. Network models | 2. Polaris |
| 3. Dupont | 4. Remington-Rand |
| 5. J. O. McClain & L. J. Thomas, <i>OPERATION/MANAGEMENT</i> N. J.: Prentice-Hall, Inc. 1980 p. 55. | |
| 6. feedforward | 7. Activity |

فعالیت مجازی^۱

فعالیت مجازی با پیکان خطچین (---) نشان داده شده و هیچ گونه زمان و هزینه‌ای را در بر ندارد. این علامت برای نشان دادن ارتباط بین فعالیتها در موارد ضروری به کار می‌رود.

رویداد^۲

رویداد نشانگر آغاز و انجام يك فعالیت است. رویداد محتاج هزینه یا زمان نمی‌باشد و در شبکه به صورت يك دایره ○ نشان داده می‌شود. رویدادها به وسیله يك شماره در داخل دایره مشخص می‌شوند.

با استفاده از علائم پیش گفته می‌توان به تنظیم شبکه پرداخت که در واقع نمودار ترسیمی يك پروژه می‌باشد. در شبکه تمامی فعالیتها به صورت فلش‌هایی که آغاز و انجامشان با رویدادهایی مشخص شده، با توجه به تقدم و تأخرشان منعکس می‌شوند. برای ترسیم شبکه باید موارد زیر را رعایت کرد:

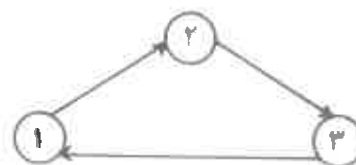
۱- هر فعالیت در شبکه با يك رویداد شروع و به يك رویداد ختم می‌شود، بنا بر این شبکه به عنوان مجموعه‌ای از فعالیتها دارای يك رویداد آغاز پروژه و يك رویداد انجام پروژه می‌باشد، ضمن اینکه هر فعالیت آغاز و انجام مشخصی دارد.

۲- شماره رویدادها نباید تکرار شوند.

۳- قبل از شروع يك فعالیت تمامی فعالیتهای بلاواسطه ماقبل^۳ آن باید تمام شده باشند.

۴- بین دو رویداد فقط باید يك فعالیت قرار گیرد.

۵- فعالیتها باید طوری در شبکه قرار گیرند که ایجاد حلقه^۴ نشود. قرار گرفتن فعالیتها به صورتی که در شکل (۱۱-۲) نشان داده شده، اشتباه است.

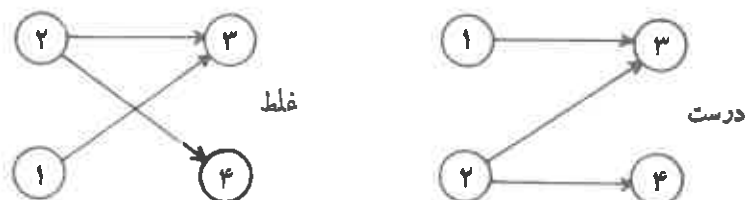


شکل ۱۱-۲

1. Dummy activity
3. Predecessor

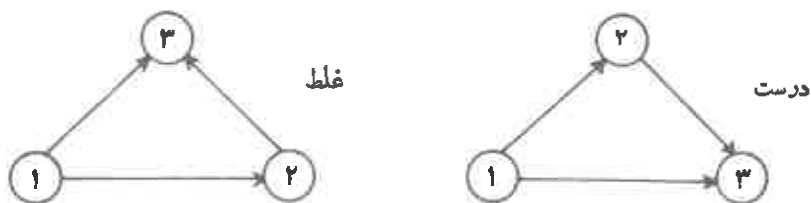
2. Event
4. loop

۶- فعالیتها نباید یکدیگر را قطع کنند. شکل (۱۱-۳) شکل درست و نادرست در این مورد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۳

۷- فعالیتها همواره از سمت چپ شروع می‌شوند و به سمت راست ادامه می‌یابند. شکل (۱۱-۴) شکل درست و نادرست این مورد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۴

مراحل برنامه‌ریزی شبکه

برنامه‌ریزی شبکه به‌طور کلی شامل سه مرحله: طرح‌ریزی، زمان‌بندی، و کنترل می‌باشد. طرح‌ریزی شامل تهیه اطلاعات اولیه، رسم شبکه و مشخص کردن فعالیت‌های بحرانی است. در مرحله زمان‌بندی با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از مرحله اول تاریخ تقویمی شروع و خاتمه فعالیتها معین می‌شود و تغییرات ضروری در منابع برای انجام سریعتر و بهتر پروژه صورت می‌گیرد. پس از آغاز اجرای پروژه مرحله کنترل شروع می‌شود که ضمن آن عملیات پیش‌بینی شده و انجام شده مورد بررسی و تطبیق و اصلاح قرار می‌گیرند.

طرح‌ریزی

طرح‌ریزی شامل تعیین فعالیت‌های لازم برای انجام پروژه، مشخص کردن ارتباط آنها با یکدیگر، برآورد طول زمان انجام هر فعالیت و تعیین زمان انجام پروژه و مسیر بحرانی می‌باشد.

۱- تعیین فعالیتها و ارتباط آنها با هم

اولین قدم در طرح‌ریزی تعیین فعالیت‌هایی است که برای انجام پروژه ضروری می‌باشند. بدین منظور فهرستی از این فعالیتها تهیه می‌شود.

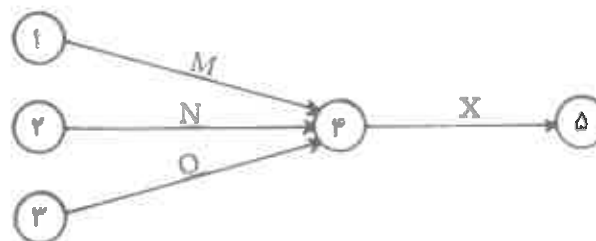
پس از مشخص کردن فعالیتها و، تقدم و تاخر فعالیتها و وابستگی و ارتباطشان با یکدیگر معین می‌شوند. بدین منظور کلیه فعالیت‌هایی که به فعالیت مورد نظر وابسته بلاواسطه می‌باشند تعیین می‌شوند. مثلاً اگر فعالیت C به فعالیت B و فعالیت B به فعالیت A وابسته باشد، فعالیت C وابسته بلاواسطه فعالیت A نمی‌باشد بلکه فقط فعالیت B وابسته بلاواسطه فعالیت A می‌باشد. شکل (۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱

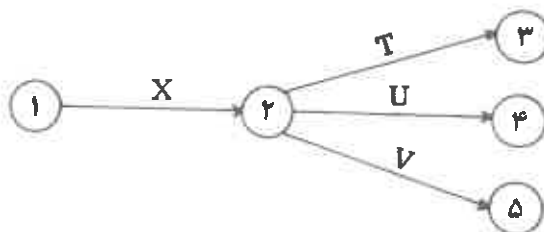
به‌طور کلی برای تعیین تقدم و تاخر فعالیتها در پروژه باید به‌سؤالات زیر درمورد هر فعالیت پاسخ داد:

- ۱- چه فعالیت‌هایی باید قبل از شروع فعالیت موردنظر انجام شده باشند؟ همان‌طور که در شکل (۶-۱۱) ملاحظه می‌شود فعالیت‌های M، N و O باید قبل از شروع فعالیت موردنظر یعنی X انجام شده باشند.



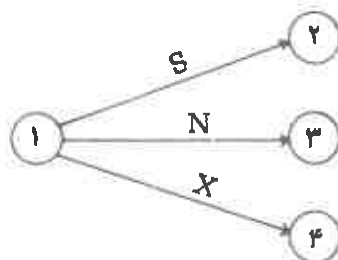
شکل ۶-۱۱

۲- چه فعالیت‌هایی نمی‌توانند قبل از اتمام فعالیت موردنظر شروع شوند؟
مطابق شکل (۱۱-۷) فعالیت‌های T، U و V نمی‌توانند قبل از خاتمه فعالیت موردنظر یعنی X شروع شوند.



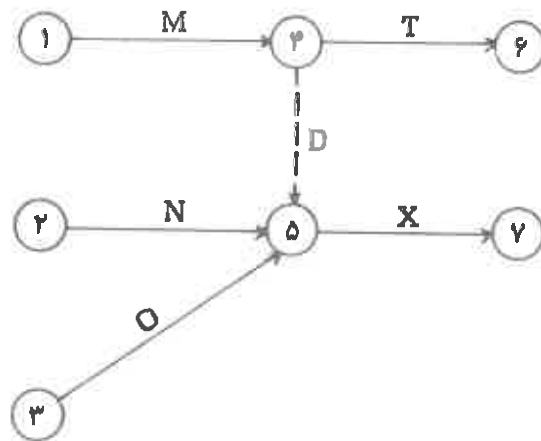
شکل ۱۱-۷

۳- چه فعالیت‌هایی می‌توانند همزمان با فعالیت موردنظر شروع شوند؟
شکل (۱۱-۸) نشان می‌دهد که فعالیت‌های S و N می‌توانند همزمان با فعالیت موردنظر یعنی X شروع شوند.



شکل ۱۱-۸

گاهی اوقات در تعیین روابط بین فعالیت‌ها و ترسیم آنها حالات فوق‌کافی نمی‌باشند. مثلاً در نمودار زیر اگر فعالیت X به فعالیت‌های N، O و M بستگی داشته باشد و فعالیت T وابسته به فعالیت M باشد اما به فعالیت‌های N، O و X وابسته نباشد، برای نشان دادن صحیح این روابط در شبکه نیازمند استفاده از یک فعالیت مجازی هستیم که مستلزم هزینه یا زمان نباشد و تنها برای ترسیم صحیح شبکه آن را میان فعالیت‌ها قرار می‌دهیم. شکل (۱۱-۹) فعالیت مجازی D و نقش آن را در مثال بالا نشان می‌دهد.



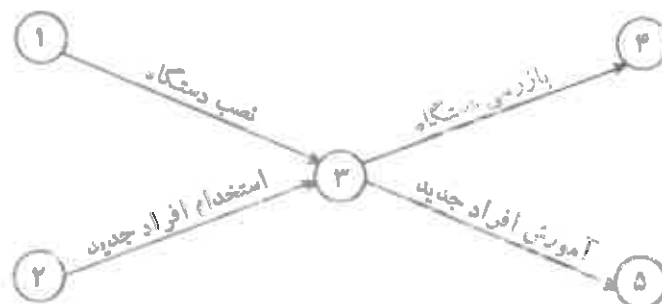
شکل ۹-۱۱

برای روشن شدن نقش فعالیت مجازی در نشان دادن ارتباط بین فعالیتها به مثال زیر مراجعه کنید.

مثال:

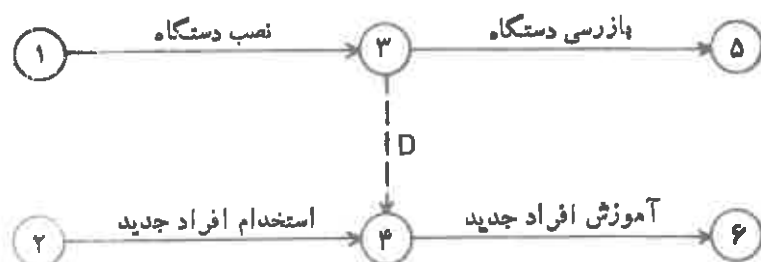
برای اجرای پروژه ای باید يك دستگاه جدید نصب شود، افراد جدیدی به استخدام درآیند و آموزش ببینند. همچنین دستگاه پس از نصب باید مورد آزمایش و بازرسی نیز قرار گیرد. آموزش افراد جدید باید پس از استخدام آنان و نصب دستگاه صورت پذیرد اما بازرسی دستگاه پس از نصب دستگاه صورت گرفته و در ارتباط با استخدام افراد جدید نیست.

اگر بخواهیم به کمک استفاده از فعالیت مجازی شبکه پروژه فوق را ترسیم کنیم شکل (۱۱-۱۵) حاصل می شود.



شکل ۱۱-۱۵

نمودار فوق نشان می‌دهد که بازرسی دستگاه را نمی‌توان قبل از استخدام افراد جدید شروع کرد که این مطلب درستی نیست و باید به کمک فعالیت مجازی شبکه را مطابق شکل (۱۱-۱۱) تصحیح کنیم که در آن بازرسی دستگاه نباید لزوماً بعد از استخدام افراد جدید صورت پذیرد.



شکل ۱۱-۱۱

ترسیم شبکه

اکنون با استفاده از مطالب گذشته نحوه ترسیم شبکه را با ذکر يك مثال دنبال می‌کنیم.

مثال:

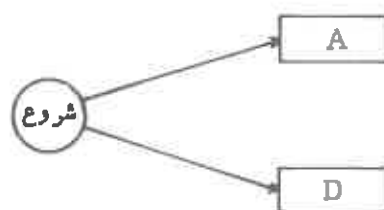
پروژه‌ای شامل فعالیت‌های زیر می‌باشد:

شرح فعالیت	نام فعالیت	زمان فعالیت (به روز)	فعالیت قبلی
آموزش اولیه	A	۵	—
تکثیر فرم‌های جدید	B	۸	D
آموزش افراد جهت استفاده از فرم‌های جدید	C	۶	D، A
انجام تغییرات ضروری در فرم‌های سیستم جدید	D	۱۱	—
آموزش افراد برای کار با دستگاه جدید	E	۷	C، A

برای رسم نمودار مراحل زیر را باید طی کرد:

۱- ابتدا يك دایره در سمت چپ صفحه می‌کشیم و آن را شروع پروژه می‌نامیم.

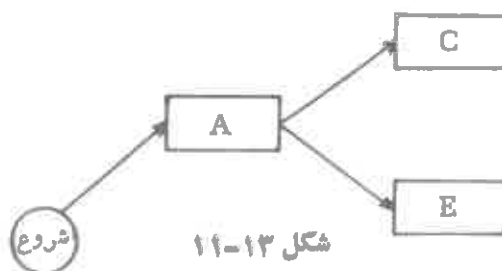
۲- برای هر فعالیتی که وابستگی به هیچ فعالیتی نداشته باشد یک خانه مستطیل شکل می کشیم و توسط خطوطی دایره شروع را به هر یک از خانه های مذکور وصل می کنیم. در مورد مثال فوق ابتدا فعالیت های A و D را که وابستگی به هیچ فعالیت قبلی ندارند انتخاب می کنیم. (شکل ۱۱-۱۲).



شکل ۱۱-۱۲

۳- یک فعالیت از بین فعالیت های موجود را که وابستگی به هیچ فعالیتی ندارد انتخاب کرده، آن را فعالیت منتخب^۱ می نامیم. در مثال مسا فعالیت A می تواند اولین فعالیت منتخب باشد.

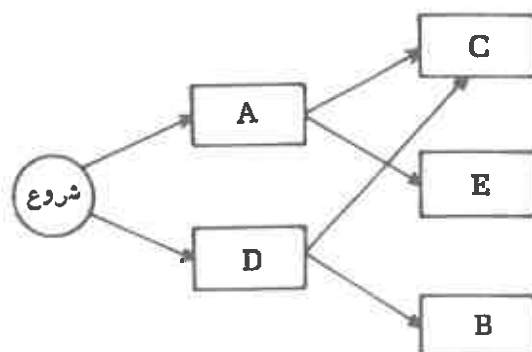
۴- در ستون فعالیت های بلاواسطه قبلی فعالیت منتخب را شناسایی و از آن به هر یک از فعالیت های وابسته یک پیکان ترسیم می کنیم؟ پس از رسم پیکانها، فعالیت منتخب را از ستون فعالیت های بلاواسطه قبلی حذف می کنیم. در مثال پیش فعالیت منتخب A دارای دو فعالیت بعدی C و E می باشد که بعد از رسم پیکان از فعالیت A به دو فعالیت مذکور آن را از ستون فعالیت های بلاواسطه قبلی حذف می کنیم. (شکل ۱۱-۱۳).



شکل ۱۱-۱۳

۵- حال به مرحله ۳ برمی گردیم و فعالیت دیگری را که وابستگی به هیچ فعالیتی ندارد یا فعالیت های بلاواسطه قبلی آن ترسیم شده است انتخاب می کنیم و مفاد مرحله ۴ را درباره آن اجرا می کنیم. (شکل ۱۱-۱۴).

1. candidate activity

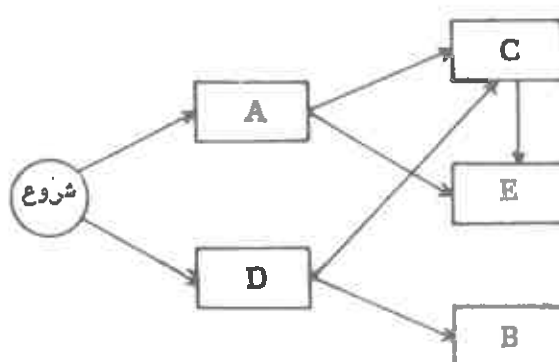


شکل ۱۴-۱۱

در مثال گذشته فعالیت D مطابق جدول فعالیتها دارای دو فعالیت بعدی C و B می‌باشد که آن را به دو فعالیت مذکور وصل می‌کنیم (شکل ۱۴-۱۱) و فعالیت D را از ستون فعالیت‌های بلاواسطه قبلی حذف می‌کنیم. حال جدول فعالیتها به صورت زیر در آمده است.

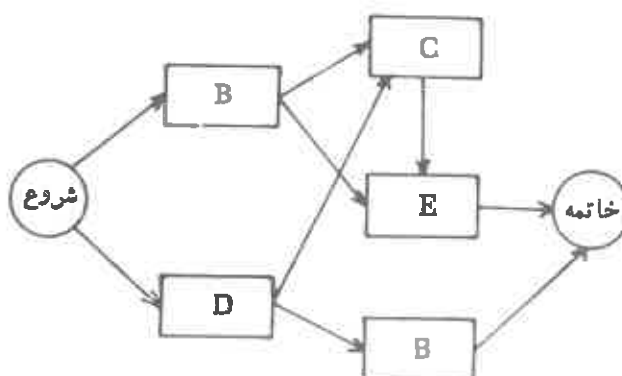
نام فعالیت	زمان فعالیت (به روز)	فعالیت بلاواسطه قبلی
A	۵	—
B	۸	D
C	۶	A و D
D	۱۱	—
E	۷	A و C

به طوری که در جدول مشاهده می‌کنیم فقط فعالیت C است که فعالیت‌های بلاواسطه قبلی آن حذف شده و خود در ستون فعالیت‌های بلاواسطه قبلی باقی مانده است. فعالیت C دارای فعالیت بعدی E است، بنابراین فعالیت مذکور را با یک پیکان به فعالیت E وصل می‌کنیم و فعالیت C نیز از ستون فعالیت‌های بلاواسطه قبلی حذف می‌شود. (شکل ۱۵-۱۱).
 ۶- پس از آنکه کلیه فعالیت‌های بلاواسطه قبلی از ستون مذکور حذف شدند، دایره‌ای درست راست صفحه می‌کشیم و آن را خاتمه پروژه می‌نامیم. در نمودار ترسیم شده



شکل ۱۵-۱۱

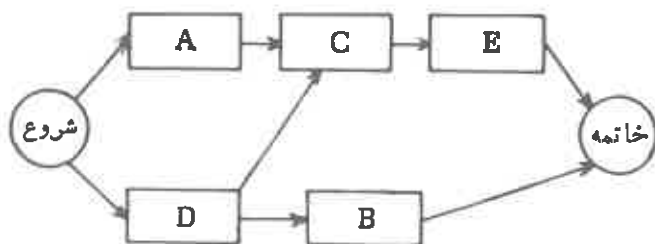
فعالیت‌های کور^۱ یا فعالیت‌هایی را که پیکانی از آنها خارج نشده شناسایی و از هر کدام از آنها پیکانی به دایره خاتمه متصل می‌کنیم. در مثال گذشته فعالیت‌های B و E فعالیت‌های کور هستند که آنها را به دایره خاتمه وصل کرده‌ایم (شکل ۱۶-۱۱).



شکل ۱۶-۱۱

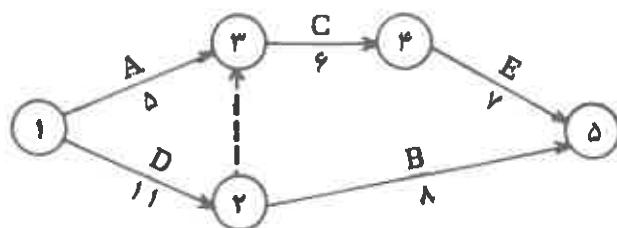
۷- در این مرحله تمامی خطوط زائد را حذف می‌کنیم و تعداد پیکان‌هایی که یکدیگر را قطع می‌کنند به حداقل می‌رسانیم. در مثال پیش خط A به E زائد است زیرا ارتباط بین A و E از طریق C تأمین شده بنابراین خط A به E را حذف می‌کنیم. (شکل ۱۷-۱۱).

1. end



شکل ۱۱-۱۲

۸- اکنون فعالیتها را از صورت خانه‌های مستطیل شکل خارج کرده، به صورت پیکان نشان می‌دهیم و آنها را به وسیله دایره‌هایی که نشانگر آغاز و انجام فعالیتها می‌باشند به هم مرتبط می‌سازیم و زمان انجام هر فعالیت را ذیل پیکان مربوط درج می‌کنیم. (شکل ۱۱-۱۸).



شکل ۱۱-۱۸

ضمناً برای نشان دادن رابطه فعالیت D با C و مشخص ساختن این رابطه که فعالیت C باید پس از خاتمه فعالیت D و A صورت گیرد از فعالیت مجازی استفاده و رویداد ۳ را با پیکان نقطه‌چین به رویداد ۲ متصل می‌کنیم.

۲- برآورد طول زمان انجام فعالیتها

تمام تجزیه و تحلیل‌های شبکه براساس برآورد زمان فعالیتهای آن استوار می‌باشد. برای برآورد زمان انجام هر فعالیت می‌توان از اطلاعات و آمار موجود و تجربیات دست‌اندرکاران پروژه استفاده کرد. اما به هر حال این تخمینهای زمانی همواره زمانهای دقیقی نمی‌باشند و خصوصاً مواقعی که فعالیتها در زمینه‌های نو و جدید یا وابسته به شرایط نامطمئنی باشند میزان خطا در آنها زیاد خواهد بود. بعضی از محققین تفاوت تکنیکهای

PERT و CPM را در برآورد زمان انجام فعالیتها دانسته‌اند. در روش CPM برای هر فعالیت يك زمان خاص برآورد می‌شود درحالی‌که در تکنیک PERT زمان فعالیتها در قالب سه زمان خوشبینانه، بدبینانه و محتمل تخمین زده می‌شود. این سه زمان را می‌توان به صورت‌های زیر برآورد کرد:

الف- زمان خوشبینانه^۱- برای برآورد زمان خوشبینانه طراح پروژه فرض می‌کند که تمامی وقایع بروفی مراد او خواهد بود و حداقل مشکلات در راه انجام فعالیتها بروز خواهد کرد. به همین جهت در برآورد خوشبینانه کمترین زمان ممکن برای انجام هر فعالیت در نظر گرفته می‌شود.

ب- زمان بدبینانه^۲- برای برآورد زمان بدبینانه طراح پروژه فرض می‌کند که رویدادها بروفی مراد او نخواهد بود و بدترین شرایط ممکن به وجود خواهند آمد و از این رو بیشترین زمان ممکن را برای انجام فعالیتها در نظر می‌گیرد.

ج- زمان محتمل^۳- برآورد این زمان با این فرض‌که شرایط عادی خواهد بود صورت می‌گیرد.

پس از برآورد سه زمان فوق‌الذکر، زمان مورد انتظار^۴ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6} \quad (۱۱-۱)$$

۳- تعیین زمان انجام پروژه

برای تعیین زمان انجام پروژه دونوع محاسبه ضروری است:

الف- محاسبه مسیر پیشرو

ب- محاسبه مسیر پسرو

محاسبه مسیر پیشرو شامل برآوردی از زودترین زمان انجام فعالیتهای پروژه می‌باشد. همچنین محاسبه مسیر پسرو برآوردی از دیرترین زمان مجاز شروع و خاتمه هر فعالیت می‌باشد پس از محاسبه زودترین زمانهای شروع و خاتمه و دیرترین زمانهای شروع و خاتمه هر فعالیت می‌توان مسیر بحرانی را در شبکه تعیین کرد. زمان شروع پروژه را معمولاً زمان صفر فرض می‌کنند و هر زمان که پروژه طبق تاریخ شروع شود زمان صفر با تاریخ شروع پروژه تطبیق داده شده و دیگر زمانها بر همین اساس تعیین می‌شوند.

1. Optimistic time (t_o)
3. most likely time (t_m)

2. Pessimistic time (t_p)
4. Expected time (t_e)

علائم مورد استفاده در محاسبه مسیر پیشرو و پیشرو عبارتند از:

D_{ij}	برآورد مدت زمان فعالیت ij
E_i	زودترین زمان رویداد ^۱ i
L_i	دیرترین زمان رویداد ^۲ i
ES_{ij}	زودترین زمان شروع فعالیت ^۳ ij
EF_{ij}	زودترین زمان خاتمه فعالیت ^۴ ij
LS_{ij}	دیرترین زمان شروع فعالیت ^۵ ij
LF_{ij}	دیرترین زمان خاتمه فعالیت ^۶ ij
FF_{ij}	آزادی عمل آزاد فعالیت ^۷ ij
TF_{ij}	آزادی عمل کلی فعالیت ^۸ ij

محاسبه مسیر پیشرو

همچنان که قبلاً نیز گفته شد منظور اصلی از مسیر پیشرو محاسبه زودترین زمانهای شروع و خاتمه هر فعالیت می‌باشد. برای محاسبه مسیر پیشرو مراحل زیر را باید طی کرد:

۱- زمان شروع پروژه را زمان صفر فرض می‌کنیم:

$$E_i = 0$$

۲- زودترین زمانی که هر فعالیت می‌تواند شروع شود عبارتست از زودترین زمانی که تمامی فعالیت‌های بلاواسطه ماقبل آن به اتمام رسیده باشند، از این رو زودترین زمان شروع هر فعالیت را برابر با طولانیترین زمانی که فعالیت‌های بلاواسطه ماقبل آن به اتمام می‌رسند قرار می‌دهیم.

$$ES_{ij} = \text{Max} \cdot EF$$

فعالیت‌های بلاواسطه ماقبل

۳- زودترین زمان خاتمه هر فعالیت را که عبارتست از حاصل جمع زودترین زمان شروع هر فعالیت و مدت زمان انجام آن محاسبه می‌کنیم:

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Earliest time | 2. Latest time |
| 3. Earliest start | 4. Earliest finish |
| 5. Latest start | 6. Latest finish |
| 7. Free Float | 8. Total float |

$$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$$

برای روشن شدن مسأله، قواعد محاسبه مسیر پیشرو را در مورد مثال پیشین (استخدام و آموزش افراد برای کار با دستگاه جدید) به کار می‌بریم.

ابتدا رویداد شروع را با توجه به قاعده مرحله ۱ محاسبه مسیر پیشرو برابر صفر قرار می‌دهیم. بدین ترتیب زودترین زمانی که فعالیت‌های ۱، ۲ و ۳ می‌توانند شروع شوند زمان صفر است. حال با توجه به اینکه فعالیت (۱-۲) ۱۱ روز طول می‌کشد زودترین زمان خاتمه فعالیت D برابر است با:

$$EF_{1,2} = ES_{1,2} + D_{1,2} = 0 + 11 = 11$$

از طرفی زودترین زمان خاتمه فعالیت A برابر است با:

$$EF_{1,3} = ES_{1,3} + D_{1,3} = 0 + 5 = 5$$

زودترین زمانی که رویداد ۲ می‌تواند اتفاق افتد برابر طولانیترین زمان خاتمه فعالیت‌های ماقبل خود می‌باشد و چون به رویداد شماره ۲ فقط یک فعالیت یعنی فعالیت D وارد شده پس:

$$ES_{2,3} = 11$$

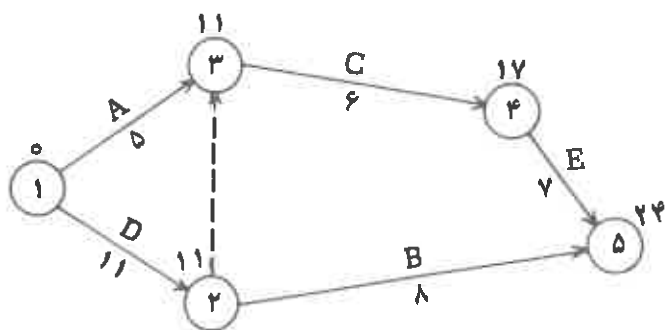
به رویداد ۳ دو فعالیت وارد می‌شوند یکی فعالیت ۱، ۳ و دیگری ۲، ۳ که زودترین زمان خاتمه هر دو فعالیت با هم برابر نیستند. برای تشکیل رویداد ۳ هم به فعالیت A احتیاج می‌باشد و هم به فعالیت D. بنابراین زودترین زمانی که رویداد ۳ می‌تواند ایجاد شود زودترین زمانیست که فعالیت‌های (۱، ۳) و (۲، ۳) هر دو به اتمام برسند. زودترین زمانی که فعالیت ۱، ۳ به اتمام می‌رسد برابر است با ۵ و زودترین زمانی که فعالیت مجازی ۲، ۳ به اتمام می‌رسد برابر است با:

$$EF_{2,3} = ES_{2,3} + D_{2,3} = 11 + 0 = 11$$

اینک طبق قاعده مرحله ۲ ماکزیمم زودترین خاتمه‌ها، زودترین زمان تشکیل رویداد ۳ می‌باشد و یا زودترین زمانی که فعالیت ۳، ۴ می‌تواند شروع شود برابر است با:

$$ES_{3,4} = \text{Max}(EF_{1,3} = 5, EF_{2,3} = 11) = 11$$

به همین ترتیب زودترین زمان شروع و زودترین زمان خاتمه سایر فعالیت‌ها محاسبه می‌شود. نمودار شکل (۱۹-۱۱) نتایج حاصل از محاسبات مربوط به مسیر پیشرو را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-۱۱

بنابراین زودترین زمانی که پروژه به اتمام می‌رسد و یا زودترین زمانی که رویداد ۵ تشکیل می‌شود برابر ۲۴ می‌باشد.
همان‌طور که ملاحظه شد با استفاده از مسیر پیشرو می‌توان زودترین زمان شروع و خاتمه هر فعالیت را مشخص کرد.

محاسبه مسیر پیشرو

هدف از محاسبه مسیر پیشرو مشخص کردن دیرترین زمان مجاز شروع و خاتمه هر فعالیت می‌باشد، روش محاسبه مسیر پیشرو شبیه روش محاسبه مسیر پیشرو می‌باشد با این تفاوت که از فعالیت و رویداد نهایی شروع می‌کند و به فعالیت و رویداد ابتدایی منتهی می‌شود. معمولاً در صورتی که زمان دیگری مشخص نشده باشد دیرترین زمان اتمام پروژه را برابر زودترین زمان اتمام آن قرار می‌دهند و با استفاده از زمان هر یک از فعالیتها دیرترین زمان خاتمه و شروع هر فعالیت را مشخص می‌کنند. دیرترین زمان شروع هر فعالیت برابر است با دیرترین زمان خاتمه آن منهای مدت زمان انجام فعالیت. برای تعیین مسیر پیشرو قواعد زیر را باید به کار برد:

۱- در مسیر پیشرو دیرترین زمان خاتمه کل پروژه را معمولاً برابر زودترین زمان خاتمه کل پروژه قرار می‌دهند:

$$L_t = E_t$$

۲- دیرترین زمان خاتمه هر فعالیت $i-j$ برابر حداقل دیرترین زمان شروع فعالیتهاى ما بعد آن خواهد بود.

$$LF_{ij} = \text{Min } LS$$

۳- دیرترین زمان شروع هر فعالیت i برابر دیرترین زمان خاتمه آن فعالیت منهای مدت زمان انجام آن فعالیت می باشد:

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$$

در مورد مثال قبل ابتدا از رویداد انتهایی (۵) شروع می کنیم و دیرترین زمان خاتمه این رویداد را برابر زودترین زمان تشکیل آن یعنی برابر ۲۴ قرار می دهیم. سپس دیرترین زمان شروع فعالیت ۴،۵ را با استفاده از قاعده ۳ مسیر پسرو حساب می کنیم.

$$LS_{۴,۵} = LF_{۴,۵} - D_{۴,۵} = ۲۴ - ۷ = ۱۷$$

چون فعالیت ۴،۵ تنها فعالیتی است که از رویداد ۴ منشعب شده بنا بر این طبق قانون ۲ مسیر پسرو دیرترین زمانی که رویداد ۴ می تواند تشکیل شود برابر ۱۷ روز می باشد، یعنی:

$$LS_{۳,۴} = LF_{۳,۴} - D_{۳,۴} = ۱۷ - ۶ = ۱۱$$

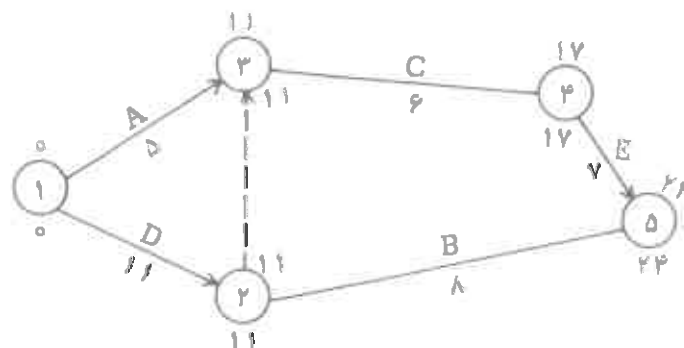
از رویداد ۲، تعداد دو فعالیت منشعب می شوند یکی فعالیت ۲،۵ و دیگری فعالیت مجازی ۲،۳ برای مشخص کردن دیرترین زمانی که رویداد ۲ می تواند تشکیل شود طبق قانون مسیر پسرو حداقل دیرترین زمان شروع فعالیت های ۲،۳ و ۲،۵ را انتخاب می کنیم:

$$LF_{۱,۲} = \min(LS_{۲,۵} = ۱۹, LS_{۲,۳} = ۱۱) = ۱۱$$

از رویداد شماره ۱ نیز دو فعالیت خارج می شود بنا بر این دیرترین زمان تشکیل رویداد ۱ برابر حداقل دیرترین زمان شروع فعالیت های ۱،۲ و ۱،۳ می باشد.

$$L_1 = \min(LS_{۱,۲} = ۰, LS_{۱,۳} = ۶) = ۰$$

توجه کنید که چون زودترین زمان شروع و دیرترین زمان خاتمه رویداد نهایی با هم برابر انتخاب شدند، زودترین زمان شروع و دیرترین زمان خاتمه رویداد ابتدایی باید با هم برابر شوند. نتایج محاسبات مسیر پسرو در نمودار شماره (۲۰-۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۲۰-۱۱

مسیر بحرانی

مسیر بحرانی طولانی‌ترین مسیر در شبکه می‌باشد. رویدادهایی که در طول مسیر بحرانی قرار می‌گیرند زودترین و دیرترین زمان تشکیل آنها با هم برابر است (اعداد بالا و پایین رویدادها با هم برابر هستند) همچنین در طول مسیر بحرانی هیچ‌گونه آزادی عمل یا فرجه وجود ندارد. درباره آزادی عمل بعداً بحث خواهد شد. در مثال فوق مسیر بحرانی عبارتست از مسیر

۱, ۲, ۳, ۴, ۵

تا به حال با استفاده از مسیر پیشرو و پسرو مشخص کرده‌ایم که مدت زمان اجرای پروژه چه مدت خواهد بود، همچنین زودترین و دیرترین زمانی که هر فعالیت می‌تواند شروع شود و زودترین و دیرترین زمانی که هر فعالیت می‌تواند به اتمام برسد بدون اینکه در زمان کل پروژه تأثیر بگذارد را نیز تعیین کرده‌ایم. اکنون باید مشخص کنیم که کدام یک از فعالیتها در صورتی که عقب افتد پروژه نیز عقب خواهد افتاد. همچنین سایر فعالیتها به چه میزان می‌توان عقب بیفتند بدون اینکه بر زمان اتمام کل پروژه تأثیر بگذارند. برای جواب دادن به این گونه سؤالات بهتر است ابتدا آزادی عمل^۱ یا فرجه هر فعالیت را تعریف و انواع آن را شناسائی کنیم.

فرجه هر فعالیت معمولاً^۲ بر دو نوع است. فرجه آزاد^۳ یا آزادی عمل آزاد که با FF نشان داده می‌شود و فرجه کلی یا آزادی عمل^۴ کلی که با TF مشخص می‌شود.

فرجه آزاد

فرجه آزاد عبارتست از مدت زمانی که يك فعالیت می‌تواند عقب بیفتد بدون آنکه بر زودترین زمان شروع فعالیتها، تأیید خود تأثیری بگذارد. به عنوان مثال زودترین زمانی که فعالیت A در نمودار شکل (۲۱-۱) می‌تواند شروع شود ۱۰ روز^۱ می‌باشد و چون طول زمان انجام فعالیت مذکور ۴ روز می‌باشد بنابراین زودترین زمانی که فعالیت A می‌تواند به اتمام برسد ۱۴ روز است. از طرفی زودترین زمانی که رویداد ۳ می‌تواند ایجاد شود ۱۶ روز است. بنابراین اگر فعالیت A حداکثر تا ۲ روز به تعویق بیفتد در شروع فعالیتها بعدی خود تأثیر نمی‌گذارد.

1. Float

2. Free Float

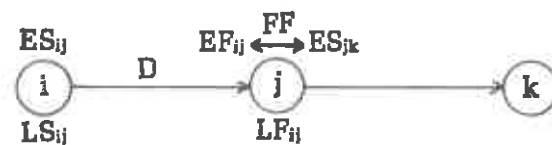
3. Total Float



شکل ۱۱-۲۱

زمان فرجه آزاد را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$FF_{ij} = ES_{jk} - EF_{ij}$$



شکل ۱۱-۲۲

فرجه کلی

فرجه کلی عبارتست از مدت زمانی که يك فعالیت می‌تواند به تعویق افتد بدون آنکه در مدت زمان اجرای پروژه تاثیر بگذارد. میزان فرجه کلی تفاوت بین دیرترین زمان خاتمه و زودترین زمان خاتمه هر فعالیت و یا دیرترین زمان شروع و زودترین زمان شروع هر فعالیت می‌باشد.

$$TF = LF_{ij} - EF_{ij}$$

$$TF = LS_{ij} - ES_{ij}$$

به عنوان مثال در شبکه مندرج در نمودار شکل (۱۲-۲۳) فرجه کلی فعالیت ۲،۳ برابر است با:



شکل ۱۱-۲۳

$$TF = LF_{۲,۳} - EF_{۲,۳}$$

$$TF = ۲۰ - ۱۴ = ۶$$

یا

$$TF = LS_{۲,۳} - ES_{۲,۳}$$

$$TF = ۱۶ - ۱۰ = ۶$$

همچنانکه قبلاً توضیح داده شد اگر فعالیتی به اندازه فرجه آزاد (FF) خود عقب بیفتد هیچ‌گونه تأثیری بر زمان شروع فعالیت‌های مابعد خود نخواهد داشت. اما اگر فعالیتی بیش از فرجه آزاد، ولی کمتر یا مساوی فرجه کلی خود (TF) به تعویق افتد در زودترین زمان شروع فعالیت بعدی خود تأثیر داشته ولی بر فعالیت‌های بحرانی و زمان اتمام پروژه تأثیری نخواهد داشت. در صورتی که فعالیتی بیش از فرجه کلی خود به تعویق افتد بر فعالیت‌های بحرانی و نتیجتاً بر زمان انجام پروژه تأثیر می‌گذارد.

زمان فرجه کلی و فرجه آزاد را می‌توان در جداولی که نشان‌دهنده مشخصات زمانی فعالیت‌هاست درج کرد. جدول شماره (۲-۱۱) نشان‌دهنده مشخصات زمانی انجام فعالیت‌ها برای مثال یاد شده است.

همان‌طور که در جدول شماره (۲-۱۱) مشاهده می‌شود، فعالیت A (۱,۳) به مدت ۵ روز زمان نیاز دارد و زودترین زمان شروع آن زمان صفر، زودترین زمان خاتمه آن

شماره فعالیت		شرح فعالیت	مدت	زودترین زمان		دیرترین زمان		فرجه	
i	j			شروع	خاتمه	شروع	خاتمه	آزاد	کلی
۱	۳	A	۵	۰	۵	۶	۱۱	۰	۶
۱	۲	D	۱۱	۰	۱۱	۰	۱۱	۰	۰
۳	۲	C	۶	۱۱	۱۷	۱۱	۱۷	۰	۰
۲	۵	B	۸	۱۱	۱۹	۱۶	۲۴	۵	۵
۲	۵	E	۷	۱۷	۲۴	۱۷	۲۴	۰	۰

جدول شماره ۲-۱۱

جدول مشخصات زمانی انجام فعالیت‌ها

۵ می باشد که عبارتست از زودترین زمان شروع یعنی صفر به اضافه مدت زمان انجام فعالیت یعنی ۵. دیرترین زمان خاتمه فعالیت A روز ۱۱ می باشد و چون برای انجام فعالیت A، ۵ روز وقت لازم است بنا براین تفاضل این دو زمان ($۱۱ - ۵ = ۶$) دیرترین زمان شروع فعالیت مذکور می باشد. همان طور که می دانیم فرجه آزاد عبارتست از تفاضل دیرترین زمان خاتمه و زودترین زمان خاتمه، یا دیرترین زمان شروع و زودترین زمان شروع، یعنی:

$$۶ - ۵ = ۱ \quad \text{یا} \quad ۱۱ - ۵ = ۶$$

فرجه کلی را باید از روی شبکه محاسبه کرد و آن عبارتست از تفاضل بین دیرترین زمان مجاز شروع فعالیت بعدی و زودترین زمان خاتمه آن فعالیت. بدین ترتیب چون دیرترین زمان مجاز شروع فعالیت C که فعالیت بعدی A می باشد روز ۱۱ و زودترین زمان خاتمه فعالیت A، ۵ می باشد فرجه کلی این فعالیت عبارتست از:

$$۱۱ - ۵ = ۶$$

مشخصات زمانی بقیه فعالیتها نیز به همین ترتیب محاسبه می شود که در جدول شماره (۱۱-۲) منعکس است.

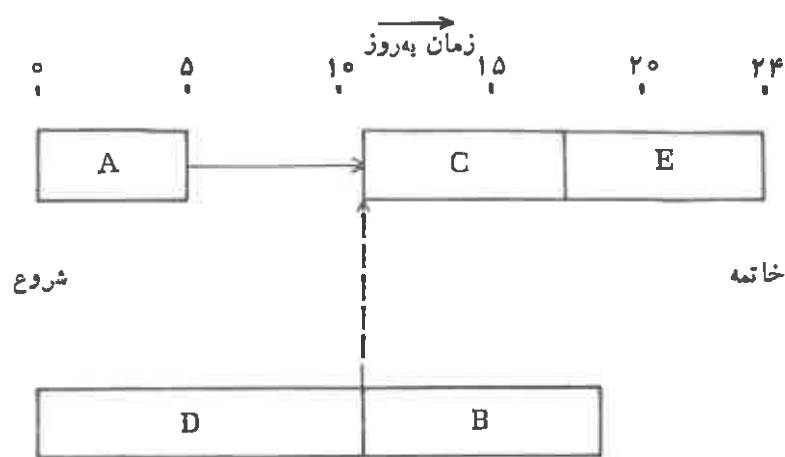
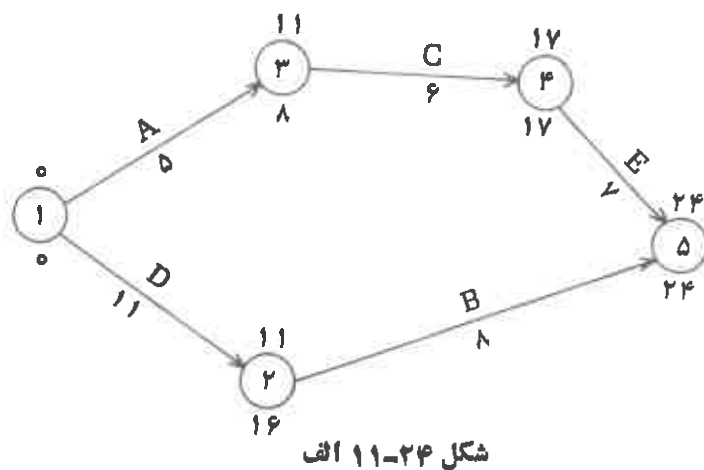
زمان بندی پروژه

پس از تعیین مسیر بحرانی و مشخصات زمانی انجام فعالیتها نوبت به زمان بندی (تعیین زمان تقویمی) فعالیتهای پروژه می رسد. مدیر پروژه در درجه اول باید توجه را معطوف به فعالیتهای مسیر بحرانی کند.

ابتدا اولین فعالیت در مسیر بحرانی را برنامه ریزی کرده و سپس فعالیتهای دوم، سوم، و... را زمان بندی می کند تا اینکه تمامی فعالیتهای مسیر بحرانی زمان بندی شوند. پس از آن مدیر پروژه بقیه فعالیتها را با در نظر گرفتن زمان شروع آنها زمان بندی می کند. این زمان بندی نیز از ابتدای پروژه روبه انتها انجام می گیرد و بدین ترتیب تقدم و تاخر فعالیتهایی که در مسیر بحرانی نیز قرار ندارند حفظ می شود.

در بعضی مواقع برای زمان بندی پروژه از نمودار زمانی شبکه استفاده می شود. شکل (۱۱-۲۴) نمودار زمانی شبکه (۱۱-۲۴ الف) را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می کنید هر کدام از مستطیلهای نمودار زمانی به اندازه زمان انجام هر فعالیت کشیده شده اند، شروع و خاتمه پروژه توسط خطهای عمودی مشخص شده است.

در شکل (۱۱-۲۴) هر فعالیت در زودترین زمان ممکن خود شروع می شود، پیکانهای

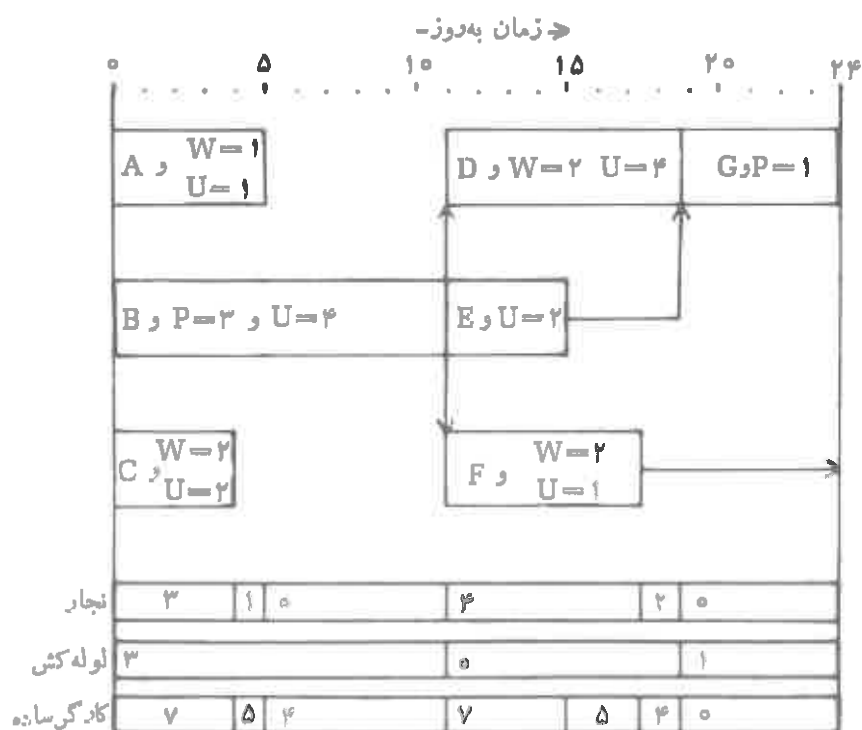


افقی تقدم و تاخر فعالیتها را تعیین می‌کنند و فواصلی که مستطیلی در آنها وجود ندارد نمایانگر فرجه‌ها می‌باشند. مثلاً پس از فعالیت A، پیکانی به طول ۶ واحد که همان زمان فرجه می‌باشد رسم شده است. پیکانهای عمودی نقطه‌چین فعالیتهای مجازی را نشان می‌دهند. به عبارت دیگر فعالیت D می‌باید قبل از فعالیت B، C انجام گیرد. در نمودار زمانی شبکه، فرجه‌ها واضحتر نشان داده می‌شوند (به صورت پیکانهای افقی) و همچنین تعیین مسیر بحرانی از روی نبودن فرجه آسانتر صورت می‌گیرد در شکل

(۱۱-۲۴ ب) مسیر $D-C-E$ بحرانی می باشد.

نمودارهای زمانی شبکه در هماهنگی ساختن امکانات و منابع موجود نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

شکل (۱۱-۲۵) نمودار زمانی یک پروژه ساختمانی را نشان می دهد. هر فعالیت که به صورت مستطیلی رسم شده نشانگر تعداد افراد مورد نیاز: نجار (W)، لوله کش (P)، کارگر ساده (U) و غیره می باشد. در پایین نمودار خلاصه ای از تعداد افراد مورد نیاز برای اجرای پروژه آمده است. برای افزایش بازدهی برنامه، فعالیتها با استفاده از فرجه خود جابه جا می شوند. برای مثال اگر فعالیت C به میزان ۵ روز به تعویق افتد تعداد نجار مورد نیاز در ۱۱ روز اول از ۳ نفر به ۲ نفر و تعداد کارگر ساده از ۷ نفر به ۶ نفر کاهش می یابد. (فعالیت C می تواند در روز ۵ شروع و در روز ۹ تمام شود) جابه جاییهای



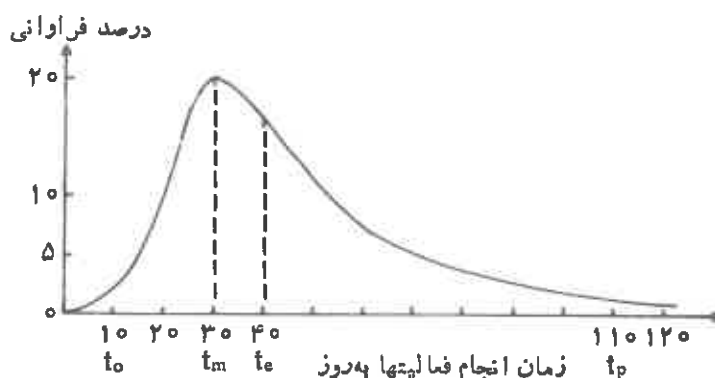
شکل ۱۱-۲۵

نمودار زمانی پروژه ساختمانی

دیگری را می‌توان انجام داد تا منابع بهتر مورد استفاده قرار گیرند. دلیل دیگر جابجایی منابع متعادل کردن یا ایجاد توازن منابع در طول پروژه می‌باشد (منظور از منابع، نیروی انسانی یا تجهیزات است).

تعیین ریسک ناشی از تاخیر در پروژه

همچنانکه قبلاً اشاره شد برآورد زمان انجام فعالیت‌ها می‌تواند از رابطه (۱-۱۱) به دست آید. توزیع فراوانی برای هر یک از زمانهای t_o ، t_m ، t_p مطابق با توزیع بتا می‌باشد. مثلاً اگر برای یک فعالیت خاص $(t_o = ۱۰)$ ، $(t_m = ۳۰)$ و $(t_p = ۱۰۰)$ باشد. توزیع فراوانی مطابق نمودار شکل شماره (۲۶-۱۱) خواهد بود. اگرچه توزیع فراوانی زمانهای هر یک از فعالیتها تابع توزیع بتا باشد اما توزیع زمان حدود فعالیت (مثل فعالیتهای مسیر بحرانی) سمت توزیع نرمال میل کرده و مجموع زمان جدید فعالیت (مثل فعالیتهای مسیر بحرانی) به سمت توزیع نرمال میل کرده و میانگین توزیع برابر زودترین زمان خاتمه پروژه می‌باشد. در توزیع نرمال با احتمال ۵۰٪ پروژه در زودترین زمان انجام خود خاتمه پیدا خواهد کرد. اما مدیریت در اغلب موارد نمی‌تواند با ۵۰٪ احتمال تصمیمات لازم را اتخاذ کند. بنابراین وی مایل است از احتمالات بیش از ۵۰٪ برای خاتمه پروژه آگاهی پیدا کند و یا بداند که با چه احتمالی پروژه در یک زمان مشخص (مثلاً ۲۰۰ روز) خاتمه پیدا می‌کند.



شکل ۲۶-۱۱

توزیع فراوانی زمان انجام یک فعالیت خاص

بدین منظور باید ابتدا انحراف استاندارد و واریانس زمان هر فعالیت را طبق رابطه زیر محاسبه نمود.

$$\sigma_o = \frac{t_p - t_o}{6} \quad (۱۱-۲)$$

$$\sigma_o^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2 \quad (۱۱-۳)$$

با فرض اینکه زمان انجام هر فعالیت مستقل از دیگری است واریانس یک گروه از فعالیتها در طول هر مسیر را میتوان طبق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\sigma_p^2 = \sum \sigma_i^2 \quad (۱۱-۴)$$

در این رابطه σ_p^2 واریانس مسیر و $\sum \sigma_i^2$ مجموع واریانس فعالیتها در طول مسیر می باشد. پس از محاسبه واریانس هر مسیر (مثل مسیر بحرانی) می توان احتمال خاتمه پروژه را برای هر زمان خاص با استفاده از حداقل توزیع نرمال به دست آورد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

برای ایجاد یک بخش جدید در بیمارستانی انجام فعالیتهای زیر ضروری می باشند.

شرح فعالیت	نام فعالیت	فعالیت بلا واسطه قبلی	بر آورد زمان انجام فعالیت (به هفته)		
			t_p	t_m	t_o
ساختن ساختمان	A	—	۳۰	۲۲	۲۰
گرفتن مجوز از مقامات مسئول دولتی	B	A	۲	۳	۲
نصب وسائل و تجهیزات	C	A	۲۰	۱۶	۸
تعیین کارکنان بخش جدید	D	—	۳	۲	۲
آموزش کارکنان	E	D	۶	۵	۲
ارائه خدمات آزمایشی	F	B, E, C	۹	۵	۲

جدول شماره ۱۱-۳

برنامه ریزی پروژه □ ۴۲۳

زمان مورد انتظار هر فعالیت با استفاده از رابطه (۱۱-۱) به دست می آید. به عنوان مثال زمان مورد انتظار فعالیت A عبارتست از:

$$te_A = \frac{20 + 4(24) + 30}{6}$$

$$te_A = 24.3$$

همچنین واریانس فعالیت A عبارتست از:

$$\sigma_A^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

$$\sigma_A^2 = \left(\frac{30 - 20}{6} \right)^2 = 2.77$$

زمان مورد انتظار و واریانس بقیه فعالیتها محاسبه شده و در جدول (۱۱-۴) منعکس شده اند:

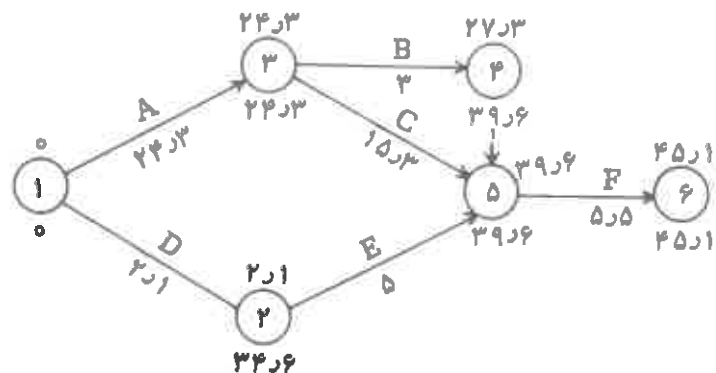
فعالیت	زمان مورد انتظار	واریانس
A	۲۴٫۳	۲٫۷۷
B	۳	۰٫۱۱۱
C	۱۵٫۳	۴
D	۲٫۱	۰٫۰۲۸
E	۵	۰٫۱۱۱
F	۵٫۵	۰٫۶۹۴

جدول شماره ۱۱-۴

حال با توجه به اطلاعات مذکور در جداول (۱۱-۳) و (۱۱-۴) به رسم شبکه فعالیتهای این پروژه می پردازیم.

همان طور که ملاحظه می شود مسیر بحرانی در این شبکه مسیر ۱-۳-۵-۶ می باشد. در این مسیر سه فعالیت A، C، و F قرار گرفته اند و واریانس این مسیر عبارتست از:

$$\sigma_{cp}^2 = \sum_{i=1}^3 \sigma_i^2$$



شکل ۱۱-۲۲

تعداد واریانسها را از جدول شماره (۱۱-۴) در این رابطه قرار می‌دهیم:

$$\sigma_{cp}^2 = \sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_F^2$$

$$\sigma_{cp}^2 = 2777 + 4 + 0.694$$

$$\sigma_{cp}^2 = 7764$$

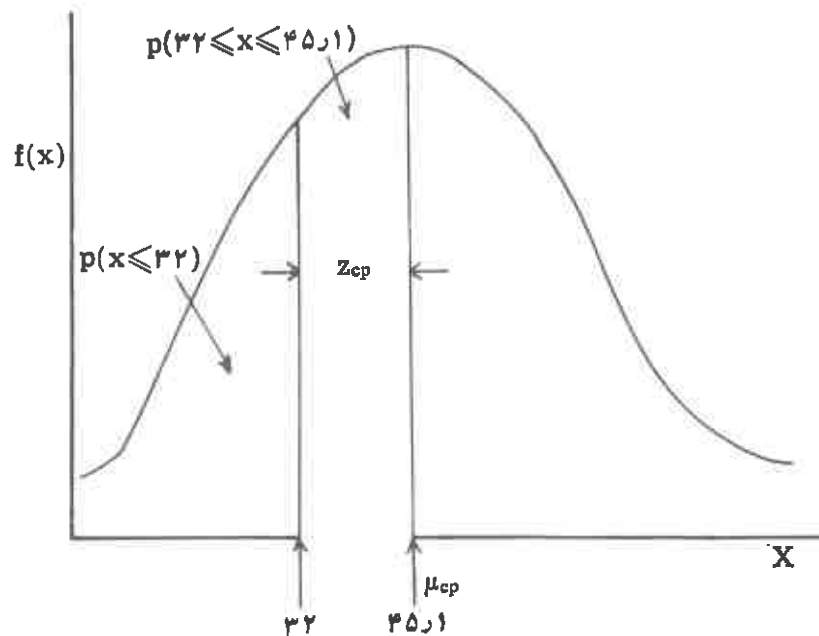
بنابراین مسیر بحرانی دارای توزیع فراوانی با میانگین $M_{cp} = 45$ (طول زمان مسیر بحرانی) و واریانس $\sigma_{cp}^2 = 7764$ می‌باشد. حال می‌توان احتمال اتمام پروژه را در هر روز معین به‌دست آورد. مثلاً احتمال اتمام پروژه تا روز سی و دوم یعنی: $p(x \leq 32)$ که در نمودار شماره (۱۱-۲۸) نشان داده شده به‌طریق زیر محاسبه می‌شود. مقدار استاندارد z را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$z = \frac{x - \mu_{cp}}{\sigma_{cp}} \quad (11-5)$$

در رابطه بالا x زمان اتمام پروژه یعنی روز ۳۲ می‌باشد بنابراین:

$$z = \frac{32 - 45}{\sqrt{7764}} = -1.755$$

$$p(x \leq 32) = 0.0401$$



شکل ۱۱-۲۸

توزیع فراوانی مسیر بحرانی و واریانس آن

بدین ترتیب احتمال اتمام پروژه در مدت ۳۲ روز فقط ۴ درصد می‌باشد. به همین ترتیب می‌توان احتمال اتمام پروژه را در روزهای دیگر نیز محاسبه کرد. احتمالات را می‌توان در نمودار زمانی شبکه‌ها نیز نشان داد. نمودار (۱۱-۲۵) را در نظر گرفته، فرض کنید اطلاعات زیر در مورد شبکه مذکور در دست است:

فعالیت	t_e	σ_e
A	۵	۱
B	۸	۳٫۸
C	۶	۰
D	۱۱	۱٫۲
E	۷	۱٫۶

جدول شماره ۱۱-۵

انحراف معیار هر مسیر مانند مسیر ۵-۲-۱ که شامل فعالیت‌های D و B می‌باشد برابر است با:

$$\sigma_{DB}^2 = \sigma_D^2 + \sigma_B^2$$

$$\sigma_{DB}^2 = (۱۲)^2 + (۳۸)^2 = ۱۵۲۹$$

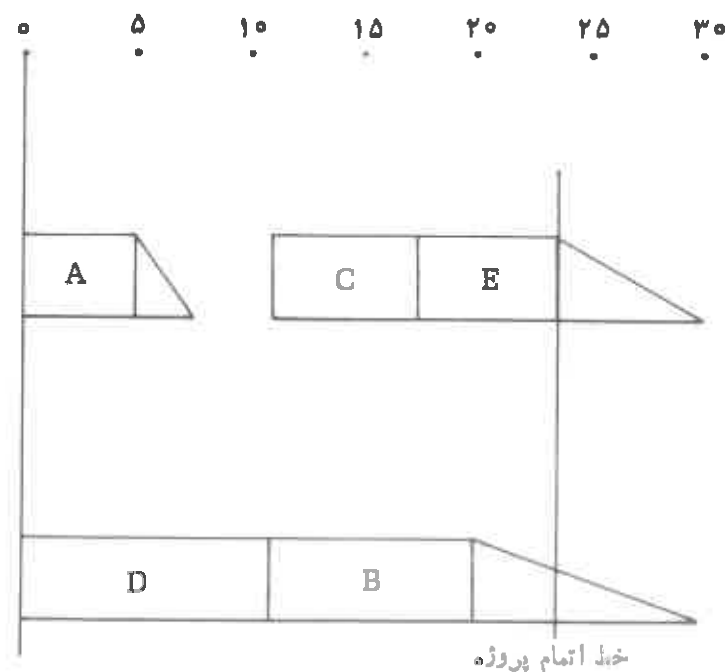
همچنین انحراف معیار مسیر بحرانی فعالیت‌های E-C-D برابر است با:

$$\sigma_{ep}^2 = \sigma_D^2 + \sigma_C^2 + \sigma_E^2$$

$$= (۱۲)^2 + (۰)^2 + (۱۶)^2 = ۲$$

$$\sigma_{ep} = ۲$$

شکل (۲۹-۱۱) احتمال انجام فعالیت‌ها را با فاصله اطمینان ۱ دو انحراف معیار در



شکل ۲۹-۱۱

نمودار زمانی شبکه با فاصله اطمینان ۳ انحراف معیار

1. Confidence interval

نمودار زمانی شبکه نشان داده است در شکل مذکور احتمال انجام فعالیتها به وسیله مثلثهایی که به دنبال فعالیتها رسم شده‌اند مشخص گردیده است.

قاعده مثلثها به اندازه دو انحراف معیار هر فعالیت یا هر مسیر محاسبه شده که با توجه به جدول فراوانی توزیع نرمال می‌توان گفت احتمال اینکه زمان واقعی فعالیت بیشتر از قاعده مثلث (دو انحراف معیار) طول بکشد ۲۳ درصد می‌باشد. همان‌طور که گفته شد قاعده مثلثها به اندازه دو انحراف معیار هر فعالیت یا هر مسیر رسم شده مثلاً انحراف معیار فعالیت A طبق جدول (۵-۱۱) برابر است با $\sigma_A = 1$. بنا بر این قاعده مثلثی که به دنبال فعالیت A رسم شده برابر با ۲ انحراف معیار یا ۲ واحد می‌باشد، از طرفی چون زمان آزادی عمل فعالیت A بیشتر از قاعده مثلث مذکور است، می‌توان کاملاً مطمئن بود که فعالیت مذکور به صورت غیر بحرانی در پروژه باقی خواهد ماند. اما در مورد فعالیت B قاعده مثلثی که بعد از فعالیت B رسم شده ($\sigma_B = 2$) خط عمودی اتمام پروژه یعنی روز ۲۴ را قطع کرده و از آن فراتر رفته است، این بدان معنی است که احتمال به تعویق افتادن زمان اتمام پروژه به تبع عقب افتادن فعالیت B وجود دارد و در نتیجه فعالیت B را بحرانی می‌سازد در صورتی که فعالیت B قبلاً بحرانی نبود.

بنا بر این می‌توان نتیجه گرفت که بعضی از فعالیتهای غیر بحرانی با توجه به تعداد σ (انحراف معیار) در مقایسه با آزادی عمل آنها می‌تواند بحرانی باشد.

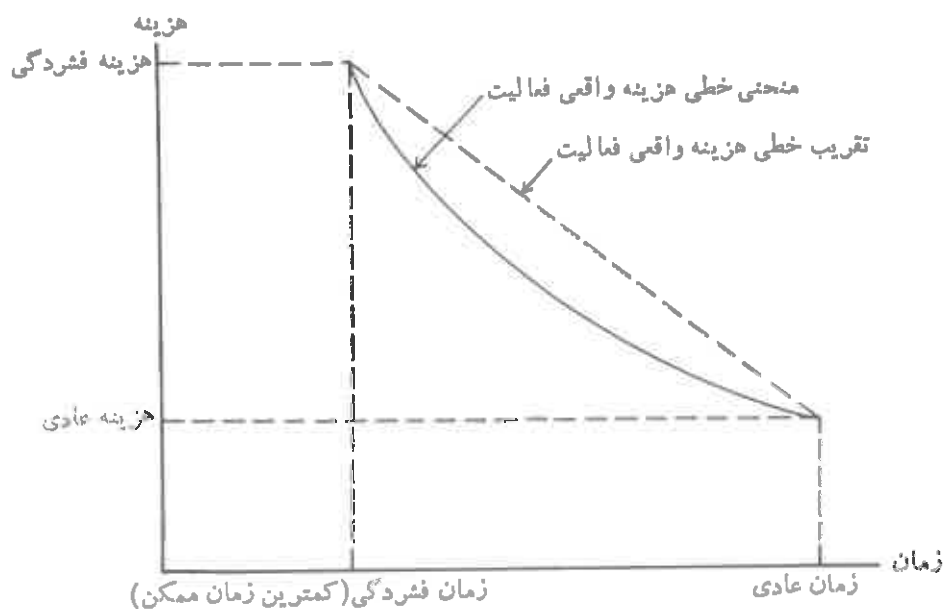
سربه‌سری هزینه-زمان^۱

در برنامه‌ریزی شبکه‌ها مدیریت همواره در صدد کاهش زمان مسیر بحرانی می‌باشد، این امر دارای هزینه اضافی است و روشهای سربه‌سری هزینه-زمان برای تصمیم‌گیری در این گونه موارد مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای کاهش زمان فعالیتهای پروژه از منابع مختلفی نظیر نیروی کاری، ماشین‌آلات و غیره می‌توان استفاده کرد. اغلب اوقات کاهش زمان انجام يك فعالیت سبب افزایش هزینه آن می‌شود. به‌طور مثال فرض کنید که زمان انجام يك فعالیت را با دو برابر کردن نیروی کاری می‌توان از ۱۲ روز به ۷ روز کاهش داد. این عمل هزینه دستمزد روزانه فعالیت را به دو برابر افزایش می‌دهد اما زمان انجام آن را نصف نمی‌کند بنابراین هزینه انجام فعالیت افزایش می‌یابد. البته زمان بعضی از فعالیتها را اصلاً نمی‌توان کاهش داد مثلاً سیمان برای اینکه خود را بگیرد معمولاً يك زمان مشخص لازم دارد. فعالیتهایی هم وجود دارد که نسبت کاهش زمان انجام آنها برابر نسبت افزایش منابع انجام آنها می‌باشد. در این گونه موارد کاهش زمان انجام يك فعالیت

1. time-Cost tradeoffs

هیچ گونه هزینه اضافی در بر ندارد. زمان انجام يك فعالیت عموماً دارای يك محدوده حداقل و حداکثر می باشد. منحنی هزینه-زمان مطابق شکل (۱۱-۳۵) است که معمولاً با يك تقریب خطی^۱ برآورد می شود.

در ارتباط با فشردگی زمانی (کاهش زمان) يك پروژه باید دو نوع هزینه را در نظر داشت. نوع اول هزینه های غیرمستقیم پروژه هستند مانند هزینه بالاسری و هزینه فرصت از دست رفته منابع و تجهیزات که در صورت کاهش زمان پروژه این هزینه ها کمتر می شوند. نوع دوم هزینه های مستقیم فعالیتها مانند هزینه اضافه کاری، استخدام نیروی جدید، اجاره یا خرید ماشین آلات جدید می باشد که با کاهش زمان افزایش می یابند. اساس سربه سری هزینه-زمان، در پروژه ها تخصیص منابع و صرف پول برای کاهش زمان پروژه تا نقطه ای است که هزینه نهایی مستقیم کاهش زمان پروژه برابر هزینه نهایی غیرمستقیم آن گردد. از این نقطه به بعد افزایش هزینه مستقیم کاهش زمان بیشتر از مزیت حاصل از کاهش هزینه غیرمستقیم



شکل ۱۱-۳۵

نمودار سربه سری هزینه-زمان

1. linear Approximation

آن می‌گردد. دستورالعمل زیر را می‌توان به‌طور سیستماتیک برای یافتن این نقطه به‌کار برد:

۱- هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم هر فعالیت را تعیین کنید و همچنین فشردگی زمانی پروژه (قابلیت کاهش زمانی) را به‌دست آورید، این هزینه‌ها را بر مبنای واحد زمان در شبکه محاسبه کنید.

۲- حداقل زمان فشردگی را به‌دست آورید. به عبارت دیگر کمترین زمان ممکن برای انجام هر فعالیت را محاسبه کنید.

۳- فعالیت‌های مسیر بحرانی را مشخص کنید.

۴- شبکه را ارزیابی کنید و زمان فعالیت‌های مسیر بحرانی را به طریق زیر کاهش دهید. ابتدا زمان آن دسته از فعالیت‌های مسیر بحرانی که کمترین هزینه فشردگی را در بردارند کاهش دهید و به همین ترتیب فعالیت‌های دیگر را فشرده کنید تا این که

— زمان فشردگی مطلوب به‌دست آید یا

— منابع برای فشردگی تمام شود یا

— هزینه نهایی غیرمستقیم فعالیت، از هزینه نهایی مستقیم هر فعالیت بیشتر گردد.

در تمام این مراحل باید با دقت مسیر بحرانی را تعقیب کرد زیرا هنگامی که طول زمان

مسیر بحرانی کاهش می‌یابد ممکن است مسیرهای دیگری بحرانی شوند. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.

مثال:

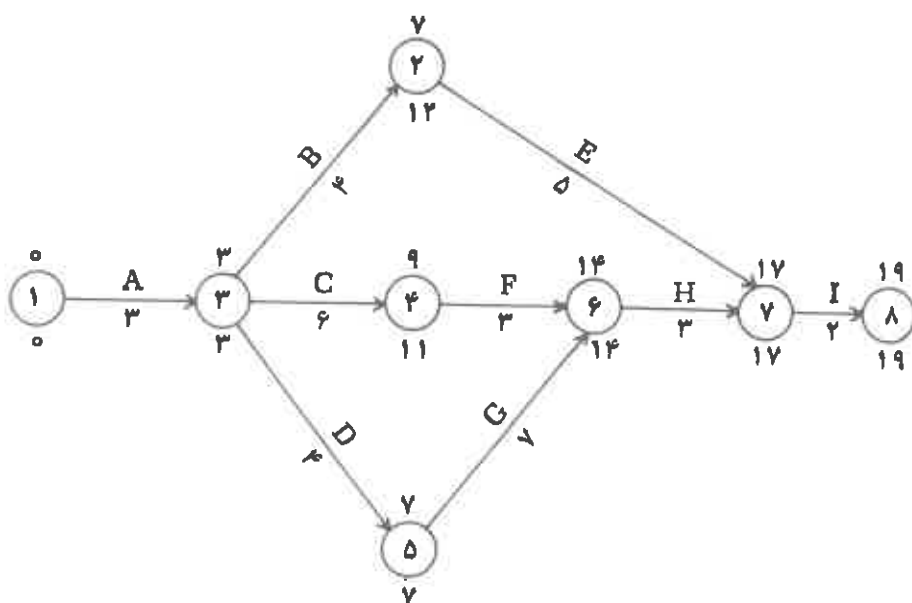
سیستم حرارت مرکزی ساختمان یک سازمان بزرگ یک چهار اشکال شده و از کار افتاده است. قسمت تعمیرات و نگهداری ساختمان پس از تحقیقات اولیه گزارش می‌دهد که موتور و پنکه سیستم سوخته و باید تعویض شود از طرفی زمان انجام این تعویض بسیار مهم است و مدیریت سازمان اصرار دارد حتی الامکان این کار در اسرع وقت صورت گیرد. قسمت تعمیرات و نگهداری اطلاعات لازم جهت انجام این تعویض را طبق جدول (۱۱-۶) تهیه کرده است.

سرپرست تعمیرات و نگهداری با استفاده از روش شبکه‌ها و اطلاعات موجود در جدول (۱۱-۶) برنامه انجام این تعویض را طبق شبکه نمودار شکل (۱۱-۳۱) طراحی کرده است. در این شبکه مسیر بحرانی شامل فعالیت‌های A، D، G، H، I است و زمان انجام پروژه ۱۹ روز می‌باشد. حال سرپرست در نظر دارد که زمان انجام این پروژه را فشرده کند مراحل ۱ تا ۳ دستورالعمل فشردگی انجام شده و طبق مرحله ۴ مدیر می‌تواند فعالیت A را تا یک روز با هزینه ۵۰۰۰ ریال و همچنین فعالیت G را تا چهار روز با هزینه ۱۲۰۰۰ ریال در روز فشرده کند. بنابراین فعالیت A برای یک روز فشرده می‌شود. و

شرح فعالیت	فعالیت	فعالیت بلا واسطه قبلی	زمان مورد انتظار	انحراف معیار زمان مورد انتظار	حداقل زمان انجام فعالیت (حداقل فشردگی)	هزینه فشردگی در روز (ریال)
مسافرشدن دادن موتور و پنکه بازکردن موتور سوخته بازکردن و بیرون کشیدن پنکه سوخته تعمیراتی موتور و پنکه بیرون کشیدن موتور سوخته دادن تغییرات لازم در کابل کشی حمل موتور و پنکه از کارخانه سازنده	A	—	۳	۱	۲	۵۰۰۰۰
	B	A	۴	۰	۲	۱۰۰۰۰۰
	C	A	۶	۰	۴	۲۰۰۰۰۰
	D	A	۴	۲	۲	—
	E	B	۵	۵	۲	۴۰۰۰۰۰
نصب موتور و پنکه جدید و امانداری سیستم جدید	F	C	۳	۲	۲	۸۰۰۰۰۰
	G	D	۷	۱	۳	۱۲۰۰۰۰
	H	F, G	۳	۲	۳	—
	I	E, H	۲	۱	۲	—

جدول شماره ۱۱-۲

اطلاعات لازم در مورد تصمیم سیستم حشرات مزاحم

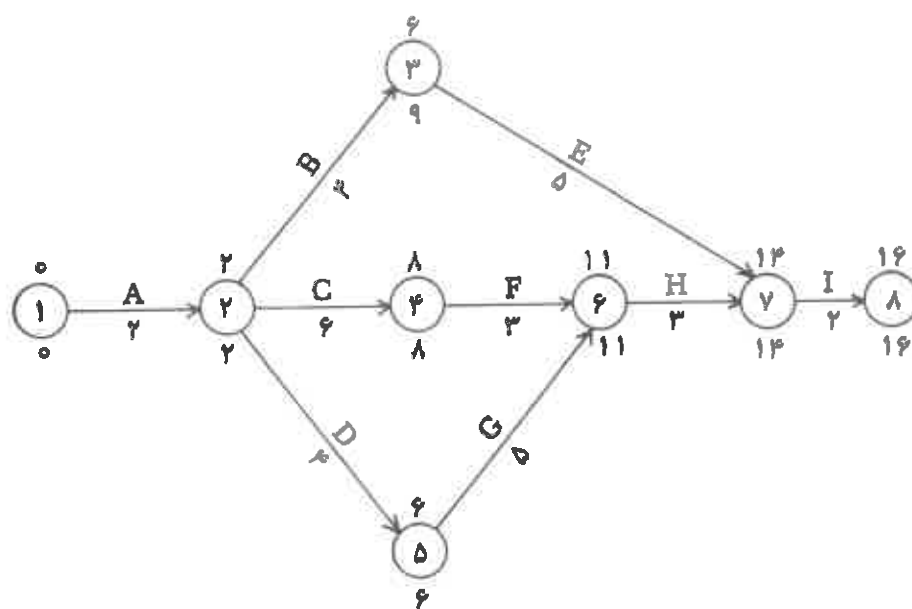


شکل ۳۱-۱۱

شبکه پروژه تعمیر سیستم حرارت مرکزی در حالت عادی

مسیر بحرانی همچنان همان مسیر قبلی باقی می‌ماند و زمان تکمیل پروژه به ۱۸ روز کاهش می‌یابد. فعالیت G برای دو روز در مقابل هزینه ۲۲۰۰۰ ریال کاهش می‌یابد. حال دو مسیر بحرانی هستند یکی مسیر ۱-۲-۵-۶-۷-۸ و دیگری مسیر ۱-۲-۴-۶-۷-۸ تا به حال زمان انجام پروژه به ۱۶ روز کاهش یافته و مبلغ ۲۹۰۰۰ ریال هزینه صرف شده است. اگر بودجه در نظر گرفته شده برای این فشردگی ۴۰۰۰۰ ریال باشد بنا بر این مبلغ ۱۱۰۰۰ ریال دیگر از این بودجه باقی مانده است.

برای کاهش یک روز دیگر باید مبلغ ۱۲۰۰۰ ریال برای فعالیت G و مبلغ ۸۰۰۰ ریال برای فعالیت F هزینه صرف کرد. (می‌توانستیم به جای فعالیت F فعالیت C را نیز انتخاب کنیم اما از آنجا که هزینه فشردگی فعالیت F کمتر از C می‌باشد آن را برگزیده‌ایم.) به عبارت دیگر برای کاهش چهارمین روز مبلغ $۱۲۰۰۰ + ۸۰۰۰ = ۲۰۰۰۰$ ریال مورد نیاز است اما طبق مرحله ۴ این کار را نمی‌توانیم انجام دهیم چون از بودجه در نظر گرفته شده تجاوز می‌کند. بنا بر این شبکه جدید را می‌توان با صرف مبلغ ۲۹۰۰۰ ریال به صورت نمودار شکل (۳۲-۱۱) نشان داد که در آن حداکثر کاهش ممکن زمان با توجه به امکانات انجام گرفته است.



شکل ۱۱-۳۲

شبکه پروژه تعمیر سیستم حرارت مرکزی در حالت فشرده

مسائل و تمرینات فصل یازدهم

۱-۱۱ با توجه به فعالیت‌های زیر، شبکه‌ای برای آنها رسم کنید.

فعالیت	فعالیت ماقبل وابسته به آن
۱	—
۲	—
۳	—
۴	۲، ۱
۵	۳
۶	۱
۷	۶، ۵، ۴
۸	۳
۹	۸
۱۰	۵، ۴
۱۱	۱۰، ۹
۱۲	۷
۱۳	۱۲، ۱۱

۱۱-۲ فروشگاه قدس در حال تغییر دکوراسیون داخلی خود می باشد. در زیر فهرست فعالیت‌های مورد نیاز و زمانهای انجام آنها آمده است.

فعالیت	فعالیت وابسته قبلی	زمان		
		خوش بینانه	محتمل	بد بینانه
A	—	۵	۱۱	۱۱
B	—	۱۰	۱۰	۱۰
C	—	۲	۵	۸
D	A	۱	۷	۱۳
E	B	۲	۲	۱۰
F	B	۲	۷	۱۰
G	B	۲	۲	۲
H	C	۰	۶	۶
I	D و E	۱	۲	۷
J	G و H	۲	۸	۱۲

الف - زمانهای t_e و همچنین فرجه را برای هر فعالیت محاسبه نمایید.

ب - مسیر بحرانی را تعیین نمایید.

ج - احتمال تغییر دکوراسیون را در عرض ۲۲ روز بدست آورید.

د - مدیریت فروشگاه قدس مایل است بداند که تغییر دکوراسیون با ۸۰ درصد اطمینان چند روز طول می کشد.

۱۱-۳ یک شرکت ساختمانی زمان فعالیت‌های مورد نیاز در ساخت یک پروژه ساختمانی را به صورت زیر بر آورد نموده است.

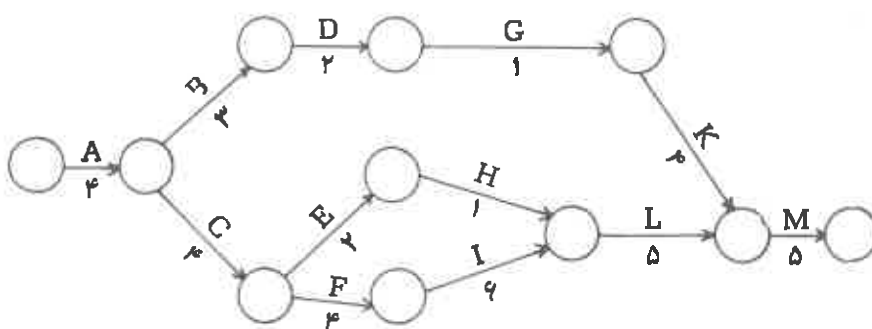
شماره فعالیت	شرح فعالیت	فعالیت وابسته	
		قبلی	زمان مورد انتظار (به روز)
۱	ساخت دیوارها	۲	۵
۲	پی‌ریزی و فونداسیون	—	۳
۳	تیرزی سقف‌ها	۱	۲
۴	شیب‌بندی پشت بام	۳	۳
۵	سیم‌کشی و برق‌کاری	۱	۲
۶	ایزولاسیون پشت بام	۴	۸
۷	نماکاری خارجی	۸	۵
۸	نصب درب و پنجره‌ها	۱	۲
۹	نقاشی	۶، ۷، ۱۰	۲
۱۰	احداث دیوارهای جداکننده داخلی	۸، ۵	۳

الف - فعالیت‌های فوق را در غالب يك شبکه نشان دهید.

ب - زودترین زمانی که پروژه ساختمانی می‌تواند تکمیل گردد را به‌دست آورید.

ج - مسیر بحرانی را تعیین نمایید.

۴-۱۱ شبکه زیر را در نظر بگیرید:

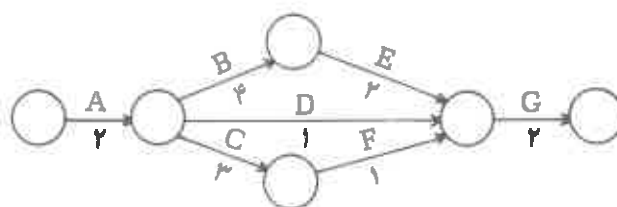


الف - زودترین زمان شروع و خاتمه هر فعالیت را محاسبه نمایید.

ب - مسیر بحرانی را تعیین نمایید.

ج - فرجه آزاد و فرجه کلی را برای هر فعالیت به‌دست آورید.

۱۱-۵ با توجه به شبکه زیر می‌خواهیم حداقل زمان تکمیل پروژه را کاهش دهیم. فرض کنید در ازای کاهش زمان یک فعالیت، زمان یک یا چند فعالیت به همان اندازه افزایش پیدا می‌کند. مثلاً اگر زمان فعالیت G یک ساعت کاهش یابد، زمان فعالیت‌های D و C هر کدام به اندازه نیم ساعت افزایش می‌یابند.

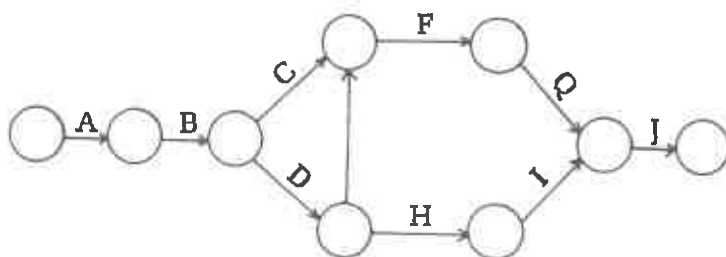


- الف - مسیر بحرانی و حداقل زمان مورد نیاز برای تکمیل پروژه را پیدا کنید.
 ب - زمان فعالیت‌های مسیر بحرانی را طوری کاهش دهید که زمان کل تکمیل پروژه کاهش یابد.
 ج - براساس تجربه گذشته، مدیریت شرکت ساختمانی زمانهای خوش بینانه و بدبینانه را برای هر فعالیت به صورت زیر برآورد نموده است.

شماره فعالیت	شرح فعالیت	زمان خوش بینانه (روز)	زمان محتمل (روز)	زمان بدبینانه (روز)
۱	مسافت دیوارها	۳	۵	۷
۲	پی ریزی و فونداسیون	۲	۳	۴
۳	تیر ریزی سقف‌ها	۱	۲	۳
۴	شیب بندی پشت بام	۱	۲	۹
۵	سیم کشی و برق کاری	۲	۲	۴
۶	ایزولاسیون پشت بام	۲	۸	۱۲
۷	نما کاری خارجی	۱	۳	۱۷
۸	نصب درب و پنجره	۱	۲	۳
۹	نقاشی	۲	۲	۴
۱۰	احداث دیوارهای جدا کننده خارجی	۲	۳	۴

الف - زمان فعالیت‌های مورد انتظار برای هر یک از فعالیت‌ها را محاسبه کنید.

۱۱-۶ براساس شبکه فعالیت شکل زیر و جدول فعالیت‌های آن، ارزش مورد انتظار و انحراف از استاندارد را برای زمان هر فعالیت محاسبه کنید. زودترین زمان شروع و همچنین زودترین زمان و دیرترین زمان خاتمه هر فعالیت را محاسبه نمایید و سپس مسیر بحرانی را مشخص نمایید.



زمان بدبینانه (به روز)	زمان محتمل (به روز)	زمان خوش بینانه (به روز)	فعالیت
۶	۴	۲	A
۳	۲	۱	B
۱۲	۴	۲	C
۷	۴	۱	D
۱	۱	۱	E
۵	۳	۱	F
۶	۴	۲	G
۱۱	۶	۱	H
۲	۲	۲	I
۴	۳	۲	J

کنترل کیفیت

اهداف يك مؤسسه تولیدی در اغلب موارد افزایش میزان تولید، حداقل نمودن هزینه، و بهبود سطح کیفیت و مرغوبیت تولیدات و خدمات می باشد. در این فصل به بررسی یکی از این هدفهای کلی که تعیین و تامین سطح مورد قبول کیفیت برای تولیدات و خدمات می باشد می پردازیم.

کیفیت کالا

سیستم های تولیدی برای تولید هر کالای خاص نیاز به طراحی جریان ساخت و تعیین مشخصات ویژه آن کالا دارند. مشخصات اصلی کالا در زمان طراحی ساخت آن قبل از شروع جریان تولید تعیین می گردد. این مشخصات را «مشخصات طراحی» می نامند. یکی از مهمترین مشخصات طراحی محصول تعیین سطح کیفیت و مرغوبیت آن می باشد. پس از تولید محصول ممکن است متوجه شویم که تولید طبق مشخصات طراحی شده از جهت کیفیت

1. design Specification

صورت نگرفته باشد. بنابراین سطح کیفیت و مرغوبیت به دو صورت مطرح می‌باشد یکی مرغوبیت در طراحی محصول^۱ و دیگری مرغوبیت در تولید^۲ آن. مرغوبیت در طراحی محصول شامل انتخاب نوع مواد اولیه، مشخصات فیزیکی: نوع جریان تولید، ... می‌باشد؛ البته هرچه مرغوبیت طراحی کالا افزایش یابد به تبع آن باید هزینه بیشتری نیز متحمل شویم، زیرا فی‌المثل باید کیفیت بالاتری را برای مواد اولیه انتخاب کنیم و این امر هزینه را بالا می‌برد. اما مرغوبیت در تولید محصول به میزان تطبیق مشخصات تولید شده با مشخصات طراحی شده بستگی دارد به عبارت دیگر هرچقدر مشخصات محصول تولید شده با مشخصات طراحی شده انطباق بیشتری داشته باشد کالا از کیفیت بالاتری برخوردار است و بعکس هرچقدر مشخصات محصول تولید شده مغایر با مشخصات طراحی شده باشد کالا کیفیت پایینتری دارد. لازم به یادآوری است که کنترل کیفیت در خدمات نیز دارای اهمیت فراوانی است اما این امر بسادگی بررسی کیفیت تولید، امکان‌پذیر نیست فرضاً کیفیت برخورد يك فروشنده با مشتری را نمی‌توان به‌سہولت ارزیابی کرد.

حال به بررسی عوامل مؤثر در کیفیت طراحی محصول می‌پردازیم:

مشخصات کالا

تعیین مشخصات کالا از قبیل وزن، اندازه، رنگ، طرز عمل و... دارای اهمیت بسیاری است زیرا مشتریان با توجه به این مشخصات است که امر انتخاب را انجام می‌دهند. مشخصات اصلی کالا بر اساس نوع بازاری که کالا در آن عرضه می‌شود و مقتضیات فنی کالامعین می‌گردد. مثلاً مجله زن روز برای مشتریان خاصی (نوع بازار) طراحی می‌شود که با خوانندگان مجله مکانیک متفاوت می‌باشند. یا مقتضیات و امکانات فنی ساعت می‌شود اتومبیل بنز با مشخصاتی متفاوت با اتومبیل پیکان تولید شود.

توانایی و امکانات جریان تولید

اگر مدیر عملیاتی بتواند از بهترین مواد اولیه موجود و بهترین نیروی انسانی استفاده و ترتیبی اتخاذ کند که ماشین‌آلات به نحو احسن عمل کنند آنگاه می‌توان گفت توانایی جریان تولید برای این محصول در مؤسسه به‌حد اکثر می‌باشد. فرض کنید که در شرایط مذکور محصول به‌طور متوسط يك درصد معیوب داشته باشد (يك درصد از محصولات

تولید شده غیر قابل قبول هستند) در این صورت يك درصد معيوب «توانایی جریان تولید» در مؤسسه می باشد.

در مورد توانایی جریان تولید ذکر دو نکته ضروری است. اول اینکه تولید در شرایط حداکثر توانایی يك سازمان با توجه به تغییرات تصادفی در مواد اولیه، افراد، ماشین آلات همواره عملی نیست و ثانیاً تولید در شرایط مذکور لزوماً بهترین و با صرفه ترین طریق تولید نمی باشد.

در حقیقت بیشتر جریانهای تولیدی برای کیفیتی پایین تر و کمیتی بالاتر از حد توانایی جریان تولید طراحی می شوند. در نمودارهای کنترل که بعداً مورد بررسی قرار می گیرند این مسأله با وضوح بیشتری بیان خواهد شد.

مدیر عملیاتی برای ایجاد سیستم کنترل کیفیت باید فعالیتهای برنامه ریزی، سازماندهی و کنترل را انجام دهد:

برنامه ریزی

کیفیت کالای تسویدنی را نمی توان به دست شانس و اقبال سپرد بلکه باید هدف مشخصی را برای مرغوبیت کالا تعیین کرد. پس از تعیین هدف کیفیت کالا فعالیتهای بعدی برای طراحی کیفیت کالا، قابلیت اطمینان^۲ و تضمین کیفیت^۳ آغاز می شود.

طراحی

طراحی عبارتست از پیش بینی و تعیین فعالیتهای در جریان تولید، نوع مواد اولیه مورد نیاز و جریانهای فنی برای تولید. دوسازمان را که کالای واحدی را تولید می کنند در نظر بگیرید ممکن است یکی از آنها برای رسیدن به سطح کیفیت قابل قبول هزینه گزافی را متحمل شود درحالی که دیگری برای رسیدن به همان سطح کیفیت هزینه کمتری بپردازد. تفاوت این دو، نتیجه دقتی است که در طراحی کالا قبل از شروع به تولید به خرج داده اند. طراحی کیفیت کالا فعالیتی نیست که در يك مرحله انجام گیرد و خاتمه یابد بلکه در حین جریان تولید نیز باید براساس شرایط ایجاد شده تغییرات لازم را در آن به عمل آورد تا کیفیت مورد نظر حاصل شود. به عبارت دیگر طراحی محصول از طریق فعالیتهای مختلف بازنگری و اصلاح می شود. بازنگری طراحی با بررسی قابلیت اطمینان محصول، تضمین کیفیت و نظرات مشتریان صورت می گیرد.

1. Process Capability

2. Product reliability

3. Quality assurance

قابلیت اطمینان^۱

قابلیت اطمینان يك محصول عبارتست از عمر مفيد يك محصول و يا مدت زمانی که يك محصول می تواند برای منظوری که در نظر گرفته شده در يك دوره زمانی خاص و تحت شرایط معینی عمل نماید. محصولاتی نظیر مواد غذایی و دستمال کاغذی عمر کوتاهی دارند، و یا يك بار قابل مصرف می باشند. اما محصولاتی نظیر یخچال و تلویزیون عمر مفید طولانیتری دارند و مدت زمان بیشتری مورد استفاده واقع می شوند. عمر مفید محصولات به طور تصادفی تعیین نشده بلکه برای يك حداقل قابلیت اطمینان طراحی می شوند. پس از اینکه قابلیت اطمینان مورد نظر برای محصول معین شد، قابلیت اطمینان اجزاء تشکیل دهنده آن مشخص می شود. عموماً قابلیت اطمینان يك کالا با قابلیت اطمینان اجزاء تشکیل دهنده آن ارتباط مستقیم دارد. به طور کلی قابلیت اطمینان اجزاء تشکیل دهنده باید بالاتر از قابلیت اطمینان خود کالا باشد. زیرا قابلیت اطمینان کالا معمولاً در قالب احتمالات بیان می شود و احتمال اینکه يك سیستم به درستی عمل کند برابر است با حاصل ضرب احتمال درست کار کردن اجزاء تشکیل دهنده آن. مثال زیر این مسأله را روشن می کند.

مثال:

محصولی از دو قطعه تشکیل یافته است. این محصول برای عمر مفید يك سال با احتمال ۹۰ درصد طراحی شده است. عملکرد صحیح کالا بستگی به این دارد که هر دو قطعه با هم به طور صحیح کار کنند و اگر يك قطعه درست عمل نکند کالا مورد استفاده نخواهد بود. قابلیت اطمینان هر قطعه به چه ميزانی باید تعیین شود؟ جدول زیر قابلیت اطمینان دو قطعه فوق را در برابر هزینه آن نشان می دهد.

قطعات	قابلیت اطمینان قطعات		
	۰.۹۸	۰.۹۵	۰.۹۰
A	۱۲۰۰۰	۹۰۰۰	۵۰۰۰
B	۱۱۰۰۰	۹۰۰۰	۷۰۰۰

همان طوری که جدول نشان می دهد، هر قدر قابلیت اطمینان قطعات بیشتر شود هزینه های آن نیز افزایش می یابد. اگر قابلیت اطمینان قطعات A و B را هر دو ۹۰ درصد انتخاب کنیم،

1. Product Reliability

۴۴۳ □ کنترل کیفیت

احتمال اینکه هم قطعه A و هم قطعه B هر دو برای مدت يك سال به درستی کار کنند (احتمال اینکه هر دو واقعه به وقوع پیوندند) برابر است با $0.81 = 0.9 \times 0.9$ یعنی قابلیت اطمینان محصول نهایی ۰.۸۱ می باشد. بنا بر این قابلیت اطمینان اجزاء تشکیل دهنده محصول باید بیشتر از قابلیت اطمینان خود محصول باشد. اگر قابلیت اطمینان قطعات A و B را هر دو ۰.۹۸ انتخاب کنیم، قابلیت اطمینان محصول نهایی، برابر است با $0.9604 = 0.98 \times 0.98$ در جدول زیر شقوق مختلف قابلیت اطمینان قطعات برای محاسبه قابلیت اطمینان محصول نهایی و هزینه های مرتبط به آن ذکر شده است:

هزینه	قابلیت اطمینان محصول نهایی	قابلیت اطمینان قطعات		شقوق مختلف
		B	A	
	۰.۸۱۰۰	۰.۹۰	۰.۹۰	۱
	۰.۸۵۵۰	۰.۹۵	۰.۹۰	۲
	۰.۸۸۲۰	۰.۹۸	۰.۹۰	۳
	۰.۸۵۵۰	۰.۹۰	۰.۹۵	۴
$9000 + 9000 = 18000$	۰.۹۰۲۵	۰.۹۵	۰.۹۵	۵
$9000 + 11000 = 20000$	۰.۹۳۱۰	۰.۹۸	۰.۹۵	۶
	۰.۸۸۲۰	۰.۹۰	۰.۹۸	۷
$14000 + 9000 = 23000$	۰.۹۳۱۰	۰.۹۵	۰.۹۸	۸
$14000 + 11000 = 25000$	۰.۹۶۰۴	۰.۹۸	۰.۹۸	۹

حال ببینیم چه ترکیبی از قطعات A و B را برای ساخت محصولی با حداقل قابلیت اطمینان ۰.۹۰ باید انتخاب کرد؟ بدین منظور ابتدا شقوقی که قابلیت اطمینان محصول نهایی را برابر ۰.۹۰ یا بیشتر می سازد مشخص کرده و از بین آنها، آنکه هزینه اش کمتر است انتخاب می کنیم در جدول بالا فقط شقوق ۵، ۶، ۸ و ۹ از جهت قابلیت اطمینان محصول نهایی واجد شرایط می باشند و بقیه شقوق دارای قابلیت اطمینان غیر قابل قبول (کمتر از ۰.۹۰) می باشند.

از بین شقوق قابل قبول شق پنجم کمترین هزینه را در بر دارد بنا بر این شق مذکور با قابلیت اطمینان ۹۵٪ برای قطعات A و B انتخاب می شود.

همان طور که ملاحظه شد تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان محصول نهایی براساس احتمال عملکرد صحیح قطعات تشکیل دهنده محصول انجام می گیرد و اطلاعات مربوط

به احتمال عملکرد صحیح قطعات با آزمایشهایی مختلف به دست می آید.

تضمین کیفیت

تضمین کیفیت شامل سلسله فمالیتهایی به منظور ارزیابی و سنجش کیفیت محصول نهایی می باشد. ابتدا سطح کیفیت کنونی کالا مشخص و با سطح کیفیت سایر رقبا مقایسه می شود. از اطلاعات حاصله برای بازنگری طراحی محصول و جریان تولید آن، سیاستهای فروش، و تصمیم گیری در مورد قیمت کالا استفاده می شود. در سیستم تضمین کیفیت از منابع اطلاعاتی مانند آنچه در زیر آمده استفاده می شود:

— آزمایش عمر کالا و آزمایشهایی که میزان تحمل کالا را در برابر عوامل مختلف تعیین می کند.

— آزمایشهای مختلف برای تعیین علل خرابی کالا.

— نمونه برداری از محصول نهایی به منظور تعیین نوع خرابی کالا.

— ایجاد شرایطی که بتوان کارکرد محصول را در عمل بررسی کرد.

سازماندهی

غالباً در مؤسسات تولیدی کنترل کیفیت يك وظیفه ستادی برای ردیابی نقاط ضعف و انجام اقدامات اصلاحی است. در گروه کنترل کیفیت معمولاً يك مدیر، يك مهندس تضمین کیفیت، و چند تکنسین کنترل کیفیت و بازرس وجود دارند. معمولاً مسؤولیتهای کنترل کیفیت از وظایف خط تولید جدا می باشند و این امر به لحاظ آن است که از خطاهای ممکن در ارزیابی کیفیت کالا حتی المقدور جلوگیری شود. مسؤولین خط تولید اغلب درصدد افزایش کمی میزان تولید هستند در حالی که مسؤولین کنترل کیفیت می کوشند کیفیت کالای تولید شده در سطح مورد نظر باقی بماند. در پاره ای موارد ممکن است بین این دو گروه اختلافهایی به وجود آید و این وظیفه مدیریت است که اختلافهای مذکور را به نحوی حل و فصل کند که تعادلی منطقی بین کمیت و کیفیت کالا برقرار شود.

سیستمهای دیگری نیز وجود دارند که در آنها وظیفه کنترل کیفیت به خط تولید سپرده می شود و جدایی بین مسؤولین کنترل کیفیت و خط تولید وجود ندارد. سیستمهای کنترل کیفیت محصولات در کشورهای اسکاندیناوی و ژاپن نمونه هایی از این نوع سیستم می باشند.

کنترل

یکی از مهمترین وظایف مدیر عملیاتی کنترل کیفیت است که متضمن تصمیم گیری و

تضاوت دقیق می باشد. فرض کنید می خواهیم قطعه بخصوصی را از جهت کیفیت کنترل کنیم. قبلاً در قسمت طراحی طول قطعه مشخص شده و قطعه تولید گردیده است. حال طول قطعه تولید شده با طول مورد نظر مقایسه می شود. اگر اندازه قطعه مطابق با اندازه مورد نظر بود اصلاحی مورد نیاز نیست اما اگر تفاوتی بین طول قطعه تولید شده با اندازه معین شده وجود داشت باید عملیات اصلاحی صورت گیرد. هر سیستم تولیدی، کالاهایی با کیفیتهای متفاوت تولید می کند، ممکن است این کیفیت بالا، پایین یا متوسط باشد، اما سیستم کنترل کیفیت در يك کارخانه وقتی ایجاد می شود که با انجام عملیاتی مشخصات کالا با مشخصات مورد نظر مقایسه شود و سطح کیفیت مطلوب را به وجود آورد. اندازه گیری مهمترین جزء در کنترل کیفیت می باشد که ذیلاً به ذکر آن می پردازیم.

اندازه گیری^۱

در مثال گذشته می توان طول قطعه را به دو طریق مورد سنجش قرار داد. یکی آنکه طول واقعی قطعه را بر حسب سانتی متر یا میلیمتر اندازه گیری کرد و یا آنکه قطعه را با الگویی سنجید و نتیجه گرفت که اندازه آن مورد قبول هست یا خیر. در نوع اول ما اندازه واقعی را با متغیرهایی کمی از قبیل طول، وزن و حجم اندازه گیری می کنیم در حالی که در نوع دوم سنجش ما توصیفی است و نتیجه می گیریم که آیا قطعه مذکور مورد قبول هست یا خیر. در اندازه گیری نوع دوم دامنه انتخاب محدود است و منحصر به دو شق می باشد: یعنی کالا یا پذیرفته می شود، یا رد می شود اما در سنجش نوع اول با طیف وسیعی از انتخابها روبه رو هستیم که شامل اندازه های مختلف است و این اندازه ها در محدوده های کنترل یا خارج از آنها قرار دارند. در مورد چگونگی انتخاب نوع اندازه گیری بعداً بحث خواهد شد.

مدلهای کنترل کیفیت

یکی از مهمترین مشکلاتی که در زمینه استفاده از تکنیکهای کنترل کیفیت در سازمانها مشاهده می شود عدم اطلاع مسئولان و مدیریت سازمانها از تکنیکهای کنترل کیفیت می باشد. در این قسمت تکنیکهایی که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد یعنی بازرسی^۲ - نمونه برداری^۳ و نمودارهای کنترل^۴ بررسی می شوند.

1. measurement
3. Sampling

2. Inspection
4. Control chart

بازرسی

بازرسی شامل بازدید و بررسی مواد اولیه، جریان تولید و محصول نهایی است که اطلاعات اساسی برای امر کنترل کیفیت را فراهم می‌سازد. بازرسی را می‌توان با مشاهده یا به وسیلهٔ ماشین انجام داد و هدف آن است کسه مشخصات فیزیکی کالا با مشخصات طراحی شده مطابقت داده شوند. بازرسی در سه مرحله به بررسی وارده‌ها، جریان تولید و صادره‌ها می‌پردازد.

بازرسی وارده‌ها: معمولاً کیفیت محصول نهایی هر سیستم تولیدی بستگی به کیفیت وارده‌های آن دارد از آنجایی که وارده‌های سیستم پس از طی مراحل به کالای ساخته شده تبدیل می‌شوند خرابی و کیفیت پایین وارده‌ها مستقیماً بر کالای ساخته شده تأثیر می‌گذارد و آن را به صورت کالای غیر قابل قبول درمی‌آورد. برای جلوگیری از هزینه‌های ناشی از تولید کالای غیر قابل قبول، مدیریت باید برنامه‌هایی را برای بازرسی وارده‌ها قبل از تولید تنظیم کند. در بازرسی وارده‌ها، مواد اولیه، قطعات و ابزار خریداری شده با استانداردهای کنترل که از قبل تعیین شده مقایسه و پس از تأیید، برای تولید ارسال می‌شوند.

بازرسی جریان تولید: معمولاً مدیریت در مراحل مختلف جریان تولید بازرسیهای خاصی را انجام می‌دهد که آن را بازرسی خط تولید یا جریان تولید می‌نامند. کالا در مراحل مختلف جریان تولید مورد بازرسی قرار می‌گیرد. میزان بازرسی به حجم فعالیت‌های خط تولید، هزینه بازرسی و هزینه‌ای که بر اثر عدم بازرسی در جریان تولید ایجاد می‌شود، بستگی دارد. مدیریت باید میزان بازرسی، نقاط بازرسی و زمان آن را در جریان تولید مشخص کند و برای این منظور مدیر باید از درصد ضایعات کالا در نقاط مختلف خط تولید در مقابل هزینه بازرسی آنها اطلاع داشته باشد. نقاطی که درصد ضایعات زیاد و هزینه بازرسی کمی دارند بهترین نقاط برای بازرسی می‌باشند.

برای انتخاب و تعیین تعداد نقاط بازرسی و محل آنها می‌توان مراحل زیر را انجام داد.

- ۱- مشخص کردن تمام نقاطی که برای بازرسی مهم می‌باشند، بر آورد هزینه انجام بازرسی و جمع‌آوری اطلاعات گذشته راجع به تعداد و میزان ضایعات قبلی در این نقاط.
- ۲- محاسبهٔ نسبت حساسیت^۱ که عبارتست از حاصل تقسیم هزینه بازرسی بر میزان ضایعات:

$$\text{نسبت حساسیت} = \frac{\text{هزینه بازرسی}}{\text{درصد ضایعات}}$$

1. Critical ratio

۳- تنظیم نسبت حساسیتهای محاسبه شده به ترتیب صعودی. کوچکترین نسبت حساسیت نشان دهنده بهترین نقطه برای بازرسی می باشد و به همین ترتیب می توان اهمیت سایر نقاط را به دست آورد. حال با توجه به امکانات موجود می توان تعداد مراحل بازرسی را تعیین کرد.

مثال:

در يك جریان تولید نقاط A، B، و C، نقاط مهم برای بازرسی می باشند. درصد ضایعات کالا در این نقاط عبارتست از: ۱۰ درصد برای نقطه A، ۵ درصد برای نقطه B، و ۶ درصد برای نقطه C. هزینه بازرسی در نقطه A برابر ۱۵۰۰۰ ریال، در نقطه B ۲۰۰۰۰ ریال و در نقطه C ۱۰۰۰۰ ریال است. نسبت حساسیت برای هر يك از نقاط مذکور چیست؟

$$A \text{ نسبت حساسیت نقطه } = \frac{15000}{0.10} = 150000$$

$$B \text{ نسبت حساسیت نقطه } = \frac{20000}{0.05} = 400000$$

$$C \text{ نسبت حساسیت نقطه } = \frac{10000}{0.06} = 166700$$

با توجه به نسبت حساسیتهای محاسبه شده می توان نتیجه گرفت بازرسی ابتدا باید در نقطه A صورت گیرد، و در صورت وجود منابع نقطه بعدی بازرسی نقطه C است و اگر باز امکانات و منابعی برای بازرسی وجود داشت نقطه B برای بازرسی مناسب است. به عبارت دیگر ترتیب بازرسی در جریان تولید مثال فوق عبارتند از نقاط A، C، و B. **بازرسی محصول نهایی:** در سیستمهای تولید، محصول نهایی مورد بازرسی قرار می گیرد تا این اطمینان حاصل شود که آیا کالای تولید شده با استانداردهای از قبل تعیین شده مطابقت دارد یا خیر. بدین منظور روشهای مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد که بعداً در مورد آنها بحث خواهد شد.

نمونه برداری

یکی از وظایف مهم مدیریت ایجاد رابطه منطقی بین سطح کیفیت کالا و هزینه کنترل آن می باشد. فی المثل اگر مواد اولیه يك سیستم تولیدی تماماً مورد بازرسی قرار گیرد

کیفیت مواد ورودی تقریباً تضمین شده است اما هزینه بازرسی بالا رفته و افزایش بهای کالا را موجب خواهد شد. از این رو در اغلب موارد برای کنترل کیفیت کالا از روشهای نمونه برداری استفاده می شود. نمونه برداری شامل انتخاب جزئی از يك مجموعه برای اطلاع از خصوصیات آن مجموعه می باشد. جزء مذکور بسايد حتی المقدور نشانگر خصوصیات کلی مورد نظر باشد. با استفاده از نمونه برداری می توان کیفیت مواد اولیه خط تولید و کالای تولیدی را مشخص کرد و آنها را تحت کنترل در آورد. سیستم نمونه برداری موارد استفاده فراوانی دارد. مثلاً در کنترل مواد اولیه، کالای ساخته شده یا حسابرسی صورتهای مالی از سیستمهای نمونه برداری استفاده می شود و همچنین در سیستمهای خدماتی نیز می توان از نمونه برداری استفاده کرد. به عنوان مثال وزارت بهداشت برای آگاهی از کیفیت عملکرد بیمارستانها باید ابتدا معیارهایی را مشخص کند، سپس براساس آن معیارها نمونه هایی را مورد سنجش قرار داده، بدان وسیله کیفیت عملکرد بیمارستان را با توجه به استاندارد موجود مورد ارزیابی قرار دهد.

در قسمتهای بعد روشهای مختلف نمونه گیری شامل روش نمونه گیری مورد قبول، روش نمونه گیری براساس حداقل هزینه، و روش متوسط کیفیت خروجی بررسی می شود.

روش نمونه گیری مورد قبول^۱

معمولاً وقتی مجموعه ای از مواد اولیه وارد يك کارخانه می شود این محموله مورد بازرسی قرار می گیرد تا درباره قبول و یا رد آن تصمیم لازم گرفته شود. اغلب به لحاظ اقتصادی فقط بخشی از محموله مورد بازرسی قرار می گیرد و پس از بررسی آن بخش در مورد قبول و یا رد کل محموله نظر داده می شود. ساده ترین روش نمونه برداری روش نمونه گیری تکی^۲ می باشد که در آن تصمیم گیری در مورد قبول و یا رد محموله براساس نتیجه گیری از يك نمونه به اندازه n از مجموعه ای به اندازه N می باشد. در این روش يك نمونه n مورد بازرسی قرار گرفته، هر کدام به عنوان قابل قبول و یا غیر قابل قبول مشخص می شوند. اگر مقدار غیر قابل قبول بیشتر از میزان از قبل تعیین شده C باشد کل مجموعه غیر قابل قبول شناخته و رد می شود. از آنجا که میزان کالای معیوب در نمونه به میزان C و یا کمتر به عنوان قبولی کل مجموعه تلقی می شود، C را سطح قبولی می نامند.

هدف نمونه گیری آن است که مجموعه های خوب را از مجموعه های بد تمیز دهند. درصد واقعی معیوب (f) در مجموعه های خوب کم است و در مجموعه های بد زیاد می باشد.

اما ممکن است نمونه انتخاب شده از مجموعه این واقعیت را نشان ندهد که در این صورت می‌گوییم نمونه گویای کل نیست. در این گونه موارد ممکن است مجموعه‌های خوب اشتباهاً غیر قابل قبول تلقی شوند و یا برعکس مجموعه‌های بد مورد قبول واقع شوند. میزان این نوع اشتباهها بستگی به بزرگی اندازه نمونه n و انتخاب سطح قبولی c در نمونه دارد. سیستمهای نمونه برداری بسیاری وجود دارند و در همگی آنها احتمال وقوع این نوع اشتباهها هست. ولی میزان احتمال این نوع اشتباهها در سیستم‌های مختلف نمونه برداری متفاوت است. در قسمت بعد احتمال وقوع این اشتباهها را بررسی می‌کنیم.

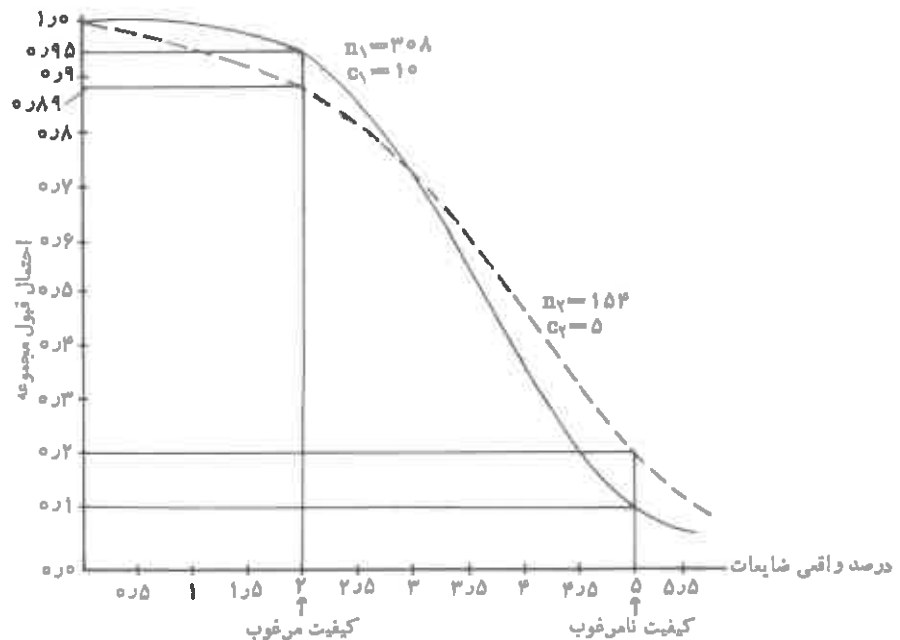
منحنی مشخصات عملیاتی^۱

قبل از آنکه وارد جزئیات انتخاب سیستم نمونه برداری شویم (به عبارت دیگر انتخاب اعداد مناسب برای n و c) بهتر است با منحنی مشخصات عملیاتی آشنا شویم. منحنی مشخصات عملیاتی نشان می‌دهد که چطور یک نمونه، نماینده مجموعه خود می‌باشد. اگر مجموعه دارای کیفیت بالا باشد (درصد معیوب کم داشته باشد) یک نمونه خوب با احتمال زیاد مجموعه را به عنوان مجموعه قابل قبول معرفی می‌کند و اگر مجموعه کیفیت پایین داشته باشد، نمونه خوب با احتمال زیاد مجموعه خود را غیر قابل قبول نشان می‌دهد. نمودار (۱-۱۲) منحنی مشخصات عملیاتی دو نمونه تکی ($n_1 = 308$; $c_1 = 10$ و $n_2 = 154$; $c_2 = 5$) را نشان می‌دهد.

همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد محور y ها نشان‌دهنده درصد واقعی ضایعات در مجموعه و محور x ها احتمال قبول یا رد مجموعه را نشان می‌دهد. به عنوان مثال اگر مجموعه‌ای با ۵ درصد خرابی ($f = 5\%$) به عنوان مجموعه نامرغوب و با ۲ درصد خرابی ($f = 2\%$) به عنوان مجموعه مرغوب تلقی شود با استفاده از نمودار شماره (۱-۱۲) می‌توان احتمال قبولی یا رد مجموعه را به دست آورد.

بدین منظور باید ابتدا از نقطه ۲٪ بر روی محور y ها عمودی اخراج کرد تا منحنی مشخصات عملیاتی نمونه مورد نظر را قطع کند و سپس از آن نقطه به محور x ها عمود کرد تا احتمال قبولی یا رد مجموعه مشخص شود. در مثال پیش احتمال قبولی مجموعه با استفاده از نمونه کوچکتر ($n = 154$ و $c = 5$) برابر ۸۹ درصد می‌باشد یعنی نمونه مذکور با احتمال ۸۹ درصد مجموعه‌ای با داشتن ۲ درصد معیوب را به عنوان مجموعه خوب نشان می‌دهد. واضح است این مجموعه با احتمال ۱۱ درصد ($100 - 89 = 11$) به عنوان

1. Operating Characteristic Curve



نمودار شماره ۱-۱۲

مشخصات مشخصات عمومی

مجموعه بد تلقی می‌شود. به عبارت دیگر احتمال اینکه يك مجموعه خوب با داشتن ۲ درصد معیوب توسط نمونه مذکور اشتباهاً به عنوان مجموعه بد تلقی می‌شود، ۱۱ درصد می‌باشد. به همین ترتیب برای نمونه بزرگتر ($n=308$, $c=10$) نیز می‌توان احتمال قبولی یا رد را مشخص کرد و براساس آن میزان اشتباه را تعیین کرد.

احتمال، بروز این نوع اشتباه در نمونه بزرگتر هم وجود دارد اما میزان وقوع آن فقط ۵٪ است، یعنی احتمال اینکه يك مجموعه خوب با داشتن ۲ درصد معیوب توسط این نمونه اشتباهاً به عنوان مجموعه بد شناخته شود ۵ درصد می‌باشد. این نوع اشتباه زمانی رخ می‌دهد که تعداد زیادی جنس معیوب به صورت غیرمتبادل در نمونه‌ای که به صورت تصادفی از يك مجموعه خوب انتخاب شده قرار گرفته و در نتیجه مجموعه با داشتن کیفیت خوب اشتباهاً رد می‌شود. درحقیقت تولیدکننده با انتخاب سیستم نمونه برداری این ریسک را قبول می‌کند که در بعضی مواقع مجموعه با داشتن کیفیت خوب اشتباهاً رد شود. این

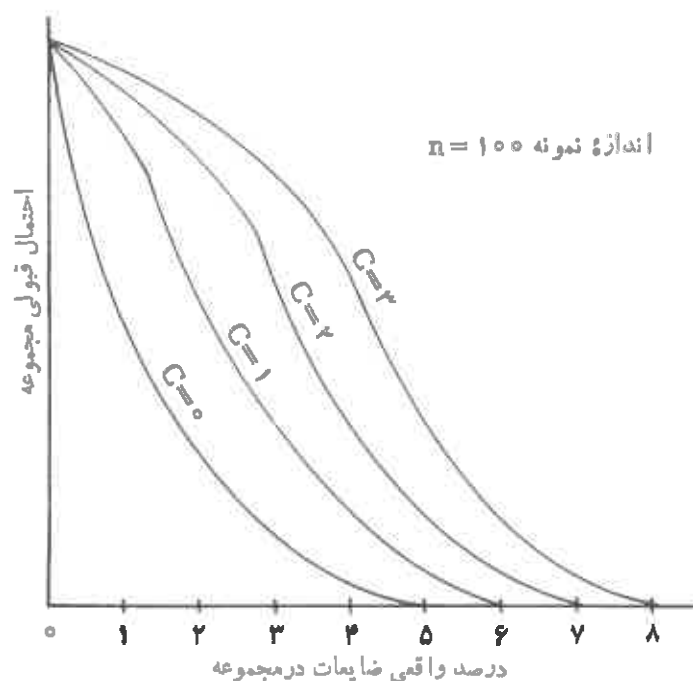
نوع ریسک را با α نشان می‌دهند و ریسک تولیدکننده^۱ می‌نامند.

نوع دیگری از اشتباه نیز ممکن است در نمونه‌گیری اتفاق بیفتد و آن زمانی است که مجموعه بد اشتباهاً به عنوان مجموعه خوب شناخته شود. در نمودار شماره (۱-۱۲) اگر از محل ۵ درصد معیوب خط عمودی اخراج کرده و از نقطه‌ای که منحنی نمونه را قطع می‌کند بر محور y ها عمود کنیم احتمال این نوع اشتباه به دست می‌آید. در مثال پیش احتمال قبولی مجموعه با استفاده از نمونه کوچکتر ۲۰ درصد می‌باشد یعنی احتمال اینکه مجموعه بد توسط نمونه کوچک اشتباهاً به عنوان مجموعه خوب تلقی شود ۲۰ درصد می‌باشد. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد احتمال بروز این نوع اشتباه با استفاده از نمونه بزرگتر ۱۰ درصد است. این نوع اشتباه زمانی اتفاق می‌افتد که تعداد زیادی جنس خوب به صورت غیرمتعادل در نمونه‌ای که به صورت تصادفی از یک مجموعه بد انتخاب شده قرار گرفته و مجموعه با داشتن کیفیت بد اشتباهاً قبول می‌شود. در این مورد نیز مصرف‌کننده این ریسک را متحمل می‌شود و به همین جهت آن را ریسک مصرف‌کننده^۲ می‌نامند و با β نشان می‌دهند. مدیر عملیاتی باید با توجه به عواملی که بعداً مورد بررسی قرار خواهد گرفت سعی کند این دو نوع ریسک را با توجه به امکانات به حداقل خود برساند.

آثار کلی مقادیر n و c در منحنی مشخصات عملیاتی

هر نمونه دارای مقادیر مشخص n و c است و یک منحنی مخصوص به خود دارد. نمونه با اندازه بزرگتر بهتر از نمونه با اندازه کوچکتر مجموعه‌های مرغوب و نامرغوب را مشخص می‌کند. نمودار (۱-۱۲) منحنی مشخصات عملیاتی برای دو نمونه با اندازه‌های مختلف سطح قبولی متفاوت را نشان می‌دهد. در هر دو نمونه، نسبت سطح قبولی (c) به تعداد نمونه (n) ثابت است $\left(\frac{c}{n} = \frac{10}{308} = \frac{5}{154}\right)$ در مورد مجموعه‌های خوب، احتمال قبولی با نمونه بزرگتر بیشتر از احتمال قبولی با نمونه کوچکتر است همچنین در مورد مجموعه‌های بد احتمال قبولی با نمونه بزرگتر کمتر از احتمال قبولی با نمونه کوچکتر است.

یکی دیگر از عواملی که در تشخیص مجموعه‌های خوب و بد مؤثر است تعیین مقدار ضایعات قابل قبول (سطح قبولی c) می‌باشد. نمودار (۱-۱۲) منحنی مشخصات عملیاتی را وقتی میزان ضایعات قابل قبول برای یک نمونه زیاد می‌شود، نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مذکور مشخص است به هر اندازه که مقدار c کمتر اختیار شود شیب منحنی



نمودار شماره ۲-۱۲

منحنی مشخصات عملیاتی برای مقادیر مختلف میزان ضایعات مورد قبول در نمونه ثابت

مشخصات عملیاتی بیشتر شده و در نتیجه کیفیت محصولات مورد کنترل بالاتر می رود (مقدار کمتری ضایعات مورد قبول می باشد).

به طور کلی هرچه اندازه نمونه بیشتر و تعداد ضایعات قابل قبول کمتر اختیار شود محصول تولید شده از کیفیت بالاتری برخوردار خواهد بود. از طرفی افزایش تعداد نمونه و کاهش تعداد ضایعات قابل قبول موجب افزایش هزینه های کنترل می شود. هدف مدیر عملیاتی آن است که تعادلی منطقی بین هزینه و کیفیت خواسته شده برقرار کند.

واضح است هرچه دقت بیشتری در نمونه گیری به کار ببریم هزینه آن بیشتر و به عکس هرچه دقت کمتری مورد نظر باشد هزینه آن نیز کمتر خواهد شد. به عبارت دیگر اگر ضررهای ناشی از قبول ضایعات مواد اولیه و یا محصول ساخته شده بیش از هزینه بازرسی تمامی اقلام کالا باشد مجموعه را تماماً بازرسی می کنیم در غیر این صورت از سیستم نمونه برداری استفاده می کنیم.

تعیین نمونه

فرض می‌کنیم نمونه‌ای به اندازه n از یک توزیع پواسون با درصد کالای معیوب P' در دست است. حال با استفاده از منحنی وجدولهای آماری می‌توان احتمال وجود کالای معیوب به مقدار C و یا کمتر را در نمونه محاسبه کرد.

جهت انتخاب اعداد مناسب برای C و n باید اطلاعات دیگری از مجموعه مورد نظر داشته باشیم. آن اطلاعات عبارتند از:

۱- سطح کیفیت مورد قبول (AQL): سطح کیفیت مورد قبول عبارت از حداکثر ضایعات مورد قبول در مجموعه می‌باشد. اگر درصد کالای معیوب در مجموعه‌ای برابر این سطح و یا کمتر از آن باشد آن مجموعه مورد قبول واقع می‌شود. همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد، حداکثر احتمال اینکه یک مجموعه با سطح کیفیت مورد قبول اشتباهاً رد شود برابر α می‌باشد (معمولاً مقدار α را ۵ درصد اختیار می‌کنند).

۲- سطح کیفیت غیر قابل قبول (LTPD): سطح کیفیت غیر قابل قبول عبارتست از حداقل میزان ضایعات در یک مجموعه غیر قابل قبول. اگر درصد کالای معیوب در مجموعه‌ای برابر این سطح و یا بیشتر از آن باشد آن مجموعه رد می‌شود. همچنین حداکثر احتمال اینکه یک مجموعه با سطح کیفیت غیر قابل قبول اشتباهاً قبول گردد برابر β می‌باشد (معمولاً مقدار β را حدود ۱۰ درصد اختیار می‌کنند).

بعد از تعیین سطح کیفیت قابل قبول و غیر قابل قبول (به عبارت دیگر تعیین مقادیر AQL و LTPD) بساید مقادیر α و β را تعیین کنیم. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.

مثال

کارخانه‌ای محموله‌ای به میزان ۱۰۰۰۰ عدد از یک قطعه بخصوص خریداری کرده است. طبق تجربیات گذشته اگر ۲ درصد قطعات خراب باشد محموله قابل قبول است و اگر ۵ درصد قطعات خراب باشند محموله غیر قابل قبول می‌باشد. سیستم نمونه‌برداری را چگونه اختیار کنیم تا محموله مرغوب، با احتمال ۹۵ درصد و محموله بد با احتمال فقط ۱۰ درصد مورد قبول واقع شود.

در مثال بالا $\alpha = 0.05$ انتخاب شده است زیرا محموله خوب با احتمال ۹۵ درصد

1. Acceptable Quality level
2. Lot tolerance Percent Defective

مورد قبول واقع می‌شود بنابراین احتمال اینکه يك محموله خوب اشتباهاً رد شود برابر است با:

$$1 - 0.95 = 0.05$$

$$\beta = 0.10$$

سایر مفروضات مثال عبارتند از:

$$AQL = 0.02$$

$$LTPD = 0.05$$

برای تعیین نمونه موردنظر باید مقادیر c و n را محاسبه کنیم. بدین منظور می‌توان از جدول شماره (۱-۱۲) که براساس توزیع پواسون می‌باشد استفاده کرد. ابتدا نسبت $LTPD$ به AQL را محاسبه می‌کنیم که این نسبت در مثال عبارتست از:

$$\frac{0.05}{0.02} = 2.5$$

در جدول مذکور نسبت ۲٫۵ در ردیف یازدهم در مقابل $c = 10$ قرار دارد. حال اندازه نمونه (n) را طوری انتخاب می‌کنیم که با احتمال ۰٫۰۵ مجموعه‌ای که دارای سطح کیفیت ($AQL = 0.02$) است مورد قبول واقع شود و همچنین با احتمال فقط ۱۰ درصد مجموعه‌ای که دارای ($LTPD = 0.05$) است مورد قبول واقع شود. بدین منظور دو نوع محاسبه باید انجام گیرد ابتدا مقادیر $P'_{n,0.95}$ را برای $c = 10$ از جدول پیدا و بر مقدار $AQL = 0.02$ تقسیم می‌کنیم:

$$n = \frac{P'_{n,0.95}}{AQL} = \frac{6.169}{0.02} = 308$$

دومین محاسبه شبیه محاسبه نوع اول است. مقدار $P'_{n,0.10}$ را برای $c = 10$ از جدول پیدا و بر مقدار $LTPD = 5\%$ تقسیم می‌کنیم:

$$n = \frac{P'_{n,0.10}}{LTPD} = \frac{15.71}{0.05} = 308$$

در مثال فوق اندازه نمونه در هر دو محاسبه برابر ۳۰۸ برای $c = 10$ به دست آمده است و این مسأله کاملاً اتفاقی است. معمولاً یافتن يك نمونه که بتواند به طور همزمان اثرات هر چهار عامل α ، β ، AQL و $LTPD$ را دربر داشته باشد به ندرت امکان پذیر است. در مثال گذشته نمونه به دست آمده، هم می‌تواند با احتمال ۰٫۰۵ مجموعه خوب و با احتمال فقط ۱۰ درصد مجموعه بد را مورد قبول نشان دهد. در مواقعی که اندازه نمونه در

سطح ضایعات مورد قبول c	$P'n=0.095$	$P'n=0.10$	$\frac{P'n_{0.10}}{P'n_{0.095}} = \frac{LTPD}{AQL}$
0	0.0650	0.030	45.10
1	0.0355	0.089	10.96
2	0.0818	0.032	6.50
3	0.0366	0.068	2.89
4	0.0970	0.099	2.06
5	0.0613	0.028	3.55
6	0.0285	0.053	3.21
7	0.0981	0.077	2.96
8	0.0695	0.099	2.77
9	0.0425	0.021	2.62
10	0.0169	0.041	2.50
11	0.0922	0.060	2.40
12	0.0690	0.078	2.31
13	0.0462	0.096	2.22
14	0.0246	0.013	2.18
15	0.0054	0.029	2.12

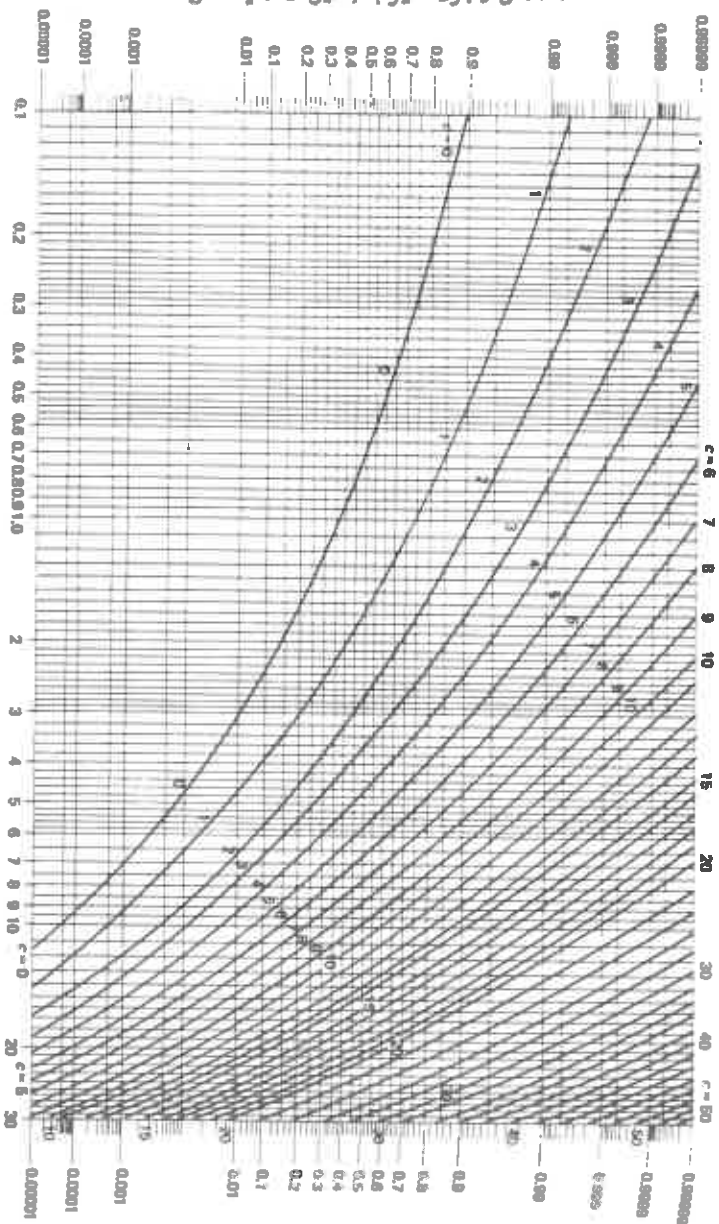
جدول شماره ۱-۱۲

جدول انتخاب نمونه (مقادیر c و n) زمانی که $\alpha = 0.05$ و $\beta = 0.10$ باشد.

* $P'n_{0.095}$ درصد کالای معیوب در نمونه‌ای که مجموعه خوب را با احتمال ۰.۰۹۵ قابل قبول نشان می‌دهند.

** $P'n_{0.10}$ درصد کالای معیوب در نمونه‌ای که مجموعه بد را با احتمال ۰.۱۰ قابل قبول نشان می‌دهند.

احتمال وجود معیوب به میزان G یا کمتر



تعداد معیوب مورد انتظار در نمونه $(P'n)$

نمودار شماره ۱۳-۳

منحنیهای توزیع پواسون

دو محاسبه فوق با هم متفاوت باشد باید مقادیر α و یا β را تغییر داد. اما از طرفی اگر α و یا β تغییر کنند دیگر نمی توان از جدول (۱۲-۱) استفاده کرد. چون جدول مذکور فقط برای $\alpha = 0.05$ و $\beta = 0.10$ می باشد بنابراین در چنین مواردی از منحنیهای توزیع پوآسون نمودار شماره (۱۲-۳) استفاده می شود. منحنیهای مذکور نشان دهنده احتمال وجود معیوب به میزان c یا کمتر در نمونه ای به اندازه n که از یک مجموعه بسیار بزرگ انتخاب شده اند می باشد. درصد معیوب در مجموعه مذکور برابر P' است.

مثال:

فرض کنید می خواهیم نمونه ای انتخاب کنیم که $\alpha = 0.05$ ، $AQL = 0.02$ و $LTPD = 0.06$ باشد. در جدول (۱۲-۱) نسبت $\frac{LTPD}{AQL}$ برابر است با:

$$\frac{LTPD}{AQL} = \frac{0.06}{0.02} = 3$$

نسبت فوق بین $c = 6$ و $c = 7$ می باشد. بنابراین برای انتخاب یک نمونه واحد باید تغییری در α یا β به عمل آورد. این تغییرات برای $c = 6$ و $c = 7$ در جدول (۱۲-۲) طی چهار نمونه نشان داده شده است.

در نمونه ۱ برای $c = 6$ مقدار β همان مقدار مورد نظر یعنی ۰.۱۰ انتخاب شده، اما α باید تغییر یابد و در نتیجه برابر ۰.۰۵ نخواهد بود. در نمونه ۲، $c = 6$ است و α برابر مقدار مورد نظر یعنی ۰.۰۵ انتخاب شده، اما β برابر ۰.۱۰ نمی باشد. همین نحوه انتخاب برای نمونه های ۳ و ۴ با $c = 7$ انجام گرفته است.

حال باید مقدار تغییرات α و یا β را در هر چهار نمونه فوق به دست آوریم مثلاً در نمونه شماره ۱ ($c = 6$ و $n = 175$) $\beta = 0.10$ می باشد. برای به دست آوردن α ابتدا مقدار $P'n$ را محاسبه می کنیم و سپس با استفاده از منحنی پوآسون احتمال قبول مجموعه را به دست می آوریم.

$$P'n = (AQL)(n) = (0.02)(175) = 3.50$$

عدد ۳.۵ را در پایین نمودار پوآسون پیدا کرده از آن نقطه خطی عمود بر محور $P'n$ رسم می کنیم تا منحنی $c = 6$ را قطع کند. اکنون احتمال قبولی مجموعه را در روی محور y ها می خوانیم. این عدد ۰.۹۴ می باشد. از طرفی چون α احتمال عدم قبول مجموعه

c=۷		c=۶	
نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱
$\alpha = 0.005$	$\beta = 0.10$	$\alpha = 0.005$	$\beta = 0.10$
تغییر یافته β	تغییر یافته α	تغییر یافته β	تغییر یافته α
$n = \frac{P'n \cdot 0.095}{AQL}$	$n = \frac{P'n \cdot 0.10}{LTPD}$	$n = \frac{P'n \cdot 0.095}{AQL}$	$n = \frac{P'n \cdot 0.10}{LTPD}$
$n = \frac{3981}{0.002}$	$n = \frac{1177}{0.006}$	$n = \frac{328}{0.002}$	$n = \frac{1053}{0.006}$
$n = 199$	$n = 196$	$n = 164$	$n = 175$

جدول شماره ۲-۱۲

خوب می باشد بنابراین:

$$\alpha = 1 - 0.992 = 0.006$$

در نمونه شماره ۲ (c=۶ و n=۱۶۴) $\alpha = 0.005$ می باشد بنابراین:

$$P'n = (LTPD)(n) = (0.006)(164) = 984$$

با استفاده از نمودار پواسون احتمال قبولی مجموعه ای که دارای سطح کیفیت

LTPD=0.006 باشد برابر است با

$$\beta = 0.15$$

به همین ترتیب می توان مقادیر α و β را که تغییر کرده اند برای بقیه نمونه ها نیز محاسبه کرد. نتیجه این محاسبات در جدول (۲-۱۲) آمده است. همان طور که ملاحظه می شود با وجود اینکه مشخصات هر چهار نمونه نزدیک به مشخصات خواسته شده هستند ولی هیچ یک دقیقاً همان مشخصات را ندارند. مدیریت از بین نمونه های مذکور باید آن را که مشخصاتی نزدیکتر به مشخصات مورد نظر دارد انتخاب کند. در مورد مثال فوق نمونه شماره ۴ مناسبترین نمونه می باشد زیرا مشخصات آن ($\beta = 0.09$ و $\alpha = 0.005$) به مشخصات خواسته شده نزدیکتر است.

نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
$\alpha = 0.06$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.07$	$\alpha = 0.05$
$\beta = 0.10$	$\beta = 0.15$	$\beta = 0.10$	$\beta = 0.09$
$n = 175$	$n = 164$	$n = 196$	$n = 199$
$c = 6$	$c = 6$	$c = 7$	$c = 7$

جدول شماره ۳-۱۲

همان طور که قبلاً گفته شده جدول (۱۲-۱) برای $\alpha = 0.05$ و $\beta = 0.10$ تنظیم شده است. حال اگر α و β مورد نظر با مقادیر مذکور فرق داشته باشد برای تعیین نمونه مورد قبول به جای استفاده از منحنیهای توزیع پوآسون می توان از جدولی که براساس توزیع پوآسون تنظیم شده جدول (۱۲-۴) نیز استفاده کرد. نحوه استفاده از جدول مذکور در مثال زیر مشخص شده است.

مثال:

فرض کنید در يك مجموعه:

$$\beta = 0.01 \text{ و } \alpha = 0.05 \text{ و } LTPD = 0.10 \text{ و } AQL = 0.02$$

برای تعیین نمونه ای که گویای مجموعه بالا باشد، مراحل زیر را باید طی کرد:

۱- نسبت $\frac{LTPD}{AQL}$ را محاسبه کنید. این نسبت برای مثال فوق برابر است با:

$$\frac{LTPD}{AQL} = \frac{0.10}{0.02} = 5$$

۲- در جدول (۱۲-۴) ردیفی که احتمال قبولی آن (P_α) برابر β باشد را پیدا کنید، این ردیف را ردیف β بنامید و به μ_β نشان دهید؛ همچنین ردیف $P_\alpha = 1 - \alpha$ را نیز مشخص کنید. این ردیف را نیز ردیف ($1 - \alpha$) بنامید و با μ_α نشان دهید در مورد مثال فوق μ_β در ردیف یکم و μ_α در ردیف نهم قرار دارد.

۳- نسبت μ_β به μ_α را در جدول برای مقادیر مختلف $c = 0, 1, 2, \dots$

به ترتیب به دست آورید. در اولین جوابی که مساوی یا کمتر از نسبت $\frac{LTPD}{AQL}$

سطح قبولی C										
میزان معیوب در نمونه $\mu = nP$										
احتمال قبولی P_α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.010	4.6052	6.8383	8.4059	10.0450	11.6046	13.1085	14.5706	16.0000	17.4027	18.7831
0.025	3.6889	5.5716	7.2247	8.7672	10.2416	11.6683	13.0595	14.4227	15.7632	17.0848
0.050	2.9957	4.7439	6.2958	7.7537	9.1535	10.5130	11.8424	13.1481	14.4346	15.7052
0.100	2.3026	3.8897	5.3223	6.6808	7.9836	9.2747	10.5321	11.7709	12.9947	14.2060
0.200	1.6094	2.9943	4.2790	5.5150	6.7210	7.9060	9.0764	10.2325	11.3796	12.5188
0.500	0.6931	1.6783	2.6741	3.6721	4.6709	5.6702	6.6696	7.6692	8.6690	9.6687
0.800	0.2231	0.8244	1.5350	2.2968	3.0895	3.9037	4.7337	5.5761	6.4285	7.2892
0.900	0.1054	0.5318	1.1021	1.7448	2.4326	3.1519	3.8946	4.6561	5.4325	6.2213
0.950	0.0513	0.3554	0.8177	1.3663	1.9701	2.6130	3.2853	3.9808	4.6952	5.4254
0.975	0.0253	0.2422	0.6187	1.0899	1.6235	2.2019	2.8144	3.4536	4.1154	4.7954
0.990	0.0101	0.1468	0.4360	0.8233	1.2791	1.7653	2.3002	2.9061	3.5075	4.1302
										4.7712

جدول شماره ۴-۱۲

(برای ۵) می باشد عملیات را متوقف کنید. در مثال فوق نسبت مذکور

$$\frac{460520}{50513} = 89 \quad \text{برای } c=0 \text{ برابر با:}$$

$$\frac{66383}{53554} = 187 \quad \text{برای } c=1 \text{ برابر با:}$$

$$\frac{84059}{58177} = 103 \quad \text{برای } c=2 \text{ برابر با:}$$

$$\frac{100450}{13663} = 73 \quad \text{برای } c=3 \text{ برابر با:}$$

$$\frac{116046}{19701} = 589 \quad \text{برای } c=4 \text{ برابر با:}$$

$$\frac{131085}{26130} = 502 \quad \text{برای } c=5 \text{ برابر با:}$$

$$\frac{145706}{32853} = 444 \quad \text{برای } c=6 \text{ برابر با:}$$

چون ۴۴۴ کمتر از ۵ می باشد عملیات را در اینجا متوقف می کنیم.
۴- مشخصات نمونه مورد نظر را برای سطح قبولی به دست آمده (c) محاسبه کنید.

در مورد مثال فوق چون نسبت $\frac{LTPD}{AQL}$ بین $c=5$ و $c=6$ می باشد به روشی

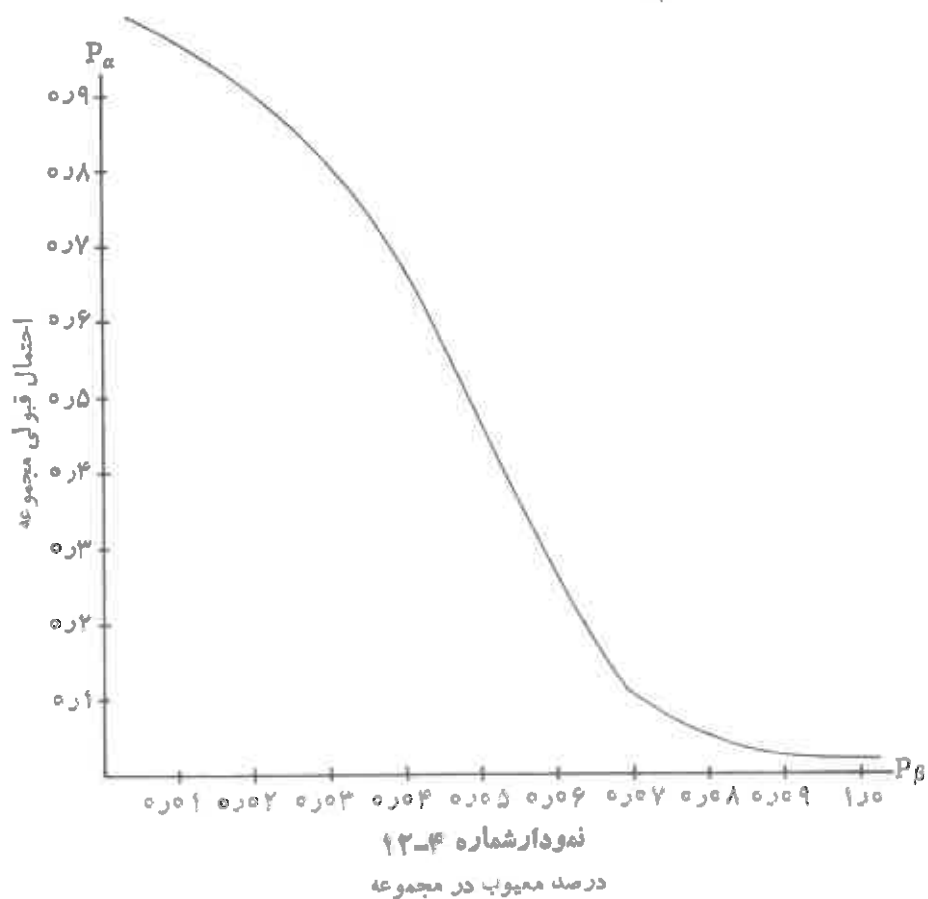
که قبلاً توضیح داده شد نمونه های مختلف را مورد ارزیابی قرار می دهیم:

c=5		c=6	
نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱
$\alpha = 0.05$	$\beta = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\beta = 0.01$
$n = \frac{\mu_\alpha}{AQL}$	$n = \frac{\mu_\beta}{LTPD}$	$n = \frac{\mu_\alpha}{AQL}$	$n = \frac{\mu_\beta}{LTPD}$
$n = \frac{26130}{0.02}$	$n = \frac{131085}{0.10}$	$n = \frac{329}{0.02}$	$n = \frac{1457}{0.10}$
$n = 130$	$n = 131$	$n = 165$	$n = 146$

حال می‌توان α و β را برای هر يك از نمونه‌ها تعیین کرد. این مقادیر عبارتند از:

نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
$\alpha = 0.03$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.05$
$\beta = 0.01$	$\beta = 0.005$	$\beta = 0.01$	$\beta = 0.005$
$n = 126$	$n = 165$	$n = 131$	$n = 130$
$c = 6$	$c = 6$	$c = 5$	$c = 5$

(محاسبات مربوط به تعیین α و β برای هر يك از نمونه‌ها به روشی که قبلاً توضیح داده شد انجام گرفته است).



۵- برای رسم منحنی مشخصات عملیاتی (OC) با استفاده از جدول (۴-۱۲) به شرح زیر عمل می‌کنیم:

- ابتدا سطح قبولی را در جدول (۴-۱۲) مشخص می‌کنیم و مقادیر μ_β را بر اندازه نمونه تقسیم می‌کنیم. مقادیر حاصل از این محاسبه را بر روی محور xها نشان می‌دهیم.

- احتمال قبولی (P_α) که در ستون سمت چپ جدول مذکور قرار دارد مقادیر محور yها را تشکیل می‌دهد.

به عنوان مثال منحنی OC برای نمونه شماره ۱ در نمودار ۴-۱۲ آمده است.

چون در نمونه فوق $C=6$ می‌باشد نسبت‌های μ_β به n و احتمالات قبولی p_α عبارتند از:

$\frac{\mu_\beta}{n}$	P_α
$\frac{127506}{126} = 0.1$	0.01
$\frac{130595}{126} = 0.09$	0.025
$\frac{118222}{126} = 0.08$	0.05
$\frac{108321}{126} = 0.07$	0.1
$\frac{90752}{126} = 0.04568$	0.2
$\frac{66696}{126} = 0.06216$	0.5
$\frac{27337}{126} = 0.03242$	0.8
.....	
$\frac{23302}{126} = 0.01596$	0.99

نمونه‌گیری دو مرحله‌ای^۱

آنچه تا به حال در مورد نمونه‌گیری بیان شد راجع به نمونه‌های تکی بود که در آن تصمیم‌گیری در مورد قبول یا رد يك مجموعه براساس انتخاب يك نمونه انجام می‌گرفت. نوع دیگری از نمونه‌گیری، نمونه‌گیری دومرحله‌ای است که در آن دو سطح قبولی C_1 و C_2 وجود دارد به طوری که $C_2 > C_1$ است. اگر تعداد کالاهای معیوب در نمونه اول n_1 برابر k_1 باشد آن گاه:

۱- در صورتی که $k_1 \leq C_1$ باشد مجموعه قبول می‌شود.

۲- در صورتی که $k_1 > C_1$ باشد مجموعه رد می‌شود.

۳- در صورتی که $C_1 < k_1 \leq C_2$ باشد، يك نمونه دیگر به اندازه n_2 از مجموعه انتخاب می‌شود. حال تصمیم‌گیری براساس ترکیب دو نمونه n_1 و n_2 صورت می‌گیرد به عبارت دیگر نمونه‌ای به اندازه $n_1 + n_2$ را مورد بررسی قرار می‌دهیم. اگر تعداد کالای معیوب در نمونه $n_1 + n_2$ برابر $k_1 + k_2$ باشد آن گاه:

۳۱- اگر $(k_1 + k_2) \leq C_2$ باشد مجموعه قبول می‌شود.

۳۲- اگر $(k_1 + k_2) > C_2$ باشد مجموعه رد می‌شود.

به عنوان مثال يك مجموعه ۱۰۰۰ تائی با مشخصات:

$$\begin{cases} N = 1000 \\ n_1 = 36 \\ C_1 = 0 \\ n_2 = 59 \\ C_2 = 3 \end{cases}$$

را می‌توان، به صورت زیر توجیه کرد:

۱- نمونه ۳۶ تائی از مجموعه ۱۰۰۰ تائی مورد بازرسی قرار می‌گیرد.

۲- اگر در نمونه انتخاب شده تعداد کالاهای معیوب برابر صفر باشد مجموعه مورد قبول واقع می‌شود.

۳- اگر نمونه انتخاب شده بیشتر از ۳ عدد کالای معیوب داشته باشد مجموعه کلاً رد می‌شود.

۴- اگر نمونه مذکور دارای ۱، ۲ و یا ۳ عدد کالای معیوب باشد نمونه دیگری به اندازه ۵۹ عند انتخاب می‌شود.

1. double sampling

- ۵- اگر تعداد کالای معیوب در مجموع دو نمونه فوق (یعنی نمونه ۹۵ تایی) کمتر یا مساوی ۳ باشد مجموعه مورد قبول واقع می شود.
- ۶- اگر تعداد کالای معیوب در مجموع دو نمونه فوق بیشتر از ۳ باشد مجموعه کلاً رد می شود.

تجزیه و تحلیل نمونه گیری دومرحله ای

در مورد قبول و یا رد مجموعه در نمونه گیری دومرحله ای چهار حالت ممکن است اتفاق افتند.

۱- مجموعه بعد از اولین نمونه گیری مورد قبول واقع شود.

۲- مجموعه بعد از اولین نمونه گیری رد شود.

۳- مجموعه بعد از دومین نمونه گیری قبول شود.

۴- مجموعه بعد از دومین نمونه گیری رد شود.

نمودار (۵-۱۲) نمونه برداری دومرحله ای برای مثال پیش را نشان می دهد.

بیانگر احتمالی قبولی مجموعه بعد از اولین نمونه (احتمال

$$\begin{cases} N=1000 \\ n=36 \text{ منحنی الف} \\ C=0 \end{cases}$$

صفر عدد معیوب در اولین نمونه) می باشد.

نشان دهنده احتمال رد نکردن مجموعه پس از اولین

$$\begin{cases} N=1000 \\ n=36 \text{ منحنی ج} \\ C=3 \end{cases}$$

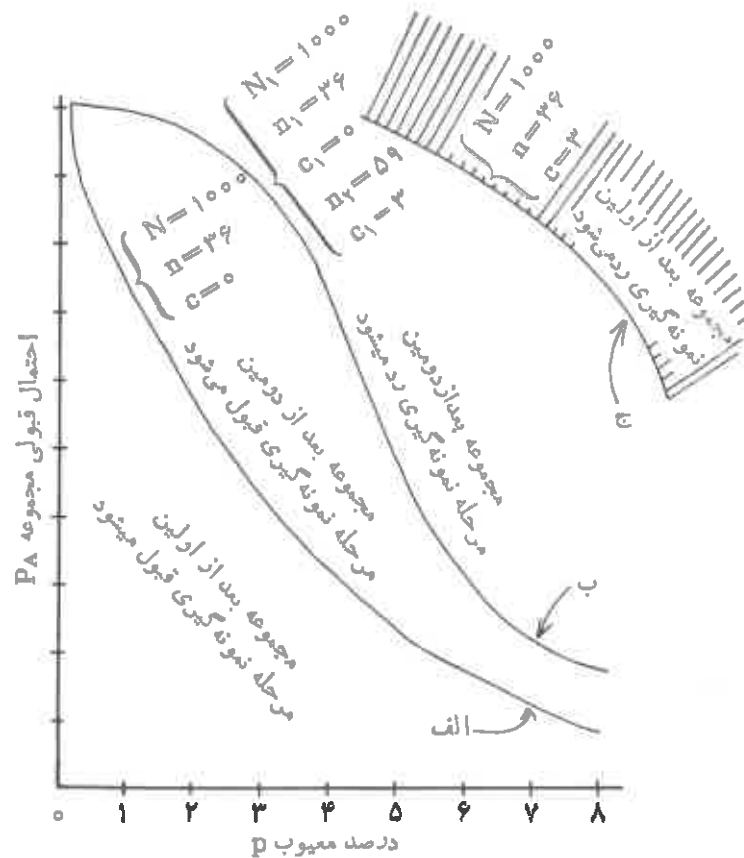
نمونه برداری می باشد.

سطح بین دو منحنی الف و ج بیانگر این واقعیت است که نتایج به دست آمده از بازرسی نمونه اول (یعنی نمونه ۳۶ تایی) برای قبولی و یا رد مجموعه کافی نیست و نمونه برداری دوم (نمونه ۵۹ تایی) باید انجام گیرد.

مجموعه های قابل قبول را از مجموعه های غیر قابل قبول پس

$$\begin{cases} N=1000 \\ n=95 \text{ منحنی ب} \\ C=3 \end{cases}$$

از دومین مرحله نمونه برداری متمایز می کند. به عبارت دیگر سطح بین منحنی الف و ب



نمودار شماره ۵-۱۴

نمونه برداری دو مرحله ای

احتمال قبولی مجموعه و سطح بین دو منحنی ب و ج احتمال رد کردن مجموعه پس از دومین نمونه برداری می باشد. سطح هاشور زده پس از منحنی ج متعلق به آن نمونه ۳۶ تایی می باشد که تعداد معیوبش بیشتر از ۳ بود و بنابراین مجموعه پس از اولین مرحله نمونه برداری رد می شود. برای محاسبه نقاط منحنی مشخصاتی نمونه گیری دو مرحله ای باید احتمال قبولی مجموعه را پس از دومین نمونه برداری محاسبه کرد. ذیلا محاسبات لازم برای به دست آوردن یک نقطه از این منحنی در محل یک درصد معیوب در مجموعه نشان داده شده است:

مجموعه مذکور در حالات زیر مورد قبول خواهد بود:

– تعداد معیوب در اولین نمونه برابر صفر باشد.

– یک عدد معیوب در اولین نمونه همراه با صفر، ۱ و یا ۲ عدد معیوب در دومین

نمونه باشد.

— دو عدد معیوب در اولین نمونه همراه با صفر و یا ۱ عدد معیوب در دومین

نمونه باشد.

— سه عدد معیوب در اولین نمونه همراه با صفر عدد معیوب در دومین نمونه باشد.

برای محاسبه احتمال وقوع هر يك از حالات بالا باید احتمال وجود صفر، ۱، ۲ و

یا ۳ عدد معیوب در اولین نمونه ۳۶ تائی را محاسبه کرد.

تعداد معیوب در مجموعه برابر است با:

$$M = P'N$$

که در رابطه بالا P' درصد معیوب در مجموعه و N تعداد مجموعه می باشد. پس:

$$M = (0.01)(1000) = 10$$

احتمال وجود صفر، ۱، ۲ و یا ۳ عدد معیوب در اولین نمونه با استفاده از قانون احتمالات

ترکیبی به ترتیب برابر است با:

$$P_0 = \frac{C_{n-M}^{N-M} C_0^M}{C_n^N}$$

$$= \frac{C_{36}^{990} C_0^{10}}{C_{36}^{1000}} = \frac{C_{36}^{990} C_0^{10}}{C_{36}^{1000}} = \frac{990! 36! 964!}{954! 36! 1000!} = 0.0092$$

$$P_1 = \frac{C_{n-M}^{N-M} C_1^M}{C_n^N} = \frac{C_{35}^{990} C_1^{10}}{C_{36}^{1000}} = \frac{990! 36! 964! (10)}{955! 35! 1000!} = 0.0291$$

$$P_2 = \frac{C_{n-M}^{N-M} C_2^M}{C_n^N} = \frac{C_{34}^{990} C_2^{10}}{C_{36}^{1000}} = \frac{990! 36! 964! (45)}{956! 34! 1000!} = 0.0043$$

$$P_3 = \frac{C_{n-M}^{N-M} C_3^M}{C_n^N} = \frac{C_{33}^{990} C_3^{10}}{C_{36}^{1000}} = \frac{990! 36! 964! (120)}{957! 33! 1000!} = 0.0004$$

فرض کنید دقیقاً يك عدد معیوب در نمونه اول مشاهده شده است. بنا بر این دومین

نمونه برداری باید انجام گیرد این نمونه به اندازه ۵۷ عدد از باقی مانده مجموعه پس از

نمونه گیری اول (۳۶ — ۱۰۰۰) که ۹۶۴ عدد است انتخاب می شود باقی مانده مجموعه

* برای محاسبه فاکتوریل اعداد مختلف می توان از جدول لگاریتم که در ضمیمه آخر کتاب آمده است استفاده کرد.

دارای ۹ عدد معیوب می باشد زیرا از ۱۰ عدد معیوب در کل مجموعه اول، يك عدد در نمونه اول ظاهر شده است. بنابراین احتمال وجود صفر، ۱ و یا ۲ عدد معیوب در نمونه دوم به ترتیب برابر است با:

$$P_0 = \frac{C_{n-M}^N C_M^M}{C_n^N}$$

در فرمول بالا

$N = ۹۶۴$ (باقی مانده مجموعه پس از اولین نمونه گیری)

$M = ۹$ (باقی مانده معیوب در باقی مانده مجموعه) و $n = ۵۹$ (دومین نمونه)

پس:

$$P_0 = \frac{C_{۵۹-۹}^{۹۶۴-۹} \cdot C_9^9}{C_{۵۹}^{۹۶۴}} = \frac{C_{۵۰}^{۹۵۵} C_9^9}{C_{۵۹}^{۹۶۴}} = \frac{۹۵۵! ۵۹! ۹۰۵!}{۸۹۶! ۵۹! ۹۶۴!} = ۰.۰۵۶۵$$

$$P_1 = \frac{C_{n-M}^N C_M^M}{C_n^N} = \frac{C_{۵۹-۱}^{۹۶۴-۱} C_1^1}{C_{۵۹}^{۹۶۴}} = \frac{C_{۵۸}^{۹۵۵} C_1^1}{C_{۵۹}^{۹۶۴}} = \frac{۹۵۵! ۵۹! ۹۰۵! (۱)}{۸۹۷! ۵۸! ۹۶۴!}$$

$$= ۰.۰۳۳۵$$

$$P_2 = \frac{C_{n-M}^N C_M^M}{C_n^N} = \frac{C_{۵۹-۲}^{۹۶۴-۲} C_2^2}{C_{۵۹}^{۹۶۴}} = \frac{C_{۵۷}^{۹۵۵} C_2^2}{C_{۵۹}^{۹۶۴}} = \frac{۹۵۵! ۵۹! ۹۰۵! (۳۶۰)}{۸۹۸! ۵۷! ۹۶۴!}$$

$$= ۰.۰۰۸۶$$

احتمال وجود صفر، ۱ و یا ۲ معیوب در دومین نمونه برابر مجموع احتمالات فوق

می باشد یعنی:

$$= \text{احتمال وجود صفر، ۱ و یا ۲ معیوب در دومین نمونه}$$

$$= ۰.۰۵۶۵ + ۰.۰۳۳۵ + ۰.۰۰۸۶ = ۰.۰۹۸۶$$

اگر دقیقاً ۲ معیوب در نمونه اول وجود داشته باشد. احتمال وجود صفر و یا يك عدد

معیوب در دومین نمونه برابر است با:

$$P_e = \frac{C_{n-M}^N C_M^M}{C_n^N}$$

در اینجا نیز $N = ۹۶۴$ ، $M = ۸$ و $n = ۵۹$ می باشد بنابراین:

$$P_0 = \frac{C_{59}^{964-8} C_0^8}{C_{59}^{964}} = \frac{C_{59}^{956} C_0^8}{C_{59}^{964}} = \frac{956! 59! 905!}{897! 59! 964!} = 0.0602$$

$$P_1 = \frac{C_{59-1}^{N-M} C_1^M}{C_{59}^N} = \frac{C_{58}^{956} C_1^8}{C_{59}^{964}} = \frac{956! 59! 905! (8)}{898! 58! 964!} = 0.0316$$

بنابراین احتمال وجود صفر و یا يك عدد معيوب در مجموعه برابر است با:

$$0.0602 + 0.0316 = 0.0918$$

همچنین اگر دقیقاً سه معيوب در نمونه اول مشاهده شود احتمال وجود صفر عدد معيوب در دومین نمونه برابر است با:

$$P_0 = \frac{C_{59}^{N-M} C_0^M}{C_{59}^N}$$

که در این مورد نیز $N=964$ ، $M=7$ و $n=59$ می باشد بنابراین:

$$P_0 = \frac{C_{59}^{964-7} C_0^7}{C_{59}^{964}} = \frac{C_{59}^{957} C_0^7}{C_{59}^{964}} = \frac{957! 59! 905!}{898! 59! 964!} = 0.0622$$

حال با استفاده از قانون احتمالات شرطی^۱ می توان احتمال قبولی مجموعه را در هر يك از حالات زیر محاسبه کرد:

۱- احتمال وجود صفر عدد معيوب در اولین نمونه برابر است با: ۰.۰۶۹۲

۲- احتمال وجود يك عدد معيوب در اولین نمونه همراه با صفر، يك و یا دو عدد

معيوب در دومین نمونه:

$$(0.0261)(0.0918) = 0.0257$$

۳- احتمال وجود دو عدد معيوب در اولین نمونه همراه با صفر و یا يك عدد معيوب

در دومین نمونه:

$$(0.0043)(0.0918) = 0.0039$$

۴- احتمال وجود سه عدد معيوب در اولین نمونه همراه با صفر عدد معيوب در

دومین نمونه برابر است با:

$$(0.0004)(0.0622) = 0.0003$$

بنابراین احتمال قبولی مجموعه ای که دارای يك درصد معيوب باشد برابر است با:

1. Conditional Probability

$$۰۰۹۹۱ = ۰۰۵۰۳ + ۰۰۳۹ + ۰۰۲۵۷ + ۰۰۶۹۲$$

همان‌طوری که ملاحظه شد میزان محاسبات بسیار زیاد است و برای به‌دست آوردن هر يك از نقاط منحنی فوق باید تمامی محاسبات را دوباره انجام داد. اما می‌توان با قبول مقداری تقریب، میزان محاسبات را به مقدار زیادی کاهش داد. با این فرض که نمونه‌های انتخاب شده از يك مجموعه بسیار بزرگ هستند می‌توان از توزیع بینم^۱ استفاده کرد و از آنجایی که توزیع پواسون يك تقریب قابل قبول از توزیع بینم می‌باشد می‌توان برای محاسبه احتمال قبولی مجموعه‌های مورد بررسی از جدول توزیع پواسون که در انتهای کتاب آمده استفاده کرده برای استفاده از جدول مذکور باید درصد معیوب در نمونه را محاسبه کرد یعنی $np' = ۰۰۳۶ = ۳۶(۰۰۱)$ به جهت اینکه $np' = ۰۰۳۶$ در جدول فوق بین اعداد $np' = ۰۰۳۵$ و $np' = ۰۰۴۰$ قرار دارد می‌توان نتیجه گرفت:

$$P_0 = ۰۰۶۹۸$$

$$P_{(۱ \text{ یا کمتر})} = ۰۰۹۴۸$$

$$P_1 = ۰۰۹۴۸ - ۰۰۶۹۸ = ۰۰۲۵۰$$

$$P_{(۲ \text{ یا کمتر})} = ۰۰۹۹۴$$

$$P_2 = ۰۰۹۹۴ - ۰۰۹۴۸ = ۰۰۰۴۶$$

$$P_{(۳ \text{ یا کمتر})} = ۱۰۰۰۰$$

$$P_3 = ۱۰۰۰۰ - ۰۰۹۹۴ = ۰۰۰۰۶$$

اگر يك معیوب در نمونه اول وجود داشته باشد محاسبات برای دومین نمونه باید براساس $np' = (۵۹)\left(\frac{۹}{۹۶۴}\right) = ۰۰۵۵$ انجام گیرد. بنابراین با استفاده از جدول داریم:

$$P_{(۲ \text{ یا کمتر})} = ۰۰۹۸۲$$

اگر دو معیوب در نمونه اول وجود داشته باشد بنابراین:

$$np' = (۵۹)\left(\frac{۸}{۹۶۴}\right) = ۰۰۴۹$$

با استفاده از جدول داریم:

$$P_{(۱ \text{ یا کمتر})} = ۰۰۹۱۳$$

1. Binomial distribution

و همچنین اگر سه عدد معیوب در اولین نمونه ظاهر شود بنا بر این:

$$np' = (59) \left(\frac{7}{964} \right) = 0.43$$

$$P_0 = 0.648$$

با استفاده از احتمالات به دست آمده می توان احتمال قبولی مجموعه را محاسبه کرد.

— احتمال صفر معیوب در نمونه اول: ۰.۶۴۸

— احتمال يك عدد معیوب در اولین نمونه و صفر، يك و یا ۲ عدد معیوب در

دومین نمونه:

$$(0.250)(0.982) = 0.246$$

— احتمال دو عدد معیوب در اولین نمونه و صفر و یا يك عدد معیوب در دومین نمونه:

$$(0.046)(0.913) = 0.042$$

— احتمال سه عدد معیوب در اولین نمونه و صفر عدد معیوب در دومین نمونه:

$$(0.006)(0.648) = 0.004$$

بنابر این احتمال قبولی مجموعه ای با يك درصد معیوب برابر است با:

$$0.648 + 0.246 + 0.042 + 0.004 = 0.940$$

با مقایسه نتایج حاصل از روش محاسبه دقیق و استفاده از توزیع پواسون ملاحظه می کنیم که ضمن ساده بودن محاسبات در روش دوم نتیجه آن بسیار نزدیک به نتیجه حاصل از روش طولانی اول است. البته ممکن است در مثالهای دیگری نتایج به این اندازه نزدیک به هم نباشد ولی برای استفاده های عملی روش دوم شیوه ساده، سریع و قابل قبول می باشد.

نمونه گیری چند مرحله ای^۱

در نمونه گیری چند مرحله ای تصمیم گیری در مورد قبول یا رد مجموعه به کمک چند نمونه انجام می شود. طریقه به دست آوردن نقاط منحنی OC برای نمونه گیری چند مرحله ای شبیه نمونه گیری دو مرحله ای می باشد. فرض کنید يك نمونه گیری ۷ مرحله ای به صورت جدول شماره (۵-۱۲) در دست باشد.

شماره نمونه	تعداد اقلام در نمونه	تعداد تراکمی اقلام	عدد قبولی	عدد ردی
۱	۲۰	۲۰	*	۲
۲	۲۰	۴۰	۰	۳
۳	۲۰	۶۰	۱	۳
۴	۲۰	۸۰	۲	۴
۵	۲۰	۱۰۰	۲	۴
۶	۲۰	۱۲۰	۲	۴
۷	۲۰	۱۴۰	۳	۴

جدول شماره ۵-۱۲

در زیر سلسله محاسبات لازم برای به دست آوردن يك نقطه از منحنی OC در محل ۲ درصد معیوب انجام می شود. برای سادگی محاسبات فرض می شود مجموعه بزرگ است به طوری که میزان درصد معیوب در مجموعه بعد از هر نمونه گیری تغییر محسوسی نمی کند. با توجه به این فرض محاسبه مجدد درصد معیوب در مجموعه بعد از هر نمونه گیری مانند آنچه که در مثال قبل صورت گرفت لازم نمی باشد. برای استفاده از جدول G باید میزان np' را محاسبه کرد. از آنجا که تعداد اقلام در هر نمونه مثال فوق ۲۰ عدد می باشد داریم:

$$np' = 20(0.02) = 0.4$$

با استفاده از جدول G:

$$P_c = 0.9670$$

$$P_1 = 0.9938 - 0.9670 = 0.0268$$

$$P_2 = 0.9992 - 0.9938 = 0.0054$$

$$P_{\text{بیشتر}} = 1 - 0.9992 = 0.0008$$

حال احتمال قبولی و رد مجموعه را طبق اعداد قبولی و ردی در هر مرحله از نمونه گیری به ترتیب محاسبه می کنیم.

نمونه اول

اگر در اولین نمونه تعداد صفر و یا یک معیوب وجود داشته باشد، مجموعه رد نمی شود و نمونه گیری ادامه می یابد (علامت * بدین معنی است که با برداشتن اولین نمونه در مورد قبولی مجموعه تصمیمی نمی توان گرفت) احتمال وجود صفر و یا یک معیوب در اولین نمونه برابر است با:

$$0.0670 + 0.0268 = 0.0938$$

از آنجا که صفر و یا یک معیوب در اولین نمونه موجب می شود نمونه گیری ادامه یابد بنابراین احتمال ادامه نمونه گیری بعد از اولین نمونه برابر ۰.۰۹۳۸ خواهد بود. اگر دو عدد و یا بیشتر معیوب در نمونه اول وجود داشته باشد، مجموعه رد می شود. بنابراین احتمال رد مجموعه بعد از اولین نمونه گیری برابر است با:

$$P_{\bar{0}} = 0.054 + 0.008 = 0.062$$

نمونه دوم

اگر در مجموع دو نمونه اول و دوم معیوبی وجود نداشته باشد، مجموعه قبول می شود. احتمال وجود صفر معیوب در دو نمونه اول یا به عبارت دیگر، قبولی مجموعه بعد از دومین نمونه گیری، برابر است با:

$$P_{00} = \binom{P_0}{\text{اولین نمونه}} \binom{P_0}{\text{دومین نمونه}}$$

$$P_{00} = (0.0670)(0.0670) = 0.0449$$

اگر در مجموع دو نمونه اول و دوم یک معیوب وجود داشته باشد، نمونه برداری به سمت نمونه سوم با داشتن ۱ معیوب ادامه می یابد. احتمال برداشتن نمونه سوم با داشتن یک معیوب از دو نمونه اول برابر است با احتمال وجود صفر معیوب در نمونه اول همراه با یک معیوب در نمونه دوم به اضافه احتمال وجود یک معیوب در نمونه اول همراه با صفر معیوب در نمونه دوم. به عبارت دیگر:

$$P_{0,1} = (0.0670)(0.0268) = 0.01795$$

$$P_{1,0} = (0.0268)(0.0670) = 0.01795$$

$$\underline{0.03590}$$

بنابراین احتمال ادامه نمونه برداری بعد از دوبار نمونه گیری که در نمونه اول يك معیوب وجود داشته باشد برابر است با ۰.۰۳۵۹۰. بنابراین اگر در مجموع دو نمونه اول و دوم، ۲ معیوب وجود داشته باشد، نمونه برداری ادامه می یابد اما این بار با داشتن دو معیوب در دو نمونه اول و دوم، نمونه سوم برداشته می شود بنابراین:

$$p_{0,2} = (0.0670)(0.0552) = 0.0036$$

$$p_{1,1} = (0.0268)(0.0268) = 0.00702$$

$$\underline{0.0108}$$

بنابراین احتمال ادامه نمونه برداری بعد از دوبار نمونه گیری بطوریکه ۲ معیوب در دو نمونه اولیه وجود داشته باشد برابر با ۰.۰۱۰۸ است. و بهمین ترتیب احتمال برداشتن نمونه سوم برابر است با: $0.0467 = 0.0108 + 0.0359$ احتمال رد مجموعه را نیز می توان بعد از دوبار نمونه گیری به صورت زیر بدست آورد:

$$p_{0,3} = (0.0670)(0.0008) = 0.0005$$

$$p_{1,2} = (0.0268)(0.0062) = 0.0017$$

$$\underline{0.0022}$$

باید توجه داشت که مجموع احتمال تمام نتایج حاصل از نمونه دوم باید برابر احتمال برداشتن نمونه دوم بعد از نمونه اول باشد، مجموع احتمال تمام نتایج حاصل از نمونه دوم برابر است با:

$$0.0429 + 0.0359 + 0.0108 + 0.0022 = 0.0918$$

که این عدد همان احتمال برداشتن نمونه دوم بعد از اولین نمونه گیری می باشد.

نمونه سوم

محاسبات نمونه سوم را نیز میتوان بهمان طریقی که برای دو نمونه اول و دوم انجام دادیم ادامه دهیم.

احتمال قبولی مجموعه بعد از سومین نمونه برداری:

$$p_{1,0} = (0.0359)(0.0670) = 0.0241$$

احتمال ادامه نمونه برداری جهت نمونه چهارم عبارتست از:

$$p_{۱,۱} = (۰.۳۵۹)(۰.۲۶۸) = ۰.۰۹۶$$

$$p_{۲,۰} = (۰.۱۰۸)(۰.۶۷۰) = ۰.۰۷۲$$

۰.۱۶۸

و بنابراین احتمال ادامه نمونه برداری و برداشتن نمونه چهارم با دو معیوب در سه نمونه اول، دوم و سوم برابر با ۰.۱۶۸ می باشد.
احتمال رد مجموعه بعد از سومین نمونه برداری برابر است با:

$$P_{۱,۲} = (۰.۳۵۹)(۰.۰۶۲) = ۰.۰۲۲$$

$$P_{۲,۱} = (۰.۱۰۸)(۰.۳۳۰) = ۰.۰۳۶$$

۰.۰۵۸

محاسبات برای بقیه نمونه ها را می توان مشابه آنچه گفته شد انجام داد. نتایج این محاسبات در جدول (۶-۱۲) خلاصه داشته است.

شماره نمونه	احتمال	
	قبولی مجموعه	رد مجموعه
۱	۰.۰۵۰۰	۰.۰۶۲
۲	۰.۲۴۹	۰.۰۲۲
۳	۰.۲۴۱	۰.۰۵۸
۴	۰.۱۱۳	۰.۰۱۰
۵	۰.۰۵۰۰	۰.۰۱۵
۶	۰.۰۵۰۰	۰.۰۱۰
۷	۰.۰۱۳	۰.۰۰۷
جمع	۰.۸۱۶	۰.۱۸۴

جدول شماره ۶-۱۲

محاسبات مربوط به يك نقطه از منحنی OC در محل ۲ درصد معیوب برای مثال نمونه گیری ۷ مرحله ای:

نمونه‌گیری مستمر^۱

در نمونه‌گیری مستمر حد خاصی برای انتخاب تعداد نمونه وجود ندارد و تا آنجا که لازم باشد نمونه انتخاب می‌شود. در نمونه‌گیری مستمر قطعات یا کالاهای یکی پس از دیگری مورد بازرسی قرار گرفته و معیوب یا سالم بودن آنها مشخص می‌شود. در جریان کار میزان معیوبها در میزان بازرسی شده‌ها ارزیابی شده و براساس منحیهای مشخصات عملیاتی نمونه‌گیری مستمر که بعداً مطرح می‌شود تصمیم‌گیری در مورد قبول یا رد مجموعه صورت می‌گیرد. برای انجام نمونه‌گیری مستمر باید مراحل زیر را انجام داد:

- ۱- اگر مجموع قطعات و کالاهای معیوب با توجه به میزان بازرسی شده در محدوده غیر قابل قبول قرار گرفت، جریان بازرسی متوقف و مجموعه کلاً رد می‌شود.
- ۲- اگر مجموع قطعات و کالاهای معیوب با توجه به میزان بازرسی شده در محدوده قابل قبول قرار گرفت، جریان بازرسی متوقف و مجموعه کلاً قبول می‌شود.
- ۳- اگر مجموع قطعات و کالاهای معیوب با توجه به میزان بازرسی شده بین دو محدوده فوق‌الذکر قرار گرفت جریان بازرسی باید ادامه یابد تا یکی از دو حالت فوق اتفاق افتد.

نمودار شماره (۱۲-۶) شمای ترمیمی نمونه‌گیری مستمر را نشان می‌دهد. نمودار (۱۲-۶) یک نمونه‌گیری مستمر نشان می‌دهد. در این نمودار محدوده قابل قبول C_1 و محدوده غیر قابل C_2 می‌باشد که این محدوده‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شوند.

$$C_1 = -h_1 + s_n$$

$$C_2 = h_2 + s_n$$

مقادیر h_1, h_2 و s_n به ترتیب به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$h_1 = X I_n[(1 - \alpha)/\beta]$$

$$h_2 = X I_n[(1 - \beta)/\alpha]$$

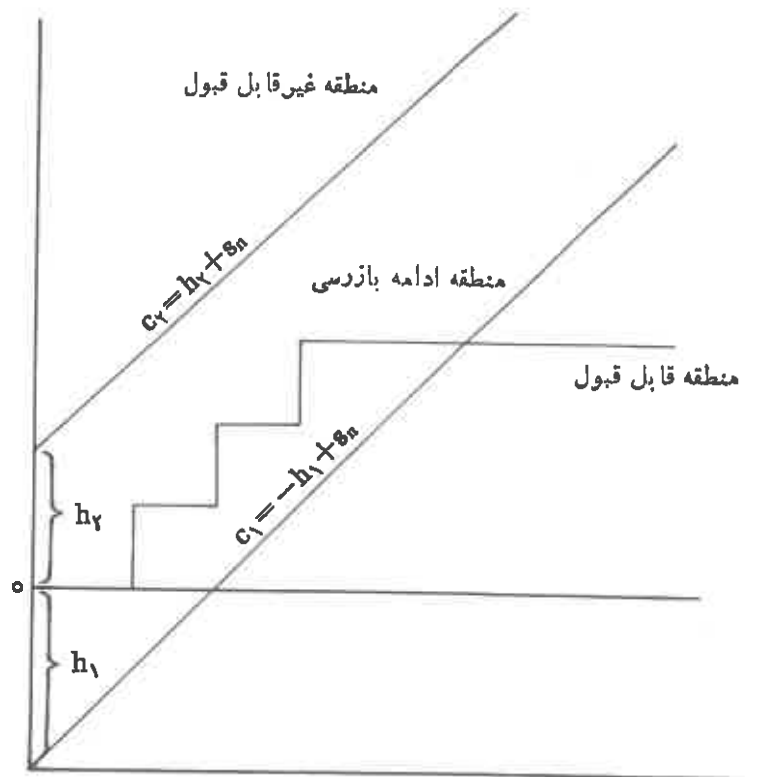
$$s = X I_n[(1 - AQL)/(1 - LTPD)]$$

X یک ضریب است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$X = 1 / I_n[LTPD(1 - AQL)/(AQL(1 - LTPD))]$$

برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید. فرض کنید مجموعه‌ای با مشخصات

1. Sequential sampling



نمودار شماره ۶-۱۲
شمای ترسیمی نمونه گیری مستمر

$$\begin{cases} AQL = 0.02 \\ \alpha = 0.05 \\ LTPD = 0.10 \\ \beta = 0.01 \end{cases}$$

در دست باشد. محدوده‌های قابل قبول و غیر قابل قبول در مجموعه مذکور با استفاده از روش نمونه گیری مستمر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} X &= 1 / \ln [LTPD(1 - AQL) / (AQL(1 - LTPD))] \\ &= 1 / \ln [0.10(1 - 0.02) / (0.02(1 - 0.10))] \end{aligned}$$

$$= 1/l_n \left[\frac{0.090}{0.018} \right] 1/l_n(5/5) = 1/l_n(5/5) = 0.5901$$

$$h_1 = X l_n[(1-\alpha)/\beta]$$

$$= 0.5901 l_n[(1-0.05)/0.01] = 0.5901 l_n 195$$

$$= 2/687$$

$$h_2 = X l_n[(1-\beta)/\alpha]$$

$$= 0.5901 l_n[(1-0.01)/0.05] = 0.5901 l_n 19/8$$

$$= 1.762$$

$$s = X l_n[(1-AQL)/(1-LTPD)]$$

$$s = 0.5901 l_n[(1-0.02)/(1-0.10)]$$

$$s = 0.5901 l_n[1.08] = 0.0503$$

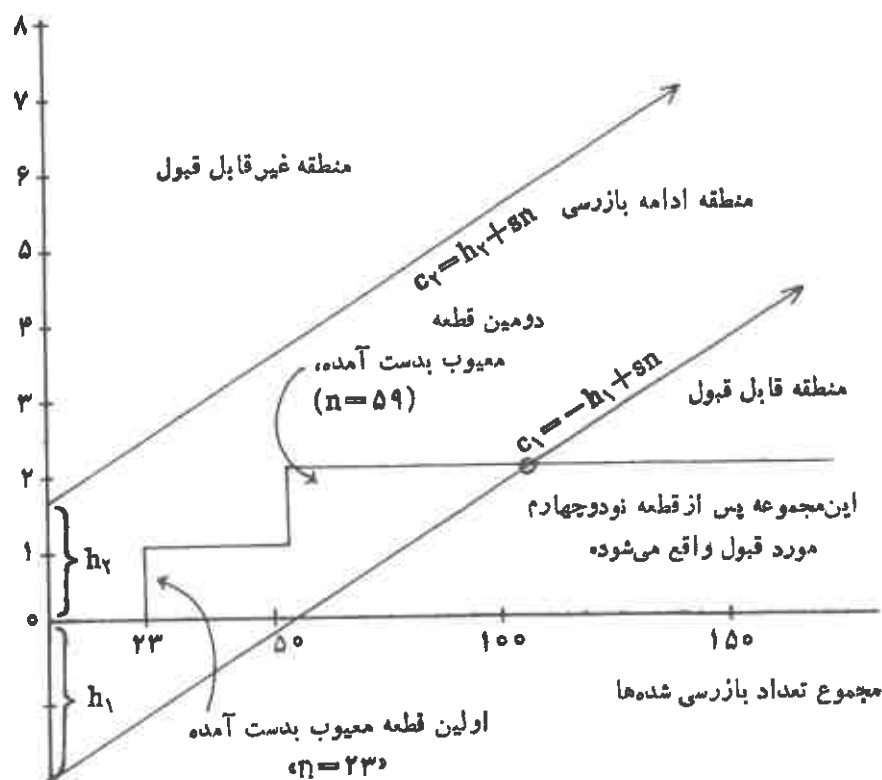
$$C_1 = -2.687 + 0.0503_n$$

$$C_2 = 1.762 + 0.0503_n$$

حال می‌توان محدوده‌های قابل قبول و غیر قابل قبول (C_1 و C_2) را رسم کرد. نمودار شماره (۷-۱۲) نشانگر شمای ترسیمی مستمر دیگری برای مثال فوق می‌باشد.

فرض کنید جریان بازرسی شروع شده و اولین قطعه معیوب در مجموعه در بررسی قطعه بیست و سوم مشاهده شده است بنابراین در روی محور X ها (مجموع تعداد بازرسی شده‌ها) و در محل نقطه بیست و سوم به اندازه یک واحد عمودی اخراج می‌کنیم و به علت اینکه نقطه به دست آمده (B) در محدوده ادامه بازرسی قرار می‌گیرد باید بررسی قطعات دیگر را ادامه دهیم.

فرض کنید دومین قطعه معیوب در بررسی قطعه پنجاه و نهم ظاهر شود. چون منحنی مجموع قطعات معیوب در داخل محدوده ادامه بازرسی می‌باشد به بررسی قطعات باید ادامه دهیم. قبل از اینکه سومین قطعه معیوب پیدا شود مشاهده می‌کنیم که منحنی مجموع قطعات معیوب وارد محدوده قابل قبول شده است. به عبارت دیگر مجموع قطعات معیوب نسبت به میزان قطعات بررسی شده مورد قبول است. در اینجا جریان بازرسی قطعات متوقف و مجموعه کلاً قبول می‌شود. در مورد مثال فوق بازرسی تا قطعه نود و چهارم ادامه داشته است.



نمودار شماره ۷-۱۲

شمای ترسیمی نمونه گیری مستمر

در عمل ممکن است به لحاظ موازی بودن دو محدوده قابل قبول و غیر قابل قبول، تمامی قطعات محموله مورد بازرسی قرار گیرد و هیچ گاه به نتیجه نهایی نرسیم. به عبارت دیگر احتمال دارد منحنی مجموع معیوبها همواره در محدوده ادامه بازرسی باقی بماند. بدین لحاظ اغلب به جای نمونه گیری مستمر از نمونه گیری چند مرحله ای و یا نمونه گیری دو مرحله ای استفاده می شود که قبلاً راجع به اینگونه نمونه گیری ها به تفصیل بحث شد.

شرایط انتخاب نمونه با استفاده از روش حداقل هزینه

هدف در این روش تعیین مقادیر n و c به طوریکه متوسط هزینه بازرسی

به علاوه متوسط هزینه کالاهای معیوب مشخص نشده (آن دسته از کالاهای معیوبی که در جریان بازرسی از نظر دور مانده) حداقل شود. اگر هزینه بازرسی هر واحد کالایی را به C_{ins} و هزینه هر واحد کالای معیوب مشخص نشده^۲ را به C_{def} نشان دهیم، می توان با استفاده از روابط زیر میسّمهای نمونه برداری را از لحاظ اقتصادی ارزیابی کرد.

۱- اگر هزینه بازرسی هر واحد کالا کمتر از هزینه مورد انتظار معیوب بودن آن کالا باشد تمامی مجموعه را باید به صورت صد درصد بازرسی کرد و بازرسی بخشی از این مجموعه مفید نمی باشد. مثلاً فرض کنید هزینه بازرسی هر واحد کالایی ۵۰ ریال باشد. اگر درصد معیوب در مجموعه های مورد بازرسی در هیچ زمانی کمتر از ۵ درصد نباشد و هزینه یک واحد کالای معیوب که از نظر دور مانده و مورد قبول قرار گرفته برابر ۱۱۰۰ ریال باشد. بنابراین حداقل هزینه مورد انتظاری که از وجود کالای معیوب در مجموعه حاصل می شود برابر است با:

$$\text{هزینه مورد انتظار وجود معیوب برای هر واحد کالا} = ۵۵ = (۱۱۰۰)(۰۰۵)$$

این مقدار بیشتر از C_{ins} (یعنی ۵۰ ریال) می باشد بنابراین تمامی مجموعه باید بازرسی شود. پس اگر حداقل درصد معیوب در مجموعه را با f_{min} نشان دهیم: در صورتی که $C_{ins} < f_{min} C_{def}$ باشد باید کلیه اقلام مورد بازرسی قرار گیرد.

مثال:

اگر هزینه بازرسی هر واحد کالایی ۲۰ ریال باشد و هر واحد کالای معیوبی که در جریان بازرسی مشخص نشود هزینه ای معادل ۱۰۰۰ ریال برای تعویض و حمل و نقل در برداشته باشد، درصد معیوب در مجموعه چه میزان باشد تا سیستم بازرسی تمام اقلام (۱۰۰٪ بازرسی) مطلوبترین سیستم باشد؟

برای صد درصد بازرسی باید $C_{ins} < f_{min} C_{def}$ باشد یعنی:

$$۲۰ < (f_{min})(۱۰۰۰)$$

$$۲\% \text{ یا } f_{min} > ۰۰۰۲$$

پس اگر تمامی مجموعه ها حداقل ۲٪ معیوب داشته باشند، بازرسی بخشی از این مجموعه ها مطلوب نیست و تمامی مجموعه باید یک به یک مورد بازرسی قرار گیرد.

۲- اگر حداکثر درصد معیوب در مجموعه را با f_{max} نشان بدهیم در صورتی که $C_{ins} > f_{max} C_{def}$ باشد هیچ گونه بازرسی و نمونه برداری انجام نمی گیرد.

1. Cost of inspection

2. Cost of defective

برای مثال اگر $C_{ins} = 50$ ، $C_{def} = 200$ و $f_{max} = 15\%$ باشد، هزینه هر واحد معیوب مشخص نشده به طور متوسط نمی تواند بیشتر از $30 = (200)(0.15)$ ریال باشد. با توجه به اینکه هزینه بازرسی هر واحد ۵۰ ریال است. بنابراین بهتر است مجموعه ها بدون بازرسی مورد قبول واقع شوند.

۳- اگر $f_{max} C_{def} < C_{ins} < f_{min} C_{def}$ باشد یک سیستم نمونه برداری مناسب باید انتخاب گردد.

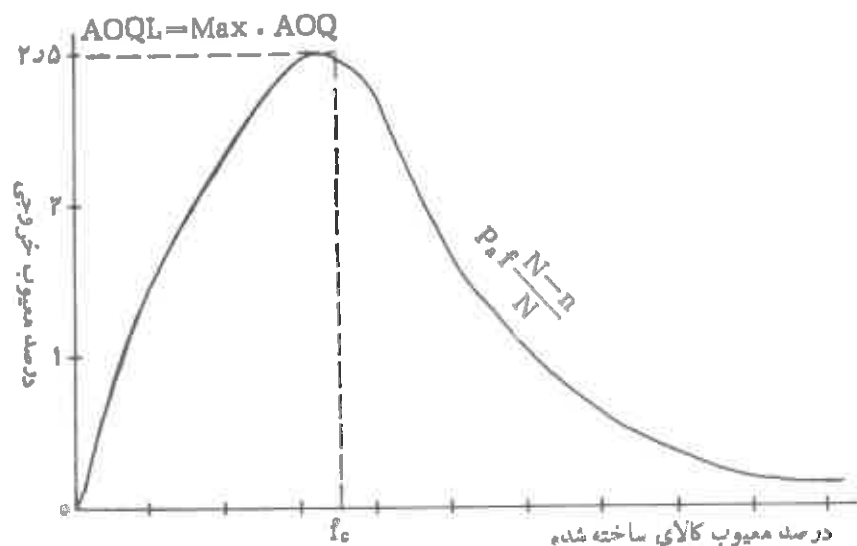
روش متوسط کیفیت خروجی^۱ (AOQ) در سیستم نمونه گیری تکي (متوسط کیفیت کالای ساخته شده پس از بازرسی) با جایگزینی اقسام معیوب و بازرسی صد درصد مجموعه های رد شده

در جریان بازرسی، مجموعه هایی که درصد معیوب بالایی داشته باشند رد می شوند و بعضی از مجموعه ها با داشتن یک میزان معیوب در نمونه خود مورد قبول واقع می شوند. «متوسط کیفیت خروجی» میزان درصد معیوب در مجموعه بعد از بازرسی می باشد. فرمولهای زیادی برای محاسبه متوسط درصد معیوب بعد از بازرسی وجود دارد که هر کدام کاربرد بخصوصی دارند. کاربرد این فرمولها بستگی به خط مشی سازمان در مورد کالاهای معیوب در نمونه و در مجموعه های رد شده دارد. در اینجا ما از روش بازرسی اصلاح شده^۲ استفاده می کنیم و آن بدین معنی است که: ۱- اگر مجموعه ای با استفاده از نمونه برداری رد شود آن مجموعه دقیقاً به صورت سرشماری مورد بازرسی قرار می گیرد و تمامی کالای معیوب آن شناسایی می شود و ۲- تمامی کالاهای معیوب به دست آمده (چه در نمونه و چه در مجموعه رد شده) با کالاهای سالم تعویض می شود. با توجه به فرض ۲، تمامی مجموعه های خروجی دارای N عدد کالا یعنی به همان میزان که مجموعه در ابتدا انتخاب شده می باشند. از طرفی دو نوع مجموعه از سیستم خارج می شوند. مجموعه های «قبول شده» و مجموعه های «رد شده» (به فرض ۱ در مورد مجموعه های رد شده توجه کنید). فرض کنید مجموعه ای به اندازه N دارای درصد معیوب p باشد. اگر نمونه ای به اندازه n از آن مجموعه انتخاب شده و بر اساس نتیجه گیری از نمونه مذکور، آن مجموعه مورد قبول واقع شود میزان $N - n$ عدد کالا مورد بازرسی قرار نمی گیرد بنابراین میزان معیوب مورد انتظار در مجموعه قبول شده برابر است با $p(N - n)$ از طرفی اگر مجموعه ای رد شود بر طبق فرض ۲، تمامی مجموعه مورد بازرسی دقیق قرار گرفته و تمامی کالاهای معیوب آن با کالاهای سالم تعویض می شود. بنابراین معیوبی در مجموعه اصلاح شده وجود نخواهد داشت. اگر

P_a احتمال قبولی مجموعه به وسیله نمونه انتخاب شده باشد داریم:

$$\text{متوسط درصد معیوب کالای خروجی} = \frac{P_a(\bar{p})(N-n) + (1-P_a)(0)}{N} = P_a \bar{p} \frac{N-n}{N}$$

نموداری را که نشان دهنده چگونگی ارتباط بین درصد معیوب کالای خروجی و درصد معیوب کالای ساخته شده باشد، منحنی متوسط کیفیت خروجی نامند (AOQ). نمودار (۱۲-۸) متوسط کیفیت خروجی را برای نمونه $(n=150, c=6)$ نشان می دهد. نکته جالب در نمودار مذکور این است که به موازات افزایش میزان معیوب در مجموعه درصد معیوب خروجی تا نقطه \bar{p}_c افزایش پیدا می کند. از این نقطه به بعد با وجود آنکه درصد معیوب مجموعه های مورد بازرسی افزایش می یابد اما درصد معیوب کالای خروجی رو به بهبود میرود. دلیل این امر آنست که سیستم نمونه برداری، اغلب مجموعه های بد را رد کرده و مجموعه های رد شده بر طبق فرض (۲) مورد بازرسی صد درصد قرار می گیرند و تمام کالاهای معیوب آن با کالای های سالم تعویض می شود. بنابراین در بلند مدت به طور متوسط سطح AOQL بیشترین ضایعات در مجموعه های خروجی را نشان می دهد (پس به عبارت دیگر AOQL پایینترین سطح کیفیت مجموعه خروجی می باشد).



نمودار شماره ۱۲-۸

متوسط کیفیت خروجی برای نمونه $(n=150, c=6)$ از مجموعه ۱۰۰۰۰۰ تایی

مقدار عددی f_c به خودی خود دارای اهمیت نیست اما درصد معیوب کالای خروجی متعلق به f_c که آن را حد متوسط کیفیت خروجی^۱ (AOQL) می‌نامند بسیار مهم است. زیرا بدون توجه به کیفیت کالای ساخته شده (میزان درصد معیوب کالای ساخته شده) درصد معیوب خسروچی همواره کمتر از سطح (AOQL) می‌باشد در نمودار شماره (۸-۱۲) پایینترین سطح کیفیت کالای خروجی $AOQL = 2.5\%$ می‌باشد. برای محاسبه نقطه ماکزیم منحنی AOQL نیازی به رسم منحنی فوق نیست زیرا جداولی بدین منظور تهیه شده است. جدول (۷-۱۲) از این گونه جداولها می‌باشد. در جدول مذکور ضریب AOQL برای مقادیر مختلف سطح قبولی C محاسبه شده است. با توجه به سطح قبولی C در نمونه، ضریب AOQL که با y نشان داده شده است را پیدا و در

ضریب y^*	سطح مورد قبول C
۰.۳۶۷۹	۰
۰.۸۴۰۰	۱
۱.۳۷۱۱	۲
۱.۹۴۲۲	۳
۲.۵۴۳۵	۴
۳.۱۶۸۲	۵
۳.۸۱۲۰	۶
۴.۴۷۲۰	۷
۵.۱۴۵۷	۸
۵.۸۳۱۴	۹
۶.۵۲۷۷	۱۰

جدول شماره ۷-۱۲

جدول ضریب y برای سطح AOQL

۱ Average Outgoing Quality Limit

* این ضریب از طریق تعیین حداکثر مقدار MP_a با استفاده از توزیع پوآسون برای $I'd$ با میانگین M محاسبه شده است.

مقدار $\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right)$ ضرب می‌کنیم. برای مثال در نمونه مثال قبل $C=6$ بود. بنا براین با توجه به جدول مذکور $y=38120$ می‌باشد. اگر نمونه ۱۵۰ تایی از یک مجموعه ۱۰۰۰۰۰ تایی انتخاب شود متوسط سطح کیفیت خروجی برابر است با:

$$AOQL = y \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N} \right) = 38120 \left(\frac{1}{150} - \frac{1}{100000} \right) = 0.025 = 2.5\%$$

— متوسط کیفیت خروجی در سیستم نمونه‌گیری تکی — بدون جایگزینی اقلام معیوب و همراه با بازرسی صد درصد مجموعه‌های رد شده
اگر اقلام معیوب به دست آمده از بازرسی را نتوان با اقلام سالم تعویض نمود، متوسط کیفیت خروجی برابر خواهد بود با:

$$AOQ = \frac{P_a P' (N - n)}{P_a (N - np') + (1 - P_a)(N - NP')}$$

مخرج رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر توضیح داد:
اگر مجموعه توسط نمونه خود مورد قبول واقع شود، فقط اقلام معیوب در نمونه از کل مجموعه کسر می‌گردد. از آنجا که احتمال قبولی مجموعه توسط نمونه خود برابر P_a می‌باشد بنا براین تعداد مورد انتظار اقلام خروجی در مجموعه‌های قبول شده برابر است با $P_a(N - np')$. همچنین اگر مجموعه توسط نمونه خود رد شود، کل اقلام معیوب در مجموعه از کل مجموعه کسر می‌گردد. بنا براین تعداد مورد انتظار اقلام خروجی در مجموعه‌های رد شده برابر است با: $(1 - P_a)(N - NP')$.
مخرج رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$\begin{aligned} & P_a(N - np') + (1 - P_a)(N - NP') \\ &= P_a N - P_a np' + N - NP' - P_a N + P_a NP' \\ &= N - P_a np' + (1 - P_a) np' - (1 - P_a) np' - NP' + P_a NP' \\ &= N - np'(P_a + 1 - P_a) + (1 - P_a) np' - NP' + P_a NP' \\ &= N - np' + (1 - P_a) np' - NP'(1 - P_a) \\ &= N - np' + (1 - P_a)(n - N)P' \\ &= N - np' - (1 - P_a)(N - n)P' \end{aligned}$$

بنابراین متوسط کیفیت خروجی درسیستم نمونه‌گیری تکی بدون جایگزینی اقلام معیوب و به‌مراه بازرسی صد درصد مجموعه‌های رد شده را می‌توان به صورت زیر نیز نشان داد.

$$AOQ = \frac{P_a P' (N - n)}{N - np' - (1 - P_a)(N - n)P'}$$

انتخاب نمونه بر اساس حداقل تعداد اقلام مورد بازرسی

هزینه بازرسی بستگی به تعداد مجموعه‌های رد شده‌ای دارد که باید صد درصد مورد بازرسی قرار گیرند به عبارت دیگر هزینه بازرسی بستگی به کیفیت مجموعه‌های مورد بازرسی دارد. در تجزیه و تحلیل هزینه‌های بازرسی معمولاً متوسط کل اقلام بازرسی شده^۱ (ATI) و متوسط درصد اقلام بازرسی شده^۲ (AFI) بررسی می‌شوند.

درسیستم نمونه‌گیری تکی ATI و AFI را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$ATI = P_a n + (1 - P_a)N$$

در رابطه مذکور $P_a n$ برابر است با تعداد مورد انتظار اقلام بازرسی شده در مجموعه‌های قبول شده و $(1 - P_a)N$ عبارتست از تعداد مورد انتظار اقلام بازرسی شده در مجموعه‌های رد شده.

همچنین متوسط درصد اقلام بازرسی شده در هر مجموعه برابر است با:

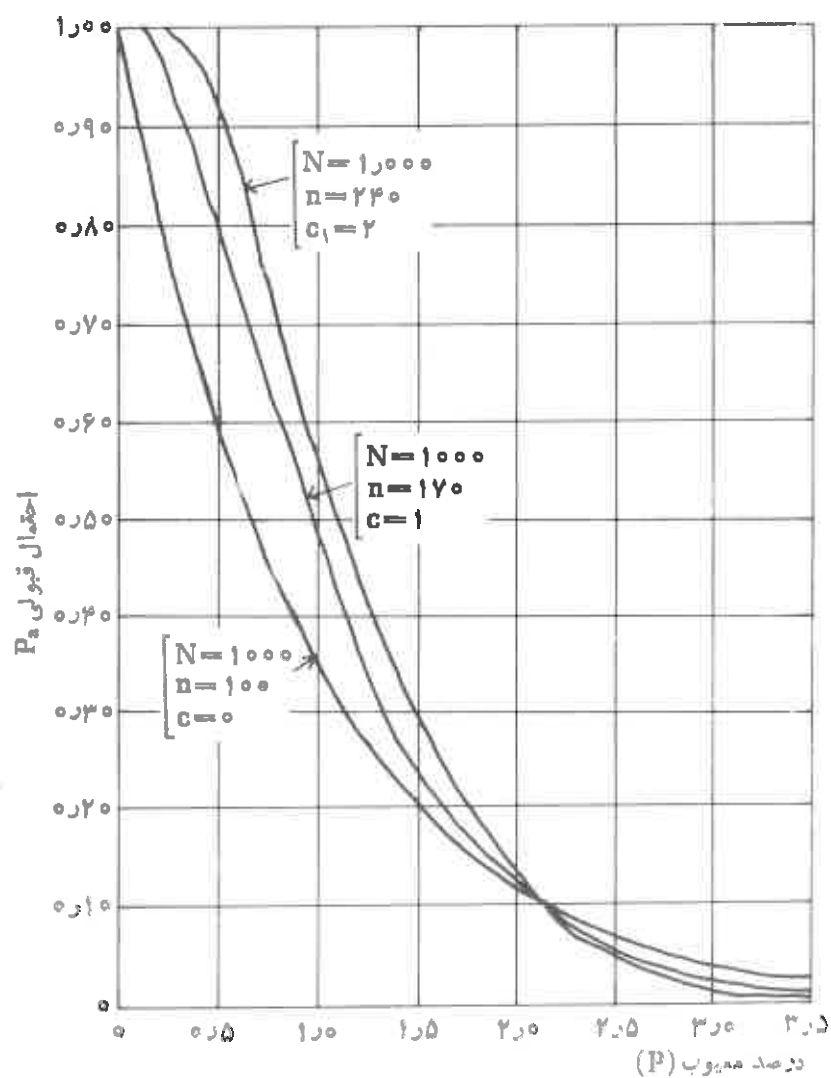
$$AFI = \frac{ATI}{N}$$

فرض کنید می‌خواهیم از بین سه طرح نمونه‌برداری مندرج در نمودار شماره (۹-۱۲) یکی را که کمترین ATI و AFI را داشته باشد انتخاب کنیم. این انتخاب بستگی به درصد معیوب در مجموعه‌ها دارد مثلاً اگر درصد معیوب در مجموعه‌های مورد بررسی برابر ۵۹ درصد باشد مقادیر ATI و AFI برای هر سه طرح نمونه‌برداری برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned}(ATI)_1 &= n_1 P_a + N(1 - P_a) \\ &= 100(0.59) + 1000(1 - 0.59) \\ &= 460\end{aligned}$$

$$(AFI)_1 = \frac{۲۶۰}{۱۰۰۰۰} = ۰.۰۰۲۶۰$$

مقادیر ATI و AFI برای دو طرح دیگر نیز به همین ترتیب محاسبه می‌شود که نتیجه آن در جدول (۸-۱۲) منعکس است.



نمودار شماره ۹-۱۲

نمودار به طرح نمونه‌برداری

طرح نمونه برداری شماره ۳	طرح نمونه برداری شماره ۲	طرح نمونه برداری شماره ۱	
۳۰۰۰۸	۳۳۶	۴۶۰	ATI
۰۰۳۰۱	۰۰۳۳۶	۰۰۴۶۰	AFI

جدول شماره ۸-۱۲

مقادیر ATI و AFI برای مجموعه‌های مورد بررسی با $P' = ۰.۰۵$

بنابراین اگر $P' = ۰.۰۵$ باشد، طرح نمونه برداری شماره ۳،

$$N = ۱۰۰۰, n = ۲۴۰, c = ۲$$

به‌طور متوسط کمترین تعداد اقلام بازرسی را دربر خواهد داشت.

حال اگر کیفیت مجموعه‌های مورد بررسی به‌جای ۵۰ درصد معیوب، دارای ۲ درصد معیوب باشند. مقادیر ATI و AFI شبیه آنچه که گفته شد محاسبه گشته و نتایج آن در جدول (۹-۱۲) آمده است. همان‌طور که در جدول مذکور ملاحظه می‌کنید، متوسط کمترین تعداد اقلام معیوب در هر مجموعه را می‌توان با استفاده از نمونه شماره ۲،

$$N = ۱۰۰۰, n = ۱۷۰, c = ۱$$

به‌دست آورد.

طرح نمونه برداری شماره ۳	طرح نمونه برداری شماره ۲	طرح نمونه برداری شماره ۱	
۲۴۰	۱۹۴۹	۲۷۱	ATI
۰۰۲۴۰	۰۰۱۹۵	۰۰۲۷۱	AFI

جدول شماره ۹-۱۲

مقادیر ATI و AFI برای مجموعه‌هایی با $P' = ۰.۰۲$

متوسط کیفیت خروجی درسیستمهای نمونه‌گیری دومرحله‌ای با فرض جایگزینی اقلام معیوب و بازرسی صددرصد مجموعه‌های رد شده

متوسط کیفیت خروجی را می‌توان برای سیستمهایی که از نمونه‌گیری دومرحله‌ای استفاده می‌کنند شبیه آنچه که در نمونه‌گیری تکی گفته شد محاسبه نمود. می‌دانیم که در نمونه‌گیری دومرحله‌ای، مجموعه در دو حالت مورد قبول واقع می‌شود.

الف: مجموعه پس از اولین نمونه‌گیری مورد قبول واقع می‌شود.

ب: مجموعه پس از دومین نمونه‌گیری مورد قبول واقع می‌شود.

اگر مجموعه با اولین نمونه‌گیری مورد قبول واقع شود مقدار $N - n_1$ از مجموعه بدون بازرسی مورد قبول واقع می‌شود. بنابراین تعداد معیوب درمجموعه برابر خواهد بود با:

$$P'(N - n_1)$$

همچنین اگر مجموعه پس از دومین نمونه‌گیری مورد قبول واقع شود مقدار $N - n_1 - n_2$ از مجموعه بدون بازرسی مورد قبول واقع می‌شود. در این حالت نیز تعداد معیوب درمجموعه برابر خواهد بود با $P'(N - n_1 - n_2)$. اگر احتمال قبولی مجموعه پس از اولین نمونه‌گیری برابر P_{a_1} و احتمال قبولی مجموعه پس از دومین نمونه‌گیری برابر P_{a_2} باشد متوسط درصد معیوب خروجی برابر خواهد بود با:

$$AOQ = \frac{P_{a_1} P'(N - n_1) + P_{a_2} P'(N - n_1 - n_2)}{N}$$

متوسط کل اقلام بازرسی شده درسیستمهای نمونه‌گیری دومرحله‌ای

متوسط کل اقلام بازرسی شده درسیستمهای نمونه‌گیری دومرحله‌ای برابر است با:

$$\begin{aligned} ATI &= P_{a_1} n_1 + P_{a_2} (n_1 + n_2) + P_{R_1} (N) + P_{R_2} (N) \\ &= P_{a_1} n_1 + P_{a_2} (n_1 + n_2) + (P_{R_1} + P_{R_2}) (N) \end{aligned}$$

که در رابطه بالا $P_{a_1} n_1$ برابر است با تعداد مورد انتظار اقلام بازرسی شده درمجموعه‌های قبول شده توسط اولین نمونه، $P_{a_2} (n_1 + n_2)$ عبارتست از تعداد مورد انتظار اقلام بازرسی شده درمجموعه‌های قبول شده پس از برداشتن دومین نمونه و $(P_{R_1} + P_{R_2}) (N)$ برابر با تعداد مورد انتظار اقلام بازرسی شده درمجموعه‌های رد شده توسط اولین نمونه و دومین نمونه می‌باشد. اما از آنجا که:

$$P_{a_1} + P_{a_2} + P_{R_1} + P_{R_2} = 1$$

بنا بر این:

$$P_{R1} + P_{R2} = 1 - P_{a1} - P_{a2}$$

$$ATI = P_{a1}n_1 + P_{a2}(n_1 + n_2) + (1 - P_{a1} - P_{a2})(N)$$

متوسط کیفیت خروجی در سیستمهای نمونه‌گیری دومرحله‌ای - بدون جایگزینی اقلام معیوب و همراه با بازرسی صد درصد مجموعه‌های رد شده

اگر در سیستم نمونه‌گیری دومرحله‌ای نیز نتوان اقلام معیوب بدست آمده از بازرسی را با اقلام سالم جایگزین نمود، متوسط کیفیت خروجی برابر خواهد بود با:

AOQ =

$$\frac{P_{a1}P'(N - n_1) + P_{a2}P'(N - n_1 - n_2)}{P_{a1}(N - nP') + P_{a2}[N - (n_1 + n_2)P'] + (1 - P_{a1} - P_{a2})(N - NP')}$$

متوسط تعداد اقلام در نمونه‌گیری دومرحله‌ای^۱

در سیستم نمونه‌گیری تکی، با برداشتن يك نمونه (n) در رابطه با قبولی و یا ردی مجموعه تصمیم گرفته میشود بنا بر این متوسط تعداد اقلام در هر نمونه برابر حجم نمونه (n) میباشد اما در سیستم نمونه‌گیری دومرحله در بعضی مواقع با برداشتن تنها يك نمونه (n_1) میتوان در رابطه با قبولی و یا ردی مجموعه تصمیم گرفت و در بعضی مواقع دیگر با برداشتن نمونه ($n_1 + n_2$) در رابطه با مجموعه تصمیم گرفته می‌شود. بنا بر این حجم نمونه ثابت نمی‌باشد اما میتوان بطور متوسط تعداد اقلام در هر نمونه را در این سیستم بصورت زیر محاسبه نمود:

$$ASN = P_1n_1 + (1 - P_1)(n_1 + n_2)$$

در رابطه مذکور P_1 برابر است با احتمال قبولی و یا ردی مجموعه پس از اولین نمونه برداری و $(1 - P_1)$ برابر است با احتمال قبولی و یا ردی مجموعه پس از دومین نمونه برداری.

متوسط کیفیت خروجی در سیستمهای نمونه‌گیری چند مرحله‌ای

- متوسط کیفیت خروجی در سیستمهای نمونه‌گیری چند مرحله‌ای با جایگزینی و بازرسی صد درصد مجموعه‌های رد شده عبارتست از:

1. average Sample number

$$AOQ =$$

$$\frac{P_{a1} + n_1 + P_{a2}(n_1 + n_2) + P_{a3}(n_1 + n_2 + n_3) + \dots + P_{ak}(n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k)}{N}$$

— متوسط کیفیت خروجی در سیستمهای فوق الذکر بدون جاگزینی اقلام معیوب و بازرسی صددرصد مجموعه‌های رد شده عبارتست از:

$$AOQ =$$

$$\frac{P_{a1}n_1 + P_{a2}(n_1 + n_2) + \dots + P_{a1}(N - n_1P') + P_{a2}(N - (n_1 + n_2)P') + \dots + P_{ak}(N - (n_1 + n_2 + \dots + n_k)P') + (1 - P_a)(N - NP')}{n_kP' + (1 - P_a) + (N - NP')}$$

که در رابطه بالا P_a برابر است با:

$$P_a = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + \dots + P_{ak}$$

مقایسه روشهای «متوسط کیفیت خروجی» (با استفاده از منحنی AOQL) و «نمونه‌گیری مورد قبول» (با استفاده از منحنی OC)

هدف روشهای فوق در سیستمهای نمونه‌برداری تعیین کیفیت يك مجموعه براساس بازرسی بخشی از آن مجموعه می‌باشد. در روش OC مصرف‌کننده ممکنست با احتمال معینی (α) کالای نامرغوب دریافت کند درحالی‌که در روش AOQL میزان متوسط کیفیت کالا بدون هیچ‌گونه اشتباهی برای مصرف‌کننده تضمین می‌شود. روشهای دیگری نیز برای نمونه‌برداری وجود دارند که هر کدام دارای مشخصات متفاوتی هستند. امر انتخاب از بین روشهای موجود بستگی به شرایط و امکانات موسسه و نظر مدیر دارد. اما در هرصورت در تمام سیستمهای نمونه‌برداری می‌توان از هر دو منحنی OC و AOQL استفاده کرده، سیستم‌های نمونه‌برداری را ارزیابی و سیستم مطلوب را انتخاب کرد.

نمودارهای کنترل:

در جریان تولید هرگز نمی‌توان اطمینان داشت که تولید کالاها دقیقاً باهم مشابه باشند عوامل بسیاری در جریان تولید وجود دارند که باعث ایجاد تغییراتی بین کالاهای مختلف می‌شوند، علل این تغییرات در دو دسته کلی علل تصادفی^۱ و غیر تصادفی^۲

1. chance Causes

2. assignable Causes

یا با دلیل قرار می گیرند.

تغییرات تصادفی در جریان تولید همواره وجود دارند. آندسته از تغییرات که جزء تغییرات تصادفی هستند تنها از طریق مطالعه و اصلاح روشهای تولید قابل بررسی است. این تغییرات معمولاً حاصل عوامل بسیاری بوده که در اکثر موارد اثر هر یک از عوامل ناچیز است اما برآیند آنها باعث ایجاد تغییرات اساسی در جریان تولید می شود. علت وجود تغییرات تصادفی را می توان ناهمبستگی در مواد اولیه، ماشین آلات، کارگران، شرایط فیزیکی و غیره دانست. این تغییرات دارای هیچگونه نظم خاصی نیستند.

اما تغییرات بادلیل که عمده بحث ما در این بخش می باشد عبارتند از تغییراتی که علت و سبب خاصی بوجود می آیند و در اکثر موارد قابل پیش بینی هستند. بیشتر وظایف ستاد کنترل کیفیت در جریان تولید تفکیک و مجزا کردن تغییرات بادلیل از تغییرات تصادفی بوده و سپس با استفاده از روشهای کنترل کیفیت نسبت به رفع تغییرات بادلیل اقدام می شود و تاهنگامی که تغییرات بادلیل در جریان تولید وجود نداشته باشد، سیستم تولید در کنترل می باشد.

وجود تغییرات بادلیل در جریان تولید حاکی از این است که جریان تولید از کنترل خارج است. برای کنترل جریان تولید از نمودارهای کنترل استفاده می شود این نمودارها با استفاده از آمار واحتمالات حدود بالا و پایین از متوسط تولید را سه انحراف معیار (۳σ) محاسبه کرده و سپس رسم می نمایند. نقاط بین حدود بالا و پائین نمودار کنترل جایگاه کلیه تغییرات تصادفی هستند و نقاط خارج از حدود بالا و پائین نمودار کنترل جایگاه تغییرات بادلیل می باشند. پس غرض از رسم نمودارهای کنترل تفکیک کردن تغییرات بادلیل از تغییرات بدون دلیل می باشد و در صورت وجود تغییرات بادلیل در سیستم (بعبارت دیگر وجود نقاطی خارج از محدوده های کنترل) این تغییرات مورد بررسی قرار گرفته، علت آن کشف و قبل از تولید زیادتر سیستم اصلاح شده و در کنترل قرار می گیرد. نمودارهای کنترل بطور عمده به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

۱- نمودارهای کنترل متغیر^۱

۲- نمودارهای کنترل وصفی^۲

۱- نمودارهای کنترل متغیر

در مواقعی که کنترل مشخصه کمی کالا مانند: وزن، حجم، اندازه و ... مورد نظر باشد از نمودارهای کنترل متغیر استفاده می گردد در زیر برخی از مهمترین نمودارهای

1. Variable Chart
2. Attribute Chart

کنترل متغیر مورد بررسی قرار می گیرند.

الف: نمودارهای کنترل متوسطها و دامنهها:

این دو نمودار بصورت مشترک برای کنترل متوسط اندازه های مشخصه کالا و کنترل پراکندگی این مشخصه مورد استفاده قرار می گیرند. نمودار کنترل متوسطها، متوسط پراکندگی اندازه قطعاتی که بصورت نمونه انتخاب شده اند را با آنچه مورد نظراست کنترل می کند و نمودار کنترل دامنهها، یکجور بودن اندازه های بدست آمده از نمونه ها را کنترل می نماید. روش مشخص کردن هر یک از نقاط نمودار کنترل آن است که در زمانهای مختلف چندین نمونه از فراگرد تولیدی انتخاب شده و سپس متوسط و دامنه آنها محاسبه می گردد. در مرحله بعد محدوده های بالا و پائین کنترل محاسبه شده و این محدوده ها همراه با متوسط اندازه نمونه ها و دامنه آنها بر روی نمودارهای کنترل رسم می شود. چنانچه تمامی نقاط در محدوده های بالا و پائین نمودارهای کنترل قرار گرفت اغلب می توان ادعا کرد که سیستم تولید در کنترل بوده در غیر اینصورت سیستم تولید در کنترل نمی باشد.

معمولاً ابتدا یکجور بودن اندازه نمونه های بدست آمده کنترل گشته و در صورتیکه نقاط بدست آمده در محدوده های بالا و پائین نمودار کنترل دامنه ها قرار گرفت، متوسط اندازه نمونه ها توسط نمودار کنترل متوسطها مورد بررسی قرار می گیرند. محدوده های بالا و پائین نمودار کنترل معمولاً بصورت خط چین رسم شده و آنها را حد کنترل بالایی (UCL) و حد کنترل پائینی (LCL) می نامند. طریقه محاسبه محدوده های کنترل متوسطها و دامنه ها بصورت زیر است:

— محاسبه محدوده های کنترل متوسطها؛ با استفاده از قضیه حد مرکزی، توزیع میانگین نمونه های انتخابی از هر توزیع دلخواهی، از یک توزیع نرمال تبعیت می کند. بنابراین تقریباً تمامی تغییرات بدون دلیل باید در محدوده $\pm 3\sigma$ از میانگین، میانگین ها قرار گیرند. اگر X برابر میانگین میانگین نمونه ها باشد خواهیم داشت:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^K X_i}{K} \quad (1)$$

که در رابطه بالا X_i میانگین نمونه i ، K تعداد نمونه و X میانگین میانگین ها خواهد بود. از آنجا که محدوده های بالا و پائین نمودار کنترل از میانگین خود $\pm 3\sigma$ فاصله دارد خواهیم داشت:

1. Upper Control Limit 2. Lower Control Limit

$$UCL_x = \bar{X} + 3\sigma_x \quad (2)$$

$$LCL_x = \bar{X} - 3\sigma_x$$

از طرفی از آمارمی‌دانیم که $\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ (n تعداد اقدام در هر نمونه است). اگر نسبت متوسط دامنه‌ها R (تفاوت بین بیشترین مقدار و کمترین مقدار در يك نمونه) به انحراف استاندارد فرایند تولید (σ_x) را به d_4 نشان دهیم داریم:

$$d_4 = \frac{R}{\sigma_x}$$

بنابراین:

$$\sigma_x = \frac{R}{d_4} \quad (3)$$

همچنین

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \frac{R}{d_4\sqrt{n}} \quad (4)$$

اگر مقدار σ_x از رابطه ۳ را در رابطه ۲ قرار دهیم خواهیم داشت:

$$\begin{cases} UCL_x = \bar{X} + 3 \frac{R}{d_4\sqrt{n}} \\ LCL_x = \bar{X} - 3 \frac{R}{d_4\sqrt{n}} \end{cases}$$

اگر مقدار $\frac{3}{d_4\sqrt{n}}$ را با A_4 نشان دهیم خواهیم داشت:

$$\begin{cases} UCL_x = \bar{X} + A_4 R \\ LCL_x = \bar{X} - A_4 R \end{cases} \quad (5)$$

نسبت‌های d_4 و A_4 برحسب n (تعداد اقدام در نمونه) در جدول شماره (۱۰-۱۲) محاسبه گشته است.

نمودار کنترل دامنه‌ها			نمودار کنترل متوسط‌ها	
ضرایب محدوده‌های کنترل		ضرایب مربوط به خط وسط	ضرایب محدوده‌های کنترل	تعداد نمونه n
D_p	D_r	d_p	A_p	
۳۲۲۶۷	۰	۱۲۱۲۸	۱۲۸۸۰	۲
۲۵۵۷۵	۰	۱۲۶۹۳	۱۲۰۲۳	۳
۲۲۸۸۲	۰	۲۲۰۵۹	۰۲۷۲۹	۴
۲۲۱۱۵	۰	۲۲۳۲۶	۰۲۵۷۷	۵
۲۲۰۰۴	۰	۲۲۵۳۴	۰۲۴۸۳	۶
۱۲۹۲۲	۰۲۰۷۶	۲۲۷۰۲	۰۲۴۱۹	۷
۱۲۸۶۲	۰۲۱۳۶	۲۲۸۲۷	۰۲۳۷۳	۸
۱۲۸۱۶	۰۲۱۸۲	۲۲۹۷۰	۰۲۳۳۷	۹
۱۲۷۷۷	۰۲۲۲۳	۳۲۰۷۸	۰۲۳۰۸	۱۰
۱۲۷۴۲	۰۲۲۵۶	۳۲۱۷۳	۰۲۲۸۵	۱۱
۱۲۷۱۶	۰۲۲۸۴	۳۲۲۵۸	۰۲۲۶۶	۱۲
۱۲۶۹۲	۰۲۳۰۸	۳۲۳۳۶	۰۲۲۴۹	۱۳
۱۲۶۷۱	۰۲۳۲۹	۳۲۴۰۷	۰۲۲۳۵	۱۴
۱۲۶۵۲	۰۲۳۴۸	۳۲۴۷۲	۰۲۲۲۳	۱۵

جدول شماره ۱۰-۱۲

ضرایب نمودارهای R و X

رسم نمودار دامنه‌ها

محدوده‌های کنترل دامنه‌ها را نیز می‌توان شبیه محدوده‌های کنترل متوسط‌ها محاسبه نمود و نمودار آنرا رسم نمود. حدود کنترل بالا و پائین نمودار دامنه‌ها $\pm 3\sigma$ از میانگین خود فاصله دارند.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^K R_i}{K}$$

$$\begin{cases} UCL_R = R + 3\sigma_R \\ LCL_R = R - 3\sigma_R \end{cases}$$

اگر $R + 3\sigma_R$ را به $D_{\bar{R}}$ و $R - 3\sigma_R$ را به $D_{\bar{R}}$ نشان دهیم خواهیم داشت:

$$\begin{cases} UCL_R = D_{\bar{R}} \\ LCL_R = D_{\bar{R}} \end{cases}$$

ضرایب $D_{\bar{R}}$ و $D_{\bar{R}}$ به ازااء مقادیر مختلف حجم نمونه در جدول (۱۲-۱۰) محاسبه شده است. پس از محاسبه محدوده‌های کنترل، این محدوده‌ها رسم شده و سپس میانگین و دامنه هر نمونه بصورت نقاطی بر روی نمودار کنترل رسم می‌شوند. اگر تمامی نقاط در محدوده‌های کنترل قرار گیرند، فرایند تولید در کنترل می‌باشد و اگر يك یا چند نقطه خارج از محدوده‌های کنترل واقع شوند احتمالاً تولید در کنترل نمی‌باشد. در اینگونه موارد باید نقاطی که خارج از محدوده کنترل قرار گرفته‌اند دقیقاً مورد بررسی قرار گرفته و علت آن مشخص شود. پس از تشخیص علت و رفع آن، آمار مربوط به نقاط خارج از محدوده کنترل از بقیه آمار حذف شده و دوباره نمودارهای کنترل رسم می‌شوند. اگر در این مرحله نیز نقاطی خارج از محدوده‌های کنترل قرار گرفتند همانند بالا باید علت آن کشف و پس از رفع علت و حذف آمار مربوط به آن، نمودار کنترل دوباره رسم شود. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا تمامی نقاط در محدوده‌های کنترل قرار گیرند. حال به يك مثال توجه کنید.

مثال:

يك كارخانه تولید کننده موتورهای اتومبیل با مشکلاتی در رابطه با اندازه قطر سیلندرها موتورهای تولیدی خود مواجه شده است و برای مطالعه قطر این سیلندرها تصمیم گرفته از نمودارهای کنترل \bar{X} و R استفاده کند. بدین منظور ۲۵ نمونه ۴ تایی از موتورها که هر نمونه متعلق به يك شیفت کاری است را انتخاب کرده است. اطلاعات مربوط به این نمونه‌ها در جدول شماره (۱۲-۱۱) آمده است.

ابتدا نمودار R را رسم می‌کنیم بدین منظور باید R محاسبه شود:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{25} R_i}{K} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_{25}}{25} = \frac{536}{25} = 21.44$$

نمونه	قطر سیلندرها در هر نمونه				میانگین X	دامنه R
	۱	۲	۳	۴		
۱	۲۷	۳۲	۲۲	۲۵	۳۹٫۵	۱۵
۲	۳۳	۳۳	۳۲	۳۲	۳۳٫۵	۱
۳	۳۲	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳٫۲۵	۳
۴	۳	۲۱	۲۲	۵۳	۲۵٫۲۵	۵۰
۵	۲۵	۲۳	۲۸	۲۰	۲۲	۱۷
۶	۱۹	۲۷	۳۱	۲۷	۲۸٫۵	۱۸
۷	۲۳	۲۵	۲۶	۳۷	۳۲٫۷۵	۲۲
۸	۳۳	۲	۲۹	۵۲	۲۹	۵۰
۹	۲۵	۲۲	۳۷	۳۳	۲۹٫۲۵	۱۵
۱۰	۲۹	۳۲	۳۰	۱۵	۲۶	۱۰
۱۱	۴۰	۱۸	۳۰	۱۱	۲۴٫۷۵	۲۰
۱۲	۲۱	۲۸	۳۶	۳۴	۲۷٫۲۵	۲۸
۱۳	۲۶	۲۵	۳۱	۲۹	۳۰٫۲۵	۹
۱۴	۵۲	۲۹	۲۱	۱۸	۳۰	۳۲
۱۵	۲۶	۲۰	۳۰	۲۰	۲۲	۱۰
۱۶	۱۹	۱	۳۰	۳۰	۲۰	۲۹
۱۷	۲۸	۳۲	۳۹	۱۷	۲۹٫۵	۲۲
۱۸	۲۹	۲۵	۲۲	۳۰	۲۷	۶
۱۹	۲۱	۳۷	۳۲	۲۵	۲۸٫۷۵	۱۶
۲۰	۲۲	۲۲	۱۶	۳۵	۲۲٫۲۵	۱۹
۲۱	۲۸	۳۹	۲۳	۲۱	۲۷٫۷۵	۱۸
۲۲	۴۱	۳۲	۵۰	۱	۳۱	۲۹
۲۳	۱۲	۲۳	۴۱	۴۲	۳۰	۲۸
۲۴	۳۲	۲۸	۴۶	۲۷	۳۳٫۲۵	۱۹
۲۵	۲۲	۳۴	۲۲	۳۴	۳۳	۲۰
	۵۳۶	۷۳۱٫۷۵				

جدول شماره ۱۱-۱۲

محاسبه میانگین و دامنه قطر سیلندرها

$$\begin{cases} UCL_R = D_4 R \\ LCL_R = D_3 R \end{cases}$$

نسبت‌های D_4 و D_3 از جدول (۱۰-۱۲) برای $n = 4$ برابر است با:

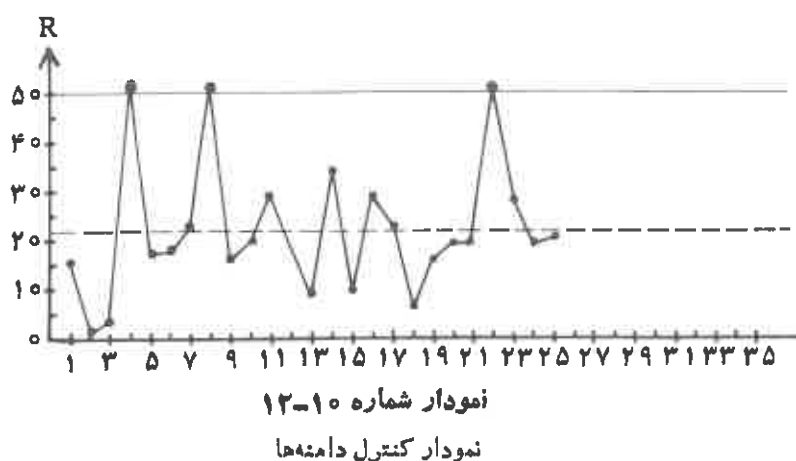
$$D_4 = 2.28 \quad \text{و} \quad D_3 = 0$$

بنابراین:

$$UCL_R = 2.28(219.44) = 500.88$$

$$LCL_R = 0(219.44) = 0$$

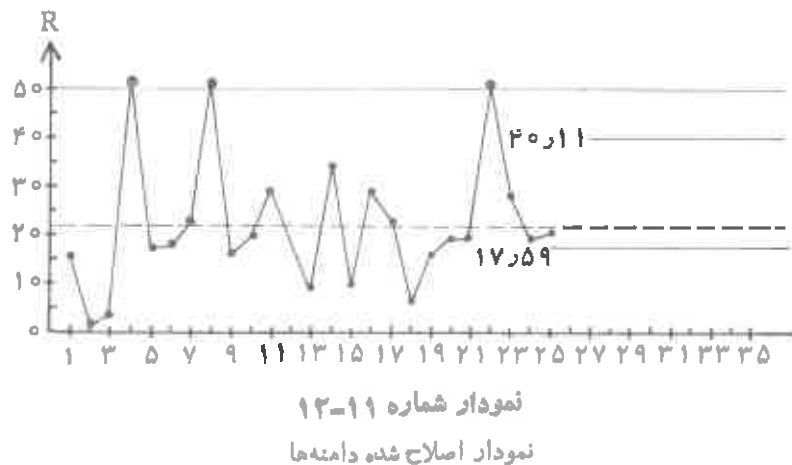
حال نمودار R را رسم کرده و نقاط مربوط به هر نمونه را در روی نمودار نشان می‌دهیم. این نمودار در شکل (۱۰-۱۲) نشان داده شده است.



همان‌طور که در نمودار شماره (۱۰-۱۲) ملاحظه می‌کنید نمونه‌های ۴، ۸ و ۲۲ خارج از محدوده‌های کنترل قرار گرفته‌اند. پس از بررسی دقیق نمونه‌های مذکور مشخص شده که این نمونه‌ها از شیفت‌های انتخاب شده که کارگران مربوط به آن شیفت‌ها، کارگران موقت بوده‌اند و آشنائی کامل با ماشین‌ها را نداشته‌اند. بنا بر این مقرر شد که به کارگران موقت نیز آموزش کافی داده شود. حال که علت قرار گرفتن نقاط خارج از کنترل مشخص شده می‌توان آمار مربوط به این نقاط را از بقیه آمار حذف نمود و دوباره نمودارهای کنترل را رسم کرد بنا بر این:

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{536 - 50 - 50 - 29}{22} = 17.59 \\ &= 2.28(17.59) = 40.11 \\ &= 0(17.59) = 0\end{aligned}$$

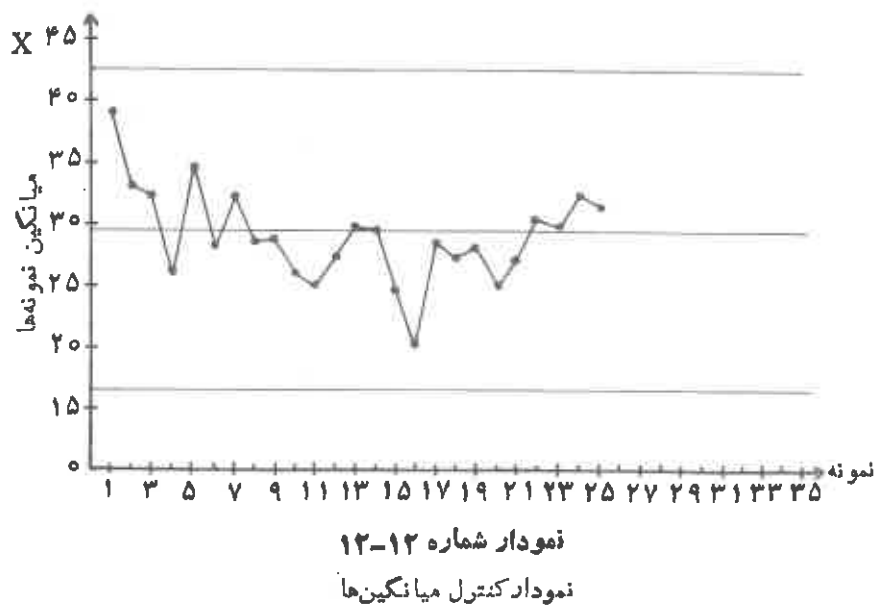
اکنون نقاط مربوط به نمونه‌های باقیمانده را در روی نمودار کنترل رسم می‌کنیم. شکل (۱۱-۱۲) نمودار اصلاح شده R را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌کنید هیچ نقطه‌ای خارج از محدوده‌های کنترل R قرار نگرفته است. بنابراین می‌توان از این نمودار در کنترل دامنه فرایند تولید در آینده استفاده نمود.



پس از اینکه از کنترل دامنه فرایند تولید اطمینان حاصل شد، می‌توان نمودار \bar{X} را رسم کرد. برای رسم نمودار کنترل \bar{X} ابتدا \bar{X} را محاسبه می‌کنیم باید توجه داشت که آمار مربوط به نمونه‌های ۴، ۸ و ۲۲ باید حذف گردند.

$$\begin{aligned}\bar{\bar{X}} &= \frac{\sum_{i=1}^{25} \bar{X}_i - \bar{X}_4 - \bar{X}_8 - \bar{X}_{22}}{25 - 3} \\ \bar{\bar{X}} &= \frac{731.75 - 25.25 - 29 - 31}{22} = 29.39 \\ \begin{cases} UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 R \\ LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 R \end{cases}\end{aligned}$$

کنترل کیفیت □ ۴۹۹



نسبت A_2 از جدول (۱۰-۱۲) برای $n=4$ برابر است با ۰٫۷۳ بنا براین:

$$UCL_{\bar{x}} = 29.39 + 0.73(17.59) = 42.23$$

$$LCL_{\bar{x}} = 29.39 - 0.73(17.59) = 16.55$$

نمودار \bar{X} با نقاط مربوط به نمونه‌ها در شکل (۱۲-۱۲) رسم شده است. همان‌طور که در شکل مذکور ملاحظه می‌شود هیچ نقطه‌ای خارج از محدوده‌های کنترل قرار نگرفته است بنابراین، می‌توان از این نمودار در کنترل متوسط تولید آینده استفاده کرد.

نمودار کنترل انحراف استاندارد

برای کنترل پراکندگی فرایند تولید می‌توان از انحراف استاندارد به‌جای دامنه استفاده نمود. همان‌طور که می‌دانید انحراف استاندارد کمیته‌ای است که تمامی مقادیر مجموعه را در نظر می‌گیرد. اگر تعداد اقلام در هر نمونه کم باشد کمیته دامنه می‌تواند معیار مناسبی برای تعیین پراکندگی مورد استفاده قرار گیرد اما وقتی تعداد اقلام در نمونه زیاد می‌شود دیگر دامنه که فقط دو اندازه از نمونه را در نظر می‌گیرد کمیته مناسبی نخواهد بود و بهتر است از انحراف استاندارد برای تعیین پراکندگی استفاده گردد.

تعداد اقلام در نمونه n	ضرایب \bar{x} A_1	ضرایب σ برای	
		حد پائین کنترل B_3	حد بالای کنترل B_4
2	3.76	0	3.27
3	2.39	0	2.57
4	1.88	0	2.27
5	1.60	0	2.09
6	1.41	0.03	1.97
7	1.28	0.12	1.88
8	1.17	0.19	1.81
9	1.09	0.24	1.76
10	1.03	0.28	1.72
11	0.97	0.32	1.68
12	0.93	0.35	1.65
13	0.88	0.38	1.62
14	0.85	0.41	1.59
15	0.82	0.43	1.57
16	0.79	0.45	1.55
17	0.76	0.47	1.53
18	0.74	0.48	1.52
19	0.72	0.50	1.50
20	0.70	0.51	1.49
21	0.68	0.52	1.48
22	0.66	0.53	1.47
23	0.65	0.54	1.46
24	0.63	0.55	1.45
25	0.62	0.56	1.44
30	0.56	0.60	1.40
35	0.52	0.63	1.37
40	0.48	0.66	1.34
45	0.45	0.68	1.32
50	0.43	0.70	1.30
55	0.41	0.71	1.29
60	0.39	0.72	1.28
65	0.38	0.73	1.27
70	0.36	0.74	1.26
75	0.35	0.75	1.25
80	0.34	0.76	1.24
85	0.33	0.77	1.23
90	0.32	0.77	1.23
95	0.31	0.78	1.22
100	0.30	0.79	1.21

جدول شماره ۱۲-۱۳

ضرایب نمودارهای کنترل انحراف استاندارد (σ و \bar{x})

برای رسم نمودار انحراف استاندارد، ابتدا انحراف استاندارد هر نمونه را محاسبه کرده و سپس متوسط انحراف استانداردهای نمونه را به عنوان خط مرکزی نمودار انحراف استاندارد قرار می دهیم. محدوده های کنترل انحراف استاندارد نیز مانند محدوده های کنترل دامنه ها در فاصله سه انحراف استاندارد از خط مرکزی قرار می گیرند.

$$CL_{\sigma} = \bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i}{k}$$

$$\begin{cases} UOL_{\sigma} = \bar{\sigma} + 3\sigma_{\sigma} = B_4 \bar{\sigma} \\ LCL_{\sigma} = \bar{\sigma} - 3\sigma_{\sigma} = B_3 \bar{\sigma} \end{cases}$$

ضرایب B_4 و B_3 برای مقادیر مختلف حجم نمونه در جدول (۱۲-۱۲) محاسبه شده است. در صورتی که از انحراف استاندارد به جای دامنه استفاده شود محدوده های کنترل X به صورت زیر خواهد بود.

$$\begin{cases} UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_1 \bar{\sigma} \\ LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_1 \bar{\sigma} \end{cases}$$

ضریب A_1 برای مقادیر مختلف حجم نمونه n در جدول (۱۲-۱۲) محاسبه شده است.

نمودارهای کنترل برای مقادیر استاندارد شده

اگر برای متوسط و انحراف استاندارد فرایند تولید از قبل مقادیر استاندارد تعیین شده باشد و بخواهیم تولید را براساس این مقادیر استاندارد کنترل نماییم حدود کنترل نمودارهای کنترل به صورت زیر خواهد بود:

$$UCL_x = \bar{X}'$$

$$\begin{cases} UCL_{\bar{x}} = \bar{X}' + A\sigma' \\ LCL_{\bar{x}} = \bar{X}' - A\sigma' \end{cases}$$

\bar{X}' و σ' مقادیر استاندارد فرایند تولید می باشند و ضریب A نیز در جدول (۱۲-۱۳) برای مقادیر مختلف حجم نمونه محاسبه شده است.

حدود کنترل دامنه ها برای مقادیر استاندارد شده برابر است با:

تعداد اقلام در نمونه n	ضریب x A	ضرایب نمودار R		ضرایب نمودار σ	
		حد پایین کنترل D_1	حد بالای کنترل D_2	حد پایین کنترل B_1	حد بالای کنترل B_2
2	2.12	0	3.69	0	1.84
3	1.73	0	4.36	0	1.86
4	1.50	0	4.70	0	1.81
5	1.34	0	4.92	0	1.78
6	1.22	0	5.08	0.03	1.71
7	1.13	0.20	5.20	0.10	1.67
8	1.06	0.29	5.31	0.17	1.64
9	1.00	0.55	5.39	0.22	1.61
10	0.95	0.69	5.47	0.26	1.58
11	0.90	0.81	5.53	0.30	1.56
12	0.87	0.92	5.59	0.33	1.54
13	0.83	1.03	5.65	0.36	1.52
14	0.80	1.12	5.69	0.38	1.51
15	0.77	1.21	5.74	0.41	1.49
16	0.75	1.28	5.78	0.43	1.48
17	0.73	1.36	5.82	0.44	1.47
18	0.71	1.43	5.85	0.46	1.46
19	0.69	1.49	5.89	0.48	1.44
20	0.67	1.55	5.92	0.49	1.43
21	0.65			0.50	1.42
22	0.64			0.52	1.41
23	0.63			0.53	1.41
24	0.61			0.54	1.40
25	0.60			0.55	1.39
30	0.55			0.59	1.36
35	0.51			0.62	1.33
40	0.47			0.65	1.31
45	0.45			0.67	1.30
50	0.42			0.68	1.28
55	0.40			0.70	1.27
60	0.39			0.71	1.26
65	0.37			0.72	1.25
70	0.36			0.74	1.24
75	0.35			0.75	1.23
80	0.34			0.75	1.23
85	0.33			0.76	1.23
90	0.32			0.77	1.22
95	0.31			0.77	1.21
100	0.30			0.78	1.20

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A\sigma'$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A\sigma'$$

جدول شماره ۱۳-۱۲

ضرایب نمودارهای کنترل مقادیر استاندارد شده (\bar{x}, R, σ)

$$\begin{cases} CL_R = d_4 \sigma' \\ UCL_R = D_4 \sigma' \\ LCL_R = D_3 \sigma' \end{cases}$$

و حدود کنترل انحراف استاندارد مقادیر استاندارد شده برابر است با

$$\begin{cases} CL_\sigma = C_4 \sigma' \\ UCL_\sigma = B_4 \sigma' \\ LCL_\sigma = B_3 \sigma' \end{cases}$$

ضرایب d_4 ، D_4 ، D_3 ، C_4 ، B_4 و B_3 برای مقادیر مختلف حجم نمونه در جدول (۱۲-۱۳ و ۱۲-۱۴) محاسبه شده است.

نمودار کنترل وصفی

هرگاه محصول به دو گروه خوب یا بد، قابل قبول و یا غیر قابل قبول، سالم و یا معیوب تقسیم شود برای کنترل فرایند تولید آن از نمودارهای کنترل وصفی استفاده می‌شود. یک محصول ممکن است از عهده آزمایشات نهائی برآید یا برنیاید؛ یک لامپ ممکن است روشن شود یا روشن نشود؛ اندازه یک قطعه ممکن است در داخل یک محدوده قابل قبول قرار گیرد یا قرار نگیرد؛ اینها نمونه‌های از کاربرد نمودارهای وصفی می‌باشند. در زیر برخی از نمودارهای کنترل وصفی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

نمودار کنترل نسبت اقلام معیوب به کل مجموعه (نمودار P)

اگر محصول به دو گروه قابل قبول و یا غیر قابل قبول تقسیم شود با توزیع دو جمله‌ای قابل توضیح است و برای کنترل فرایند تولید آن محصول از نمودار کنترل P که نسبت اقلام معیوب از یک زمان به زمان دیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد استفاده می‌کنیم. برای این منظور باید ابتدا میانگین نسبت اقلام معیوب نمونه‌ها را به دست آورد و در صورتی که $n < 50$ و $0.80 < P < 0.20$ باشد توزیع دو جمله‌ای به وسیله توزیع نرمال قابل تخمین است بنابراین در این صورت محدوده‌های کنترل در فاصله سه انحراف استاندارد میانگین نسبت اقلام معیوب قرار خواهند گرفت.

تعداد اقلام در نمونه	ضریب تخمین از طریق R	ضریب تخمین از طریق σ
n	$k_1 = R/\sigma'$	$c_1 = \bar{\sigma}/\sigma'$
2	1.128	0.5643
3	1.693	0.7236
4	2.059	0.7979
5	2.326	0.8407
6	2.534	0.8686
7	2.704	0.8882
8	2.847	0.9027
9	2.970	0.9139
10	3.078	0.9227
11	3.173	0.9300
12	3.258	0.9359
13	3.336	0.9410
14	3.407	0.9453
15	3.472	0.9490
16	3.532	0.9523
17	3.588	0.9551
18	3.640	0.9576
19	3.689	0.9599
20	3.735	0.9619
21	3.778	0.9638
22	3.819	0.9655
23	3.858	0.9670
24	3.895	0.9684
25	3.931	0.9696
30	4.086	0.9745
35	4.213	0.9784
40	4.323	0.9811
45	4.415	0.9832
50	4.498	0.9849
55	4.572	0.9863
60	4.639	0.9874
65	4.699	0.9884
70	4.755	0.9892
75	4.806	0.9900
80	4.854	0.9906
85	4.898	0.9912
90	4.939	0.9916
95	4.978	0.9921
100	5.015	0.9925

جدول شماره ۱۳-۱۴

ضرایب k_1 و c_1 برای نمودارهای کنترل مقادیر استاندارد شده

$$\begin{cases} UCL_P = \bar{P} + 3S_P \\ LCL_P = \bar{P} - 3S_P \end{cases}$$

که در روابط بالا \bar{P} برابر است با میانگین نسبت اقلام معیوب نمونه‌ها و S_P برابر است با انحراف استاندارد نسبت اقلام معیوب نمونه‌ها. این کمیت را می‌توان از رابطه زیر براساس توزیع دوجمله‌ای محاسبه نمود.

$$S_P = \sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n}}$$

بنابراین

$$\begin{cases} UCL_P = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n}} \\ LCL_P = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n}} \end{cases}$$

مثال:

رئیس کنترل کیفیت يك شرکت ۶ نمونه ۱۲۰۰ تائی از محصولات تولیدی خود را انتخاب کرده و تعداد معیوب‌های موجود در هر نمونه را به‌صورت زیر به‌دست آورده است.

شماره نمونه	تعداد معیوب در نمونه
۱	۸
۲	۱۱
۳	۸
۴	۸
۵	۸
۶	۱۱

محدوده‌های کنترل برای نمودار P را رسم کرده و نشان دهید که آیا سیستم در کنترل است یا نه؟

$$P = \frac{\text{تعداد کل معیوبها}}{\text{تعداد نمونه} \times \text{اندازه هر نمونه}} = \frac{۵۲}{۱۲۰۰ \times ۶} = ۰.۰۰۰۷۵$$

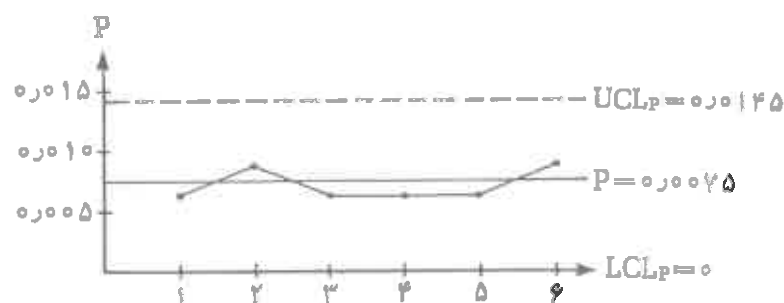
$$S_P = \sqrt{\frac{۰.۰۰۰۷۵(۱ - ۰.۰۰۰۷۵)}{۱۲۰۰}} = ۰.۰۰۰۲۴۹$$

$$UCL_P = ۰.۰۰۰۷۵ + ۳(۰.۰۰۰۲۴۹) = ۰.۰۰۱۴۵$$

$$LCL_P = ۰.۰۰۰۷۵ - ۳(۰.۰۰۰۲۴۹) = ۰$$

حال نسبت اقلام معیوب در هر نمونه را محاسبه کرده و بر روی نمودار کنترل P رسم می‌کنیم.

شماره نمونه	P
۱	۸۱۱۲۰۰ = ۰.۰۰۰۶۶
۲	۱۱۱۱۲۰۰ = ۰.۰۰۰۹۲
۳	۸۱۱۲۰۰ = ۰.۰۰۰۶۶
۴	۸۱۱۲۰۰ = ۰.۰۰۰۶۶
۵	۸۱۱۲۰۰ = ۰.۰۰۰۶۶
۶	۱۱۱۱۲۰۰ = ۰.۰۰۰۹۲



نمودار شماره ۱۳-۱۲

نمونه نمودار کنترل نسبت اقلام معیوب

نمودار تعداد نقصها در هر واحد تولید C

نمودار تعداد نقصها یکی دیگر از نمودارهای وصفی می باشد. هرگاه بخواهیم تعداد نقصهای موجود در یک واحد تولید را کنترل کنیم از نمودار تعداد نقصها استفاده می کنیم. مثلاً تعداد زدگیهای موجود در یک طاقه پارچه، تعداد جوشهای ناقص در بالهای هواپیما و یا تعداد ذرات خارجی در یک حجم معین را می توان با استفاده از نمودار C کنترل نمود. نمودار C بر پایه توزیع بواسون با میانگین $\mu = \lambda$ و واریانس $\sigma^2 = \lambda$ استوار است خط مرکزی و حدود کنترل این نمودار به صورت زیر می باشد.

$$C_L = \bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{m}$$

$$UCL_C = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}}$$

$$LCL_C = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}}$$

که در روابط بالا \bar{C} متوسط تعداد نقصها می باشد.

مسائل و تمرینات فصل دوازدهم

۱۲-۱ تفاوت اساسی در استفاده از سیستم نمونه برداری و سیستم کنترل جریانهای تولیدی چیست؟

۱۲-۲ چرا هر چند وقت یکبار باید کنترل کننده خود مورد بازرسی قرار گیرد؟

۱۲-۳ چرا در کنترل جریانهای تولیدی از متوسط چند نمونه کوچک به جای متوسط یک نمونه بزرگ استفاده می گردد؟

۱۲-۴ یک نمونه تکی با مشخصات $n = 110$ و $C = 3$ در دست می باشد. با فرض اینکه مجموعه در مقابل نمونه خود بسیار بزرگ است با استفاده از جدول توزیع پواسون احتمال قبولی مجموعه هایی که درصد معیوبشان ۵٪، ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۴٪، ۵٪، ۶٪ و ۸٪ باشد به دست آورید.

۱۲-۵ منحنی OC را برای مثال ۲ رسم نمایید. میزان درصد معیوب در مجموعه هایی که احتمال قبولی آنها ۹۵٪، ۵۰٪، و ۱۰٪ است چه میزان می باشد؟

۱۲-۶ منحنی OC را برای نمونه های زیر به دست آورید:

(الف) $n = 100$ ، $C = 1$.

(ب) $n = 100$ ، $C = 2$.

(ج) $n = 100$ ، $C = 3$.

۱۲-۷ منحنی OC را برای نمونه های زیر به دست آورید.

(الف) $n = 100$ ، $C = 1$.

$$(ب) \quad C=2, n=200$$

$$(ج) \quad C=3, n=300$$

۱۲-۸ يك نمونه مورد قبول برای مجموعه‌ای با مشخصات زیر به دست آورید:

$$\alpha = 0.05 \quad AQL = 0.01$$

$$\beta = 0.10 \quad LTPD = 0.08$$

۱۲-۹ يك نمونه مورد قبول برای مجموعه‌ای با مشخصات زیر به دست آورید:

$$\alpha = 0.03 \quad AQL = 0.01$$

$$\beta = 0.05 \quad LTPD = 0.08$$

۱۲-۱۰ يك کارخانه اتومبیل‌سازی بلبرینگ‌های مورد نیاز خود را از سازندگان خارجی

تهیه می‌کند. هر يك از بلبرینگ‌ها در زمان نصب مورد بازرسی قرار می‌گیرند اما با استفاده از این نوع کنترل اگر تعداد بلبرینگ‌های معیوب بیش از حد باشد وقفه در خط تولید ایجاد می‌گردد بنابراین مدیریت تصمیم گرفته هر زمان که بلبرینگ‌ها به کارخانه وارد می‌شوند بخشی از آنها مورد بازرسی قرار گیرد. سرپرست کارگاه معتقد است که بر اثر تجربیات گذشته اگر مجموعه‌های حاوی بلبرینگ‌ها بیشتر از ۵ درصد معیوب داشته باشند در خط تولید وقفه ایجاد می‌شود و اگر مجموعه‌ها يك درصد یا کمتر معیوب داشته باشند تغییری در خط تولید ایجاد نمی‌شود. چون وقفه در خط تولید باعث بروز هزینه‌های گزافی می‌باشد مدیریت در نظر دارد مجموعه‌های بد با احتمال ۹۷.۵٪ یا بیشتر را رد نماید ولی حاضر است ریسک رد کردن مجموعه‌های خوب را تا ۱۰ درصد نیز قبول نماید.

الف - يك سیستم نمونه برداری مناسب برای بلبرینگ‌ها طراحی نمائید. (C و n).

ب - با توجه به نمونه بدست آمده در مرحله الف، احتمال قبولی مجموعه‌ای با ۲٪ معیوب چه میزان است منحنی مشخصات عملیاتی برای نمونه فوق را رسم نمائید.

ج - اگر سیستم نمونه برداری بدست آمده مورد استفاده قرار گیرد، متوسط درصد معیوبی که وارد خط تولید می‌شود چه میزان است؟ (هر مجموعه بلبرینگ شامل ۵۰۰۰ عدد می‌باشد).

۱۲-۱۱ يك کارخانه سازنده وسایل الکتریکی قطعات مورد نیاز خود را از سه تولید

کننده خارجی A، B و C تهیه می نماید در حال حاضر این کارخانه از سیستم نمونه گیری تکی برای قبول قطعات استفاده می کند. روش نمونه گیری بدین صورت است که از هر مجموعه، نمونه ای به اندازه ۱۰ درصد اندازه آن انتخاب شده و اگر در نمونه انتخاب شده يك عدد و یا بیشتر معیوب وجود داشته باشد، مجموعه رد می شود؛ سه تولیدکننده A، B و C قطعات تولیدی خود را در بسته های ۱۰۰، ۲۵۰ و ۱۰۰۰ تایی به ترتیب به این کارخانه تحویل می دهند.

الف - با استفاده از جدول توزیع پواسون درصد معیوب برای هر يك از تولیدکنندگان را برای اینکه مجموعه با احتمال ۰٫۵، ۰٫۵۰ و ۰٫۱۰ رد مورد قبول واقع شود، به دست آورد.

ب - آیا فکر می کنید این کارخانه از سیستم نمونه برداری صحیحی استفاده می کند؟ توضیح دهید.

۱۲-۱۲ در يك نمونه گیری دمرحله ای $N=50$ ، $n_1=3$ ، $C_1=0$ ، $n_2=6$ و $C_2=1$ می باشد با استفاده از فرمولهای ریاضی احتمال قبولی مجموعه ای با ۲ درصد معیوب با استفاده از این نمونه گیری چه میزان می باشد؟

۱۲-۱۳ در يك نمونه گیری دمرحله ای با مشخصات $n_1=150$ ، $C_1=2$ ، $n_2=300$ و $C_2=4$ احتمال قبولی مجموعه هایی که دارای ۱۵ درصد معیوب باشند را بدست آورید (فرض کنید که اندازه مجموعه در مقایسه با نمونه خود بزرگ می باشد).

۱۲-۱۴ يك نمونه گیری دمرحله ای بدین صورت می باشد که يك نمونه ۲ تایی از يك مجموعه ۲۰ تایی انتخاب می شود. اگر هر دو قطعه بازرسی شده سالم باشند، مجموعه مورد قبول واقع می شود. اگر هر دو قطعه معیوب باشند مجموعه رد می شود اگر يك قطعه سالم و دیگری معیوب باشد نمونه دوم به اندازه يك عدد انتخاب می شود، اگر قطعه ای که در نمونه گیری دوم انتخاب شده سالم باشد، مجموعه مورد قبول واقع می شود و اگر معیوب باشد رد می شود.

اگر مجموعه ای با ۲۵ درصد معیوب به وسیله نمونه گیری فوق مورد بررسی قرار گیرد احتمال قبولی این مجموعه چه میزان است؟ (محاسبه احتمال قبولی مجموعه را از طریق محاسبات ریاضی انجام دهید و با محاسبات تقریبی جدول توزیع پواسون مقایسه نمایید).

۱۲-۱۵ شرکتی از سیستم نمونه گیری دمرحله ای استفاده می نماید. در این سیستم اولین

کنترل کیفیت □ ۵۱۱

نمونه به اندازه ۲۵ عدد مورد بازرسی قرار می‌گیرد. اگر تعداد معیوب در نمونه مذکور یک عدد و یا کمتر باشد مجموعه مورد قبول واقع می‌شود ولی اگر میزان معیوب در نمونه ۳ عدد و یا بیشتر باشد مجموعه کلاً رد می‌شود. اگر ۲ عدد معیوب در نمونه اول به دست آید نمونه دوم به اندازه ۷۵ عدد مورد بازرسی قرار می‌گیرد. اگر در نمونه دوم میزان معیوب یک و یا کمتر باشد مجموعه قبول می‌شود در غیر این صورت مجموعه رد می‌شود این شرکت مجموعه‌هایی که میزان معیوب در آنها ۵٪ و یا بیشتر باشد را مورد قبول نمی‌داند. مطلوبست احتمال قبولی مجموعه‌هایی که میزان معیوب آنها ۵٪ باشد. (فرض کنید که مجموعه در مقایسه با نمونه خود بزرگ می‌باشد).

۱۶-۱۲ یک مجموعه با مشخصات $AQL=0.05$ ، $\alpha=0.05$ ، $LTPD=0.10$ و $\beta=0.01$ مورد بررسی قرار می‌گیرد اگر بخواهیم از نمونه برداری مستمر استفاده کنیم محدوده‌های قابل قبول و غیر قابل قبول برابر است با:

$$C_1 = -2687 + 0.0503n$$

$$C_2 = 1762 + 0.0503n$$

و اگر بخواهیم از نمونه برداری تکی استفاده کنیم، نمونه مطلوب با مشخصات $n=150$ و $C=6$ می‌باشد. جدول زیر نتیجه بازرسی پنج مجموعه را نشان می‌دهد. مثلاً در مجموعه شماره یک تعداد شش معیوب وجود داشته است این معیوب‌ها در بررسی دهمین، بیستمین، سی‌امین کالا شناخته شده‌اند. مطلوبست: الف - اگر از سیستم نمونه برداری تکی با $n=150$ و $C=6$ استفاده گردد کدامیک از مجموعه‌ها رد می‌شوند.

مجموعه	تعداد معیوب در نمونه	معیوب در بررسی کالای n ام مشاهده شده است
۱	۶	۱۰ ۲۰ ۳۰ ۴۰ ۵۰ ۶۰
۲	۳	۱۰ ۵۰ ۱۰۰
۳	۰	
۴	۲	۲۰ ۸۰ ۱۲۰ ۱۴۰
۵	۷	۲۰ ۶۰ ۸۰ ۱۰۰ ۱۲۰ ۱۴۰

ب- اگر از سیستم نمونه برداری مستمر استفاده گردد کدامیک از مجموعه‌ها رد می‌شوند؟

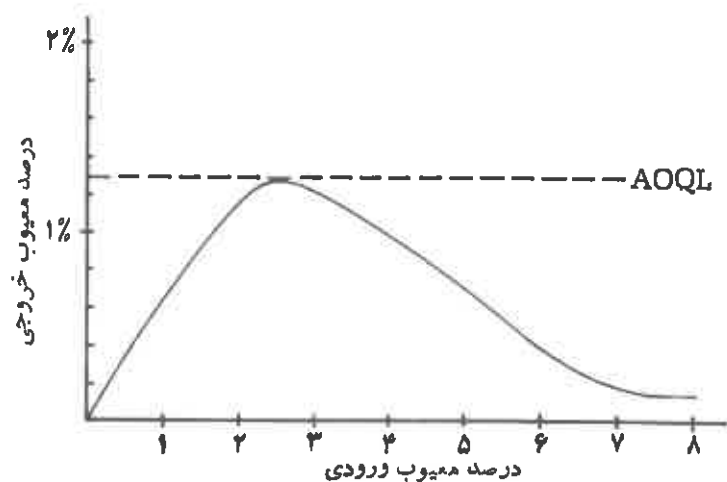
ج- متوسط تعداد بازرسی شده در هر مجموعه توسط هر کدام از روشهای فوق چه میزان می‌باشد؟

۱۷-۱۲ شرکت سامان تولیدکننده کالائی در بسته‌های ۱۰۰۰ تائی می‌باشد. این شرکت با شك و تردید میزان درصد معیوب کالاهای تولیدی خود را بین ۵۱ و ۵۸ درصد تصور می‌کند. اگر هزینه بازرسی هر واحد ۱۰۰ ریال و هزینه وجود هر عدد کالای معیوب مشخص نشده ۲۰۰۰ ریال باشد؛

الف- آیا می‌توان ادعا کرد که صفر یا صد درصد بازرسی باید انجام داد؟
ب- بر اثر تحقیقات بیشتر مشخص شده که درصد معیوب در بسته‌های تولید شده بیشتر از ۴ درصد نمی‌باشد با توجه بداین مسئله چه سیستم نمونه برداری پیشنهاد می‌کنید؟ چرا؟

۱۸-۱۲ در يك کارخانه سازنده رادیوهای ترانزیستوری، هزینه بازرسی هر مقاومت ۲۱ ریال می‌باشد. هزینه‌ای که به علت عدم بازرسی يك مقاومت معیوب به وجود می‌آید ۷۰۰ ریال است این هزینه عبارت از هزینه پس گرفتن رادیو، تعمیر رادیو و برگرداندن آن به مشتری می‌باشد. مدیریت کارخانه معتقد است که اگر درصد معیوب مقاومتها ۵ درصد باشد، سیستم تولید در کنترل بوده و در صورتی که درصد معیوب مقاومتها ۲ درصد یا بیشتر باشد، تولید در کنترل نیست. در حال حاضر این کارخانه از سیستم نمونه برداری تکي با $n=100$ و $C=1$ استفاده می‌نماید. با توجه به اینکه درصد معیوب در مقاومتها همواره بین ۵٪ و ۲٪ می‌باشد چه سیستم نمونه برداری پیشنهاد می‌کنید؟ چرا؟

۱۹-۱۲ شرکت روشن سازنده وسایل الکتریکی اتومبیل می‌باشد. این شرکت محصولات خود را در مجموعه‌های ۱۰۰۰۰ تائی تولید می‌کند. از طرفی مدیریت شرکت برای کسب حسن شهرت سعی دارد متوسط کیفیت کالای خروجی را در سطح ۲ درصد و یا کمتر نگاه دارد. در حال حاضر شرکت روشن از سیستم نمونه برداری تکي با $n=100$ و $C=2$ استفاده می‌نماید. منحنی AOQ برای سیستم مذکور در زیر نشان داده شده است.



الف - متوسط پایین‌ترین سطح کیفیتی که سیستم نمونه‌برداری شرکت تعیین می‌کند چیست؟

ب - تعداد ۲۰ مجموعه از تولیدات شرکت به‌صورت سرشماری مورد بازرسی قرار گرفته‌اند آمار زیر مربوط به نتایج سرشماری مذکور می‌باشد.

درصد معیوب ورودی	۱٪	۳٪	۵٪	۷٪
تعداد دفعات	۳	۸	۸	۱

متوسط کیفیت خروجی در بلند مدت را برآورد نمایید.

ج - نتایج به‌دست آمده از قسمت الف، ب را با هم مقایسه کرده و توضیح دهید.

۱۲-۲۰ شرکت تولیدی مینو از شما می‌خواهد که دستگاه اتوماتیک کنترل حرارت اجاق

اصلی را بازرسی نمایید چون بعضی از کارگرها معتقدند که این دستگاه خراب

شده است. شما می‌خواهید مسئله را از طریق سیستم کنترل کیفیت آماری (ونه از

لحاظ مهندسی) بررسی کنید. بدین منظور آمار زیر را جمع‌آوری نموده‌اید:

سازنده اجاق، این دستگاه را برای درجه حرارت بین 100°F تا 150°F با

پراکندگی $\pm 7^{\circ}\text{F}$ در هر درجه حرارت ضمانت کرده است. محصول تولید

شده که يك نوع شکلات است نیاز به $120^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$ درجه حرارت دارد.

به نظر شما اجاق اصلی شرکت مینو دچار اشکال اساسی می‌باشد یا خیر؟ چه

پیشنهادی دارید؟

تاریخ	میانگین درجه حرارت سه نمونه به فارنهایت	تاریخ	میانگین درجه حرارت سه نمونه به فارنهایت
۶ر۱	۱۲۵	۷ر۲۶	۱۲۵
۶ر۲	۱۲۷	۷ر۲۷	۱۲۲
۶ر۳	۱۲۸	۷ر۲۸	۱۱۶
۶ر۴	۱۳۱	۷ر۲۹	۱۱۸
۶ر۵	۱۳۱	۷ر۳۰	۱۲۴

۲۲-۲۱ کارخانه ای که تولیدکننده سیلندر هوا می باشد سه هفته پیش در شرایطی که جریان تولید در کنترل بود چهار نمونه سه تایی از یک سیلندر هوا را انتخاب کرده و آمار زیر مربوط به اندازه قطر سیلندر چهار نمونه مذکور می باشد:

نمونه	قطر سیلندر هوا به اینچ		
۱	۲ر۱۵	۲ر۵۸	۱ر۹۶
۲	۱ر۹۷	۱ر۹۸	۲ر۵۵
۳	۱ر۹۵	۱ر۹۱	۱ر۹۸
۴	۲ر۵۷	۲ر۵۸	۲ر۵۳

پس از مدتی کارگران این کارخانه به علت اعتصاب دست از کار کشیده و مدیریت کارخانه مجبور شده برای جلوگیری از وقفه در تولید از دانشجویان رشته مدیریت استفاده نماید. امروز دو نمونه ۳ تایی از خط تولید انتخاب شده و نتایج اندازه گیری به صورت زیر می باشد:

نمونه	قطر سیلندر هوا به اینچ		
۱	۲ر۳۵	۲ر۱۵	۱ر۹۲
۲	۱ر۸۵	۱ر۸۷	۱ر۷۸

تولید امروز را نسبت به تولید سه هفته پیش چگونه ارزیابی می نمائید؟

کنترل کیفیت □ ۵۱۵

۱۲-۲۲ اندازه قطر خارجی قطعات دایره‌ای شکل بخصوصی از منحنی نرمال با میانگین ۲۰۰۰ میلیمتر و انحراف استاندارد ۵۰۰۳ میلیمتر تبعیت می‌نماید. چند درصد قطعات اندازه قطرشان بین ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ میلیمتر می‌باشد؟ چند درصد قطعات قطرشان کمتر از ۱۹۹۷ میلیمتر می‌باشد؟

۱۲-۲۳ چرا در کنترل جریانهای تولیدی از متوسط چند نمونه كوچك به جای متوسط يك نمونه بزرگ استفاده می‌گردد؟ جواب خود را با ذكر يك مثال بیان نمائید.

پیوست شماره (۱)

برنامه ریزی خطی

هر سازمان برای تعیین نحوه تخصیص منابع محدود خود باید تصمیماتی اتخاذ نماید. در واقع هیچ سازمانی نمی‌توان یافت که دارای منابع نامحدود باشد بنا بر این وظیفه مدیر عملیاتی آنست که از این منابع محدود در جهت نیل به اهداف سازمان حداکثر استفاده را بنماید. سازمانها می‌توانند اهداف متفاوتی داشته باشند مثلاً:

۱- بانکها معمولاً سرمایه خود را در مواردی به کار می‌گیرند که بیشترین بازدهی را در برداشته باشد همچنین فعالیتهای خود را به صورتی تنظیم می‌کنند که نقدینگی لازم را همواره داشته باشند.

۲- يك سازمان تولیدی خواهان تولید کالاهای خود به بهترین طریق و با کمترین هزینه می‌باشد و برای این منظور روشهای مختلفی وجود دارد و هزینه هر کدام نیز با دیگری متفاوت است.

۳- زمامداران يك کشور در حال توسعه خواهان فراهم کردن خوراك مردم با بیشترین پروتئین و کمترین هزینه می‌باشند. حداقل ده طریق مختلف برای این منظور وجود دارد و هر کدام دارای مقدار پروتئین و هزینه متفاوتی می‌باشند.

هر کدام از سازمانهای بالا دارای يك هدف (حداکثر کردن بازدهی، حداکثر کردن تولید با کمترین هزینه، حداقل کردن هزینه خوراك) و چند محدودیت (پس انداز مردم، ظرفیت کارخانه، خوراك پروتئین دار و بودجه موجود) می‌باشد.

برنامه ریزی خطی يك تکنیک ریاضی در جهت بهترین استفاده از منابع سازمان می‌باشد. کلمه خطی بدین منظور آمده که روابط بین متغیرها همگی خطی هستند.

مشخصات يك برنامه ریزی خطی

مشخصات اصلی يك برنامه ریزی خطی را در قالب يك مثال توضیح می دهیم. فرض کنید در يك كارخانه تولیدی، دو نوع محصول شامل میز و صندلی تولید می شود. این سازمان باید دارای مشخصات زیر باشد:

۱- سازمان باید دارای يك هدف باشد و بین تابع هدف و متغیرهای آن يك رابطه خطی وجود داشته باشد.

۲- راه حل های مختلفی وجود دارد که چند تا از آنها هدف مؤسسه را تأمین می نماید. مثلاً منابع و امکانات را به چه ترکیبی برای تولید میز و صندلی باید تقسیم نمود. آیا منابع باید به نسبت مساوی بین دو محصول فوق بکار گرفته شود؟ و یا نسبت های دیگری هدف مؤسسه را برآورد می سازد؟

۳- منابع و امکانات باید محدود باشند. مثلاً در سازمان تولیدی بالا ظرفیت ماشین آلات محدود است و تا حد بخصوصی می توان از آنها استفاده کرد.

۴- باید بین متغیرهای هدف سازمان و محدودیت های آن در معادلات ریاضی و یا نامعادلات وجود داشته باشد و این روابط باید به صورت خطی باشند. فی المثل تابع هدف در مورد مثال بالا عبارت خواهد بود از:

$$\left(\begin{matrix} \text{تعداد} \\ \text{صندلی} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} \text{يك عدد صندلی} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{تعداد} \\ \text{میزها} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} \text{سود حاصل از} \\ \text{يك عدد میز} \end{matrix} \right) = \text{سود كل}$$

۵- نامنفی بودن متغیرها: تمامی متغیرها باید مثبت و یا صفر باشند و متغیر منفی در مسائل برنامه ریزی خطی مفهومی ندارد.

معادلات و نامعادلات

نامعادلات نیز همانند معادلات يك سری روابط ریاضی بسیار مهمی می باشند. بسیاری از مسائل مدیریت را نمی توان در غالب معادلات دقیقاً مشخص نمود و بدین منظور میزان حداقل و یا حداکثری برای آن روابط وجود دارد. در اینگونه موارد باید از نامعادلات استفاده کرد؛ مثلاً اگر بخواهیم نشان دهیم که هزینه ۵ عدد میز و ۴ عدد صندلی نباید بیشتر از ۱۲۰۰۰۰۰ ریال بشود آن را بدین صورت نمایش می دهیم: $5T + 4C \leq 1200000$ ، و یا اگر بخواهیم بگوئیم که هزینه ۵ میز و ۴ صندلی حداقل باید ۱۲۰۰۰۰۰ ریال باشد آنگاه رابطه $(5T + 4C \geq 1200000)$ مشخص کننده این محدودیت می باشد. بیشتر محدودیت ها در مسائل برنامه ریزی خطی بصورت نامعادلات بیان می شوند.

روش ترسیمی حل مسائل برنامه‌ریزی خطی

تا آنجا که متغیرها (مانند کالاها) بیشتر از سه‌تا نشوند می‌توان از روش ترسیمی استفاده نمود. روش ترسیمی در عمل کاربرد زیادی ندارد ولی برای نشان دادن نحوه حل مسائل با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی بهتر است این روش مورد مطالعه قرار گیرد. فرض کنید که شرکت سازنده میز و صندلی می‌خواهد با توجه به امکانات خود حداکثر سود را بدست آورد.

همانطوری که اشاره شد شرکت مذکور دو نوع کالا تولید می‌کند. این کالاها عبارتند از میز و صندلی. هر دو کالا ابتدا در کارگاه تجاری ساخته شده و سپس در کارگاه رنگ‌ریزی، رنگ می‌شوند. کارگاه تولید ۶۰ ساعت و کارگاه رنگ‌ریزی ۴۸ ساعت وقت آزاد برای تولید این دو کالا در اختیار دارد. هر عدد میز ۲ ساعت در کارگاه تولید و ۲ ساعت در کارگاه رنگ‌ریزی کار دارد. همچنین هر صندلی ۲ ساعت در کارگاه تولید و ۴ ساعت در کارگاه رنگ‌ریزی کار دارد. سود حاصل در تولید هر واحد میز و هر واحد صندلی به ترتیب برابر ۸۰۰۰ و ۶۰۰۰ ریال می‌باشد. شرکت صنایع چوب در نظر دارد ترکیبی از این دو کالا بسازد که سود شرکت حداکثر شود. اگر حرف T را برای میز و حرف C را برای صندلی بکار ببریم آنگاه اطلاعات داده شده در مسئله را می‌توان در جدول (۱-۱-پ) خلاصه نمود.

زمان موجود	صندلی C	میز T	
۶۰	۲	۴	کارگاه تولید
۴۸	۲	۲	کارگاه رنگ‌ریزی
	۶۰۰۰	۸۰۰۰	سود هر واحد (ریال)

جدول ۱-۱-پ

شرکت صنایع چوب ایران

برای حل ترسیمی يك مسئله برنامه‌ریزی خطی باید مراحل زیر را طی کرد:

مرحله اول:

در مرحله اول تابع هدف و محدودیت‌های مسئله مشخص می‌شوند.

تابع هدف: ابتدا اطلاعات داده شده در جدول (۱-۱-پ) را باید بصورت روابط ریاضی نوشت. تابع هدف رابطه بین خروجی سیستم و سود را مشخص می کند. اگر تابع هدف را با حرف Z نشان دهیم آنگاه می توان تابع هدف برای شرکت صنایع چوب را بصورت زیر نشان داد:

$$Z = 8000T + 6000C$$

محدودیت ها: مدت زمانی که برای ساخت هر دو کالا مصرف خواهد شد مسلماً نباید بیشتر از کل زمان موجود در کارگاهها باشد بعبارت دیگر حاصلضرب زمان لازم برای ساخت یک میز به علاوه حاصلضرب زمان لازم برای ساخت یک صندلی در تعداد صندلی ها نباید در هر دو کارگاه بیش از زمان تعیین شده باشد بنابراین:

$$2T + 2C \leq 60 \quad \text{محدودیت کارگاه تولید}$$

$$2T + 2C \leq 48 \quad \text{محدودیت کارگاه رنگرزی}$$

برای داشتن یک جواب قابل قبول باید متغیرهای C و T هر دو مثبت و یا حداقل برابر صفر باشند یعنی:

$$T \geq 0 \text{ و } C \geq 0$$

مرحله دوم: ترسیم محدودیت ها

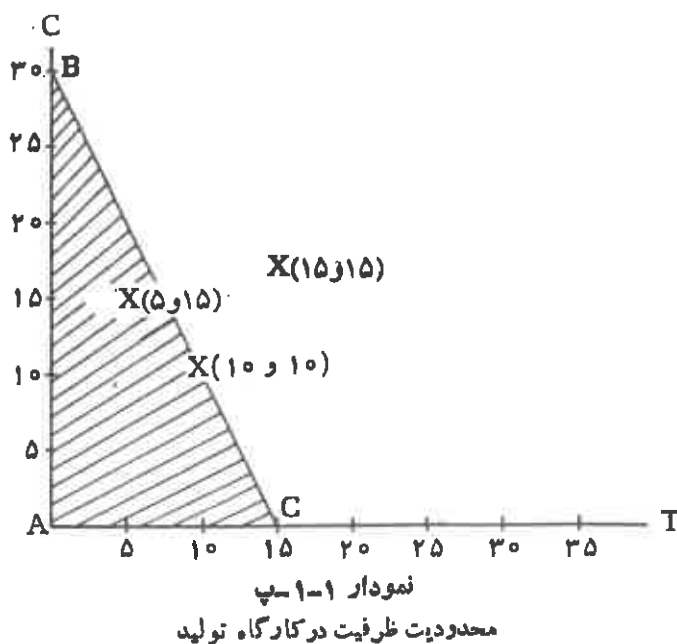
– در روی محور مختصات، متغیر T را روی محور افقی و متغیر C را روی محور عمودی نشان داده و سپس نامعادلات محدودیت های مسئله را رسم می نمایم. برای رسم نامعادله $2T + 2C \leq 60$ ابتدا فرض می کنیم که تمام زمان موجود در کارگاه تولید صرف تولید صندلی شود و میز اصلاً تولید نشود آنگاه خواهیم داشت:

$$(T = 0 \text{ و } C \leq 30)$$

همچنین فرض کنیم که تمام زمان موجود در کارگاه تولید صرف تولید میز شود و صندلی اصلاً تولید نشود. در این صورت خواهیم داشت:

$$(T \leq 15 \text{ و } C = 0)$$

با تعیین دو نقطه $B(0, 30)$ و $C(15, 0)$ در روی محور مختصات و وصل این دو



نقطه بیکدیگر نامعادله $۴T + ۲C \leq ۶۰$ را رسم کرده ایم. نمودار (۱-۱-۱) خط BC را نشان می دهد هر ترکیبی از تولید میز و صندلی روی خط BC تمامی زمان موجود در کارگاه تولید را مصرف خواهد کرد. مثلاً برای تولید ۱۰ میز و ۱۰ صندلی [نقطه (۱۰، ۱۰)] میزان زمان لازم از کارگاه تولید عبارت خواهد بود از:

$$(۱۰ \times ۴) + (۱۰ \times ۲) = ۶۰$$

هر نقطه زیر خط BC و بین دو محور T و C قادر به استفاده تمام زمان موجود در کارگاه تولید نخواهد بود و مقداری زمان بلااستفاده در کارگاه، باقی خواهد ماند مثلاً تولید ۵ میز و ۱۵ صندلی (نقطه ۵ و ۱۵) زیر خط BC قرار دارد و مدت زمان لازم برای این ترکیب تولید برابر خواهد بود با: $۵ \times ۴ + ۱۵ \times ۲ = ۵۰$. بنابراین هر نقطه ای روی خط BC و زیر آن (بین دو محور T و C) در نامعادله $۴T + ۲C \leq ۶۰$ صدق می کند و نقطه ها شورخورده در نمودار (۱-۱-۱) (منطقه ABC) در واقع شمای ترسیمی نامعادله فوق می باشد. هر ترکیب تولیدی که بالای خط BC قرار داشته باشد مدت زمانی بیش از آنچه در کارگاه تولید وجود دارد لازم خواهد داشت و در نتیجه در نامعادله $۴T + ۲C \leq ۶۰$ صدق نخواهد کرد مثلاً تولید ۱۵ میز و ۱۵ صندلی [نقطه (۵ و ۱۵)] زمانی معادل $(۲ \times ۱۵ + ۴ \times ۱۵ = ۹۰)$ لازم خواهد داشت که بیش از ۶۰ ساعت موجود می باشد. بنابراین نقاطی که بالای خط

BC قرار دارند در محدوده امکانات مسئله نبوده و مورد قبول نمی باشند. محدودیت ظرفیت کارگاه رنگرزی را نیز می توان همانند محدودیت ظرفیت کارگاه تولید رسم نموده نمودار (۱-۲-پ) رسم محدودیت ظرفیت برای کارگاه رنگرزی و ناحیه مورد قبول (AEF) را نشان می دهد. برای داشتن میز و صندلی تکمیل شده باید از هر دو کارگاه استفاده نمود. این بدان معنی است که بهترین ترکیب تولید میز و صندلی بین مناطق مشترک دو نمودار فوق قرار داده. مناطق مشترک محدودیت های دو کارگاه در نمودار (۱-۳-پ) نشان داده شده است. منطقه AEDC در نمودار فوق حاوی کلید ترکیب های ممکن می باشد که در نامعادلات زیر صدق می کنند:

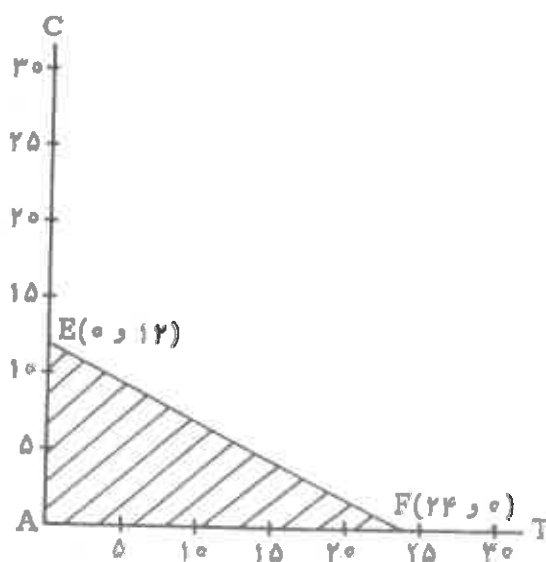
$$۲T + ۲C \leq ۶۰$$

$$۲T + ۲C \leq ۴۸$$

$$T \geq ۰$$

$$C \geq ۰$$

فی المثل برای تولید ۵ میز و ۲ صندلی داریم:



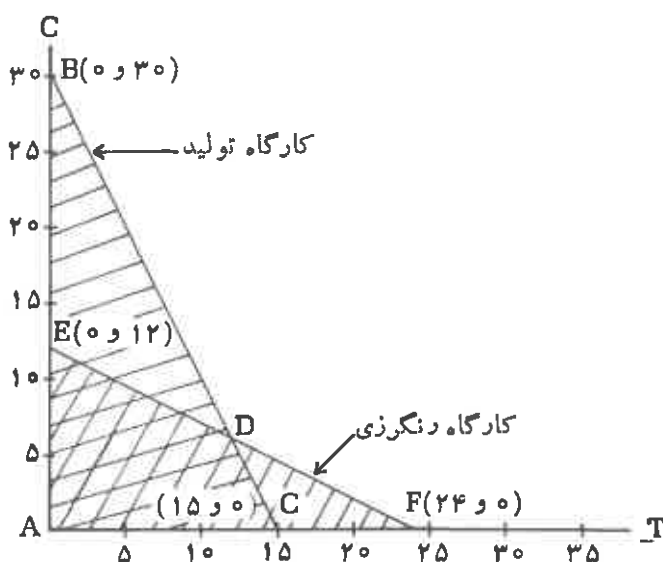
نمودار ۱-۲-پ

محدودیت ظرفیت در کارگاه رنگرزی

زمان در کارگاه تولید $۲T + ۲C \leq ۶۰$

$$۲ \times ۵ + ۲ \times ۲ = ۲۲$$

$$۲۰ + ۴ = ۲۴$$



نمودار ۱-۳ پ

شمای ترسیمی محدودیت‌های مسئله

زمان در کارگاه رنگرزی $۲T + ۴C \leq ۴۸$

$$۲ \times ۵ + ۴ \times ۲ = ۱۸$$

بنابراین ترکیب تولید ۵ میز و صندلی در هر دو نامعادله صدق می‌کند و یک جواب قابل قبول خواهد بود ولی این بدان معنی نیست که این جواب بهترین جواب قابل قبول است.

مرحله سوم: تعیین نقطه تلاقی دو محدودیت (نقطه D)

اگر نقطه D را محاسبه نمایم، منطقه قابل قبول دقیقاً مشخص شده است زیرا نقاط A، E و C قبلاً تعیین شده‌اند. برای تعیین نقطه D، دو نامعادله کارگاه تولید و رنگرزی

را بصورت معادله نوشته و بصورت دو معادله با دو مجهول حل کرده و نقطه مشترك را بدست می آوریم در این صورت داریم:

$$۲T + ۲C = ۶۰$$

$$۲T + ۲C = ۲۸$$

$$T = ۱۲ \text{ و } C = ۶$$

با این نقطه D شامل، تولید ۱۲ میز و ۶ صندلی می باشد [نقطه D (۶ و ۱۲)].

مرحله چهارم:

چهار گوشه منطقه مشترك هاشور خورده، برای تعیین بهترین ترکیب تولید مورد آزمون قرار می گیرند.

$$۸۰۰۰ \times ۰ + ۶۰۰۰ \times ۰ = ۰$$

نقطه A (۰ و ۰)

$$۸۰۰۰ \times ۰ + ۶۰۰۰ \times ۱۲ = ۷۲۰۰۰$$

نقطه B (۰ و ۱۲)

$$۸۰۰۰(۱۵) + ۶۰۰۰(۰) = ۱۲۰۰۰۰$$

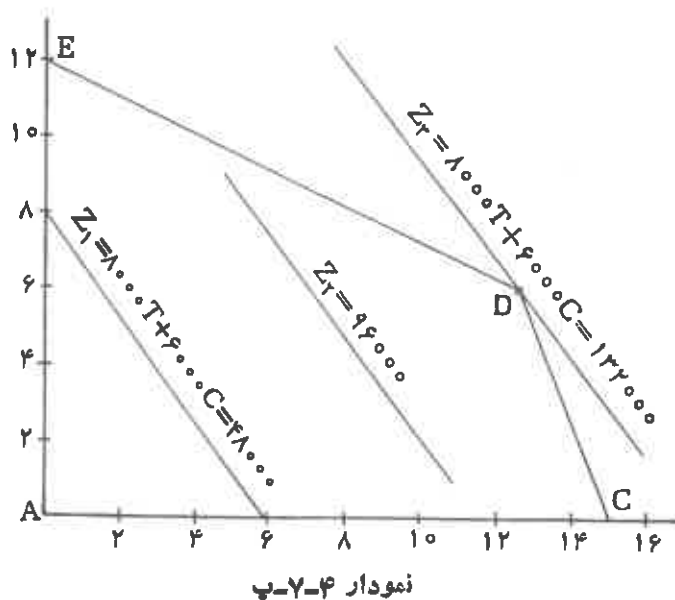
نقطه C (۱۵ و ۰)

$$۸۰۰۰(۱۲) + ۶۰۰۰(۶) = ۱۳۲۰۰۰$$

نقطه D (۱۲ و ۶)

بنابراین نقطه D بیشترین سود را دربر خواهد داشت.

برای تعیین بهترین ترکیب تولید (نقطه D) بجای محاسبه نقاط فوق می توان از ترسیم تابع هدف بهترین ترکیب را بدست آورد. برای این منظور تابع هدف را برای يك مقدار ثابت رسم می نمایم. کلیه نقاط بر روی این خط ارزشی ثابت و برابر مقدار ثابت فرض شده هستند. با تغییر مقدار تابع، يك سری خطوطی به وجود می آیند كه همگی با يكدیگر موازی هستند. ما به دنبال آن تابع هدفی هستیم كه اولاً حداكثر بوده و ثانیاً حداقل يك نقطه مشترك با منطقه قابل قبول داشته باشد. در نمودار (۴-۱) تابع هدف ابتدا برای يك مقدار ثابت دلخواه مثلاً ۴۸۰۰۰ ریال $(۸۰۰T + ۶۰۰C = ۴۸۰۰۰)$ رسم شده $(Z_۱)$ و سپس به موازات خود به طرف منطقه قابل قبول انتقال داده می شود كه آن را $Z_۲$ و $Z_۳$ می نامیم. خط $Z_۲$ در این نمودار نقاط مشتركی با منطقه قابل قبول دارد ولی حداكثر مقدار ممكن نیست زیرا خطوط دیگری می توان رسم نمود كه ارزش بیشتری داشته و هنوز در منطقه قابل قبول باشد. خط $Z_۴$ اگر به موازات خود انتقال پیدا كند ارزش بیشتری پیدا خواهد كرد اما دیگر نقطه مشتركی با منطقه قابل قبول نخواهد داشت بنابراین تنها خطی كه بیشترین مقدار ممكنه را داشته و حداقل يك نقطه مشترك با منطقه قابل قبول



تعیین بهترین ترکیب تولید از طریق ترسیمی

دارد، خط Z_3 می باشد. جواب مسئله محل تلاقی خط Z_3 با منطقه قبولی (محل تلاقی محدودیت‌های مسئله) می باشد.

خلاصه روش ترسیمی برنامه ریزی خطی در مسائل حداکثر سازی

۱- هدف و محدودیت‌های مسئله را به صورت معادلات و نامعادلات ریاضی درآورید.

۲- محدودیت‌های مسئله را رسم کنید.

۳- نقاطی که منطقه قابل قبول را مشخص می کند پیدا کنید.

۴- تابع هدف را برای یک مقدار ثابت رسم کرده و آن را به موازات خود انتقال

دهید تا جایی که اولاً بیشترین مقدار ممکنه را دارا باشد و ثانیاً حداقل یک نقطه مشترک با ناحیه قابل قبول دارا باشد.

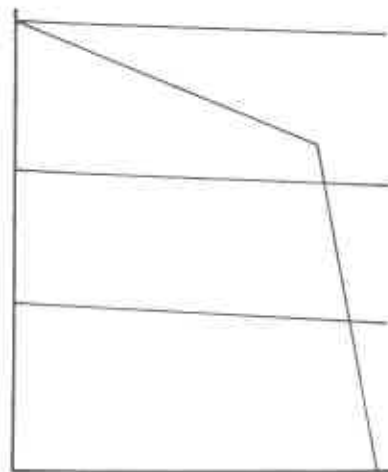
مباحثی پیرامون جوابهای برنامه ریزی خطی

- نقاط گوشه‌ای: همان طور که نشان دادیم نقطه D بیشترین سود را عاید شرکت

نمود حال فرض کنید که سود حاصل از ساخت یک میز و صندلی به ترتیب به ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰

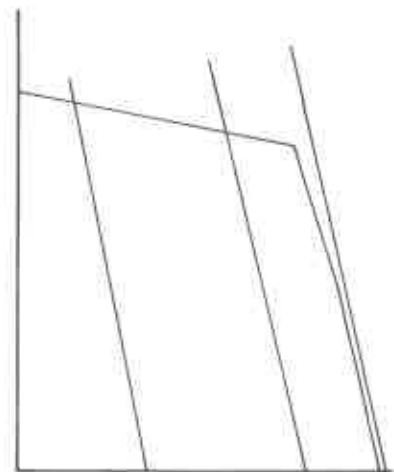
ریال تغییر یابند. تابع هدف برای مقادیر مختلف در نمودار شماره (۵-۱-۳) برای وضع

جدید رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تابع هدفی که از مرکز بیشترین فاصله را دارد و هنوز در منطقه قابل قبول باشد از نقطه E می‌گذرد. به عبارت دیگر نقطه E بهترین ترکیب تولید را ارائه می‌دهد (۱۲ صندلی و صفر میز).
 به همین صورت اگر سود حاصل از ساخت يك واحد میز و صندلی به ترتیب به ۱۲۰۰ و ۳۰۰ تغییر یابد نقطه C بهترین ترکیب تولید را ارائه می‌دهد. نمودار شماره (۶-۱-پ) این وضع را نشان می‌دهد.



نمودار شماره ۶-۱-پ

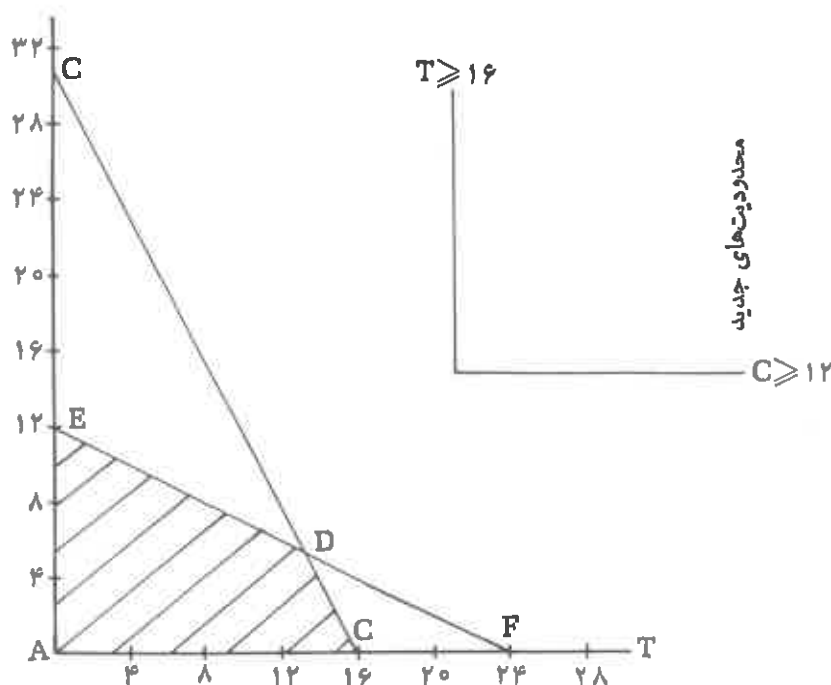
$$Z = 1200T + 300C$$



نمودار شماره ۵-۱-پ

$$Z = 200T + 1000C$$

– ناسازگاری معادلات: ناسازگاری معادلات یعنی هیچگونه راه حلی که در منطقه قابل قبول باشد وجود ندارد. به عبارت دیگر هیچ منطقه‌ای که شامل تمام محدودیت‌ها باشد وجود ندارد. مثلاً اگر در مثال گذشته علاوه بر محدودیت‌های پیش گفته مدیر بازرگانی مؤسسه نیز بخواهد حداقل ۱۶ میز و ۱۲ صندلی در ترکیب تولید داشته باشد. آنگاه همان‌طور که در شکل (۷-۱-پ) نشان داده شده است بین محدودیت‌های قبلی (منطقه AEDC) و محدودیتی که مدیر بازرگانی تعیین نموده هیچگونه وجه مشترکی وجود ندارد. بنابراین هیچگونه راه حلی برای این مشکل وجود ندارد مگر اینکه مدت زمان موجود در کارگاهها افزایش یابد.

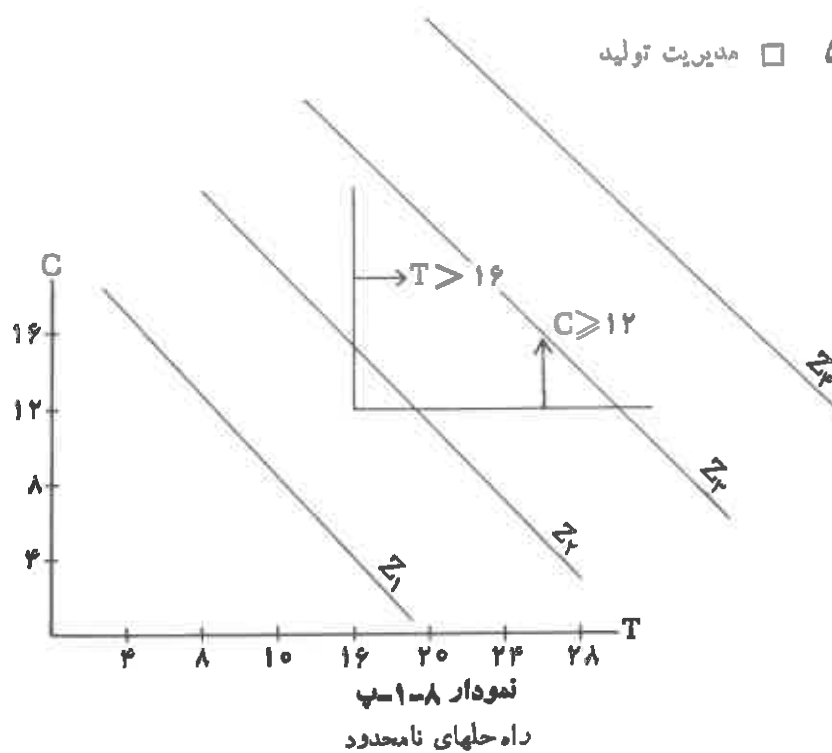


نمودار ۷-۱ پ
ناسازگاری محدودیت‌ها

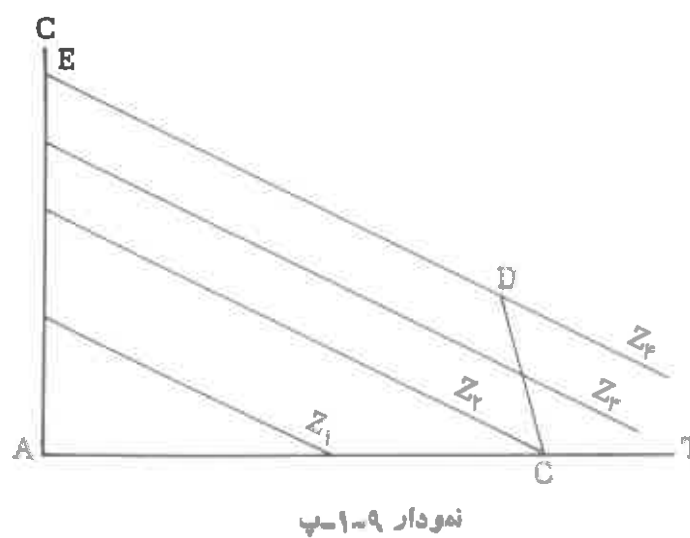
وجود راه‌حل‌های نامحدود: يك مسئله برنامه‌ریزی خطی وقتی نامحدود است که جواب معادله در منطقه قابل قبول بتواند بینهایت بزرگ شود. اما از آنجا که در واقعیت منابع محدود هستند و نمی‌توان با داشتن منابع محدود سود را به میزان دلخواه افزایش داد، اگر در مسئله‌ای به وجود راه‌حل‌های نامحدود برخوردیم مسلماً در مدل‌سازی و فرموله کردن مسئله اشتباهی رخ داده است؟ نمودار (۸-۱ پ) مثال شرکت صنایع چوب را فقط با محدودیت‌هایی که مدیر بازرگانی تعیین نموده نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار ملاحظه می‌شود سود را می‌توان به هر میزان دلخواه افزایش داد به طوری که در شرایط محدودیت (داشتن حداقل ۱۶ میز و ۱۲ صندلی) صدق کند.

وجود چند راه‌حل بهینه: اگر تابع هدف که به ازاء مقادیر ثابت رسم می‌شود بر روی يك ضلع منطقه قبولی منطبق شود در آن صورت تمام نقاطی که در روی آن ضلع

1. Unboundedness



وجود دارند جواب مسئله می‌باشند. در شکل (۹-۱ پ) تابع هدف بر روی خط ED منطبق شده است بنابراین هر ترکیبی از میز و صندلی که بر روی خط ED قرار گیرد سود شرکت را حداکثر خواهد کرد.



روش ترسیم در مسائل حداقل سازی

بسیاری از مدیران در فعالیتهای خود با مسائل حداقل سازی به جای حداکثر سازی روبرو هستند. در این گونه موارد نیز می توان با استفاده از روش ترسیمی يك راه حل بهینه به دست آورد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید:

مثال:

برای تولید ۵۰۰ تن غذای دام باید از دو نوع ماده اولیه اصلی P_1 و P_2 استفاده نمود هزینه هر تن ماده اولیه P_1 برابر ۵۰۰۰ ریال و هر تن ماده اولیه P_2 برابر ۸۰۰۰ ریال می باشد این دو ماده اولیه طوری باید ترکیب شوند که در آن حداقل ۲۰۰ تن ماده اولیه P_2 وجود داشته و از ماده اولیه P_1 بیشتر از ۴۰۰ تن وجود نداشته باشد.

مرحله ۱:

اطلاعات مسئله را می توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$\text{حداقل هزینه} = 5000P_1 + 8000P_2$$

محدودیت های مسئله عبارتند از:

$$P_2 \leq 400$$

$$P_2 \geq 200$$

$$P_1 + P_2 = 500$$

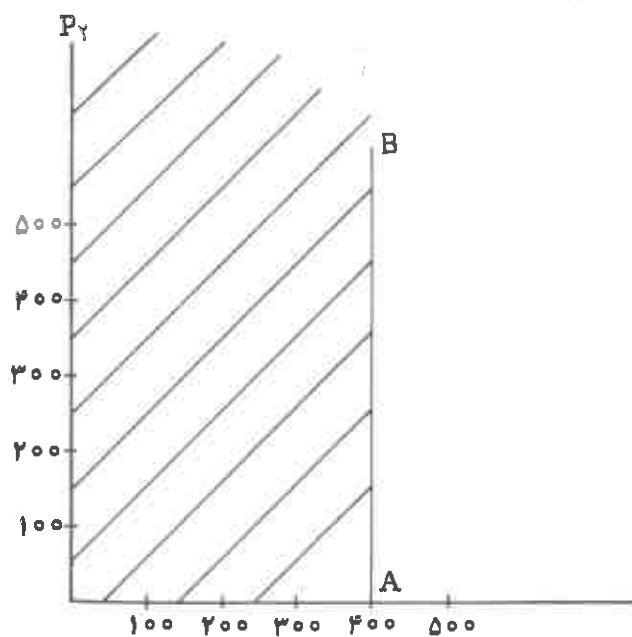
$$P_1, P_2 \geq 0$$

مرحله ۲:

قدم بعدی رسم محدودیت های مسئله می باشد: در روی محور مختصات P_1 را روی محور X ها و P_2 را روی محور Y ها نشان داده و آنگاه محدودیت $P_2 \leq 400$ را به صورت يك خط عمود بر محور X ها در محل ۴۰۰ تن رسم می کنیم. هر مقداری که در سمت چپ این خط و روی این خط قرار گیرد در نامعادله $P_2 \leq 400$ صدق می کند نمودار (۱۰-۱-پ).

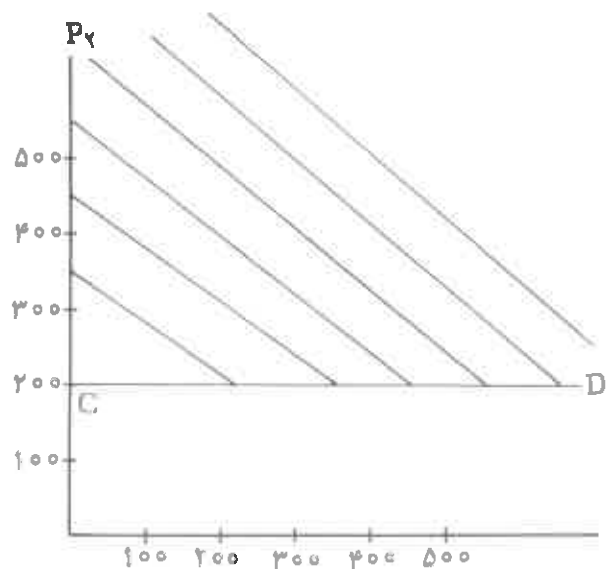
محدودیت دوم، $P_2 \geq 200$ را نیز روی محور Y ها خطی افقی در محل ۲۰۰ تن رسم می نمایم هر مقداری که بالای این خط و روی آن قرار گیرد در نامعادله $P_2 \geq 200$ صدق می کند. نمودار (۱۱-۱-پ).

۵۳۰ □ مدیریت تولید



نمودار ۱-۱۰ پ

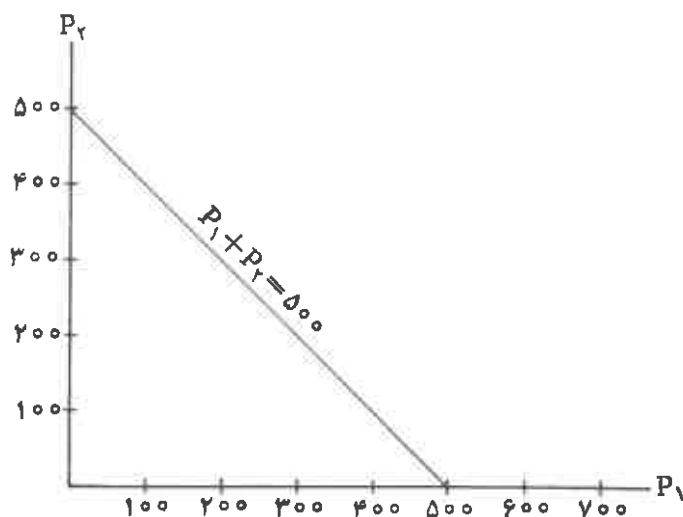
محدودیت $P_1 \leq 400$



نمودار ۱-۱۱ پ

محدودیت $P_2 \geq 200$

محدودیت سوم، $P_1 + P_2 = 500$ بدین معنی است که شرکت خوراک دام دقیقاً میزان خواسته شده خود را به دست خواهد آورد در نمودار (۱۲-۱-پ) خط EF این محدودیت را نشان می‌دهد. هر ترکیبی از P_1 و P_2 که روی این خط قرار گیرند در معادله $P_1 + P_2 = 500$ صدق می‌کند.



نمودار ۱۲-۱-پ

رسم محدودیت $P_1 + P_2 = 500$

مرحله ۳:

هر ترکیبی از این دو ماده اولیه باید هر سه محدودیت را دارا باشد. این سه محدودیت در نمودار (۱۳-۱-پ) روی یک نمودار رسم شده‌اند. نقاطی که روی پاره خط EG قرار گیرند در هر سه محدودیت صدق می‌کنند زیرا:

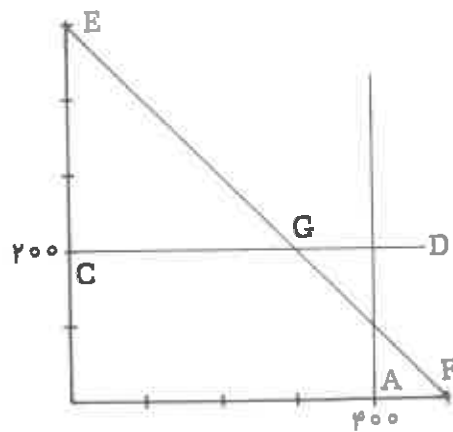
– این ترکیب دقیقاً ۵۰۰ تن می‌باشد

– مقدار $P_1 \leq 400$ خواهد بود

– مقدار $P_2 \geq 200$ خواهد بود

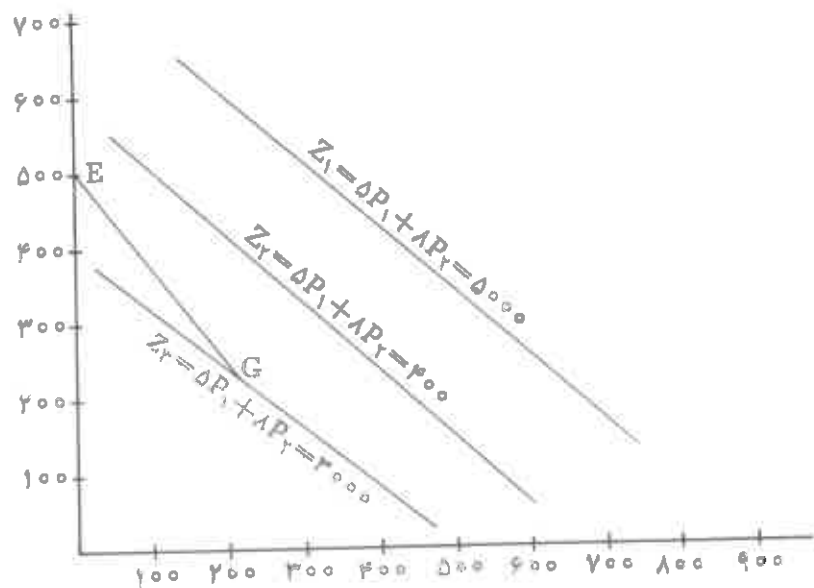
مرحله ۴:

در روی پاره خط EG نقاط بسیاری وجود دارد که هر کدام بیان‌کننده ترکیب



نمودار ۱۳-۱ پ

متفاوتی از P_1 و P_2 می باشد. در اینجا این سؤال مطرح می شود که کدام ترکیب کمترین هزینه را در بر دارد. بدین منظور همانند مسائل حداکثر سازی، تابع هدف را برای یک مقدار ثابت رسم می نماییم. در این حالت ما به دنبال تابع هدفی هستیم که اولاً حداقل بوده و ثانیاً حداقل یک نقطه مشترک با منطقه قابل قبول داشته باشد. در نمودار (۱۳-۱ پ)



نمودار ۱۳-۱ پ

پاره خط EG و بهترین ترکیب تولید

خط Z_1 برای يك مقدار ثابت برابر ۵۰۰۰ ريال رسم شده و سپس به موازات خود انتقال داده شده است. خط Z_2 حداقل مقدار ممکن را در برداشته و در محل G با نقطه قابل قبول نقطه مشترك دارد. بنا براین نقطه C بهترین ترکیب را ارائه می دهد. نقطه G را می توان از مساوی قراردادن دو پاره خطی که از آن نقطه می گذرند نیز به دست آورد (پاره خط EF و DC در نمودار ۱۳-۱-پ)

$$\begin{cases} P_1 = 200 \\ P_1 + P_2 = 500 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_2 = 200 \\ P_1 = 300 \end{cases}$$

چون P_1 کمتر از ۲۰۰ و P_2 بیشتر یا مساوی ۲۰۰ است جوابهای مسئله در محدوده قابل قبول می باشند.

روش سیمپلکس در حل مسائل برنامه ریزی خطی

- تشکیل اولین راه حل پایه ای به نام راه حل عملی شماره يك

مثال شرکت صنایع چوب که در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفت را با استفاده از روش سیمپلکس حل می کنیم هدف شرکت صنایع چوب را می توان به صورت زیر فرموله کرد

$$\text{سود} = 8000T + 6000C$$

محدودیت های مسئله عبارتند از:

$$4T + 2C \leq 60 \text{ مونتاژ}$$

$$2T + 4C \leq 48 \text{ رنگرزی}$$

- تبدیل نامعادلات به معادلات:

اولین قدم در تشکیل اولین تابلوی سیمپلکس تبدیل نامعادلات به معادلات می باشد. همانطور که قبلاً نیز مطرح شد بهترین ترکیب تولید میز و صندلی لزوماً استفاده از تمام زمانهای موجود در کارگاههای نجاری و رنگرزی نمی باشد بنا براین به هر يك از نامعادلات يك متغیر كمکی به نام متغیر كمبود اضافه کرده و در نتیجه نامعادله را به معادله تبدیل می کنیم در مورد مثال فوق متغیر كمبود عبارتست از مدت زمانی که در هر قسمت بلا استفاده باقی می ماند. اگر متغیر كمبود در کارگاه نجاری را با S_A و متغیر كمبود در کارگاه رنگرزی را با S_F نشان دهیم آنگاه داریم:

1. Slack-Variable

S_A = مدت زمان استفاده نشده از قسمت کارگاه

S_F = مدت زمان استفاده از قسمت رنگریزی

به عبارت دیگر S_A عبارتست از کل زمان موجود در کارگاه نجاری (یعنی ۶۰ ساعت) منهای ساعاتی که کارگاه نجاری مشغول ساختن میز و صندلی است. به همین صورت S_F عبارتست از کل زمان موجود در کارگاه رنگریزی (یعنی ۴۸ ساعت) منهای ساعاتی که کارگاه رنگریزی مشغول رنگ کردن میز و صندلی می باشد. این دو متغیر را با زبان ریاضی می توان به صورت زیر نشان داد:

$$S_A = 60 - 2T - 2C$$

$$S_F = 48 - 2T - 4C$$

فی المثل اگر در کارگاه نجاری ۵ میز و سه صندلی درست شوند متغیر کمبود کارگاه عبارتست از:

$$S_A = 60 - 2(5) - 2(3) = 34$$

و اگر در واحد رنگریزی ۲ میز و شش صندلی رنگریزی گردند، متغیر کمبود کارگاه رنگریزی عبارتست از:

$$S_F = 48 - 2(2) - 4(6) = 16$$

بنابراین با استفاده از متغیرهای کمبود می توان نامعادلات محدودیت را به صورت زیر به معادلات تبدیل نمود:

$$2T + 2C + S_A = 60 \quad \text{کارگاه نجاری}$$

$$2T + 4C + S_F = 48 \quad \text{کارگاه رنگریزی}$$

در روش سیمپلکس هر مجهولی که در يك معادله ظاهر شود باید در تمام معادلات دیگر نیز ظاهر گردد. مجهولی که در يك معادله وجود ندارد را می توان با معرفی ضریب صفر در آن معادله به وجود آورد. مثلاً متغیرهای کمبود S_A و S_F که بیان کننده زمانهای استفاده نشده در دو کارگاه می باشد طبعاً سودی عاید شرکت نمی کنند ولی می توان آنها را با ضریب صفر در معادله هدف نشان داد. همچنین متغیر S_A که نمایانگر زمان استفاده نشده در کارگاه نجاری است را می توان در معادله کارگاه رنگریزی با ضریب صفر معرفی نمود. در این صورت مشکل حساب چوب را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$Z_{Max} = 8000T_0 + 6000C + 0S_A + 0S_F + \dots$$

به شرطی که

$$۲T + ۲C + S_A + ۰S_F = ۶۰ \quad (-۱)$$

$$۲T + ۲C + ۰S_A + S_F = ۴۸ \quad (-۲)$$

تابلوی سیمپلکس: هر تابلوی سیمپلکس دارای اجزاء زیرمی باشند:

۱- جدول (۱-۲) دو معادله محدودیت شرکت صنایع چوب را نشان می دهد.

سود هر واحد C_j	ترکیب تولید ↓	مقادیر ثابت ↓	متغیرها				ردیف متغیرها ←
			۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰	
			T	C	S_A	S_F	
۰	S_A	۶۰	۲	۲	۱	۰	
۰	S_F	۴۸	۲	۲	۰	۱	

جدول ۱-۲ پ

اجزای تابلوی سیمپلکس

اعداد درون تابلوی سیمپلکس را ضرایب فنی می نامند. ردیف ۱، ضرایب معادله

$۲T + ۲C + S_A + ۰S_F = ۶۰$ را نشان داده و ردیف ۲ بیانگر ضرایب معادله

$۲T + ۲C + ۰S_A + S_F = ۴۸$ می باشد.

۲- هر يك از ستون متغیرها، تمامی ضرایب آن متغیر را دربردارد، مثلاً در زیر

ستون T نوشته شده (۲) و در زیر ستون C، (۲) آمده است.

۳- مقادیر ثابت (۶۰ و ۴۸) در قسمت چپ معادله قرار گرفته است.

حال به تشریح اولین تابلوی سیمپلکس با يك راه حل پایه ای به نام راه حل پایه شماره

۱ می پردازیم. ساده ترین راه برای تشکیل اولین راه حل قابل قبول آنست که فرض کنیم

شرکت صنایع چوب هیچگونه میز و صندلی نخواهد ساخت و تمام زمان کارگاههای نجاری

و رنگرزی بلا استفاده خواهد ماند. در این صورت

$$T = ۰ \quad C = ۰$$

$$S_A = ۶۰ - ۲(۰) - ۲(۰) = ۶۰$$

$$S_F = ۴۸ - ۲(۰) - ۲(۰) = ۴۸$$

و سود عبارت خواهد بود از

$$= 8000(T) + 6000(C) + S_A + S_F = 0$$

بنابراین اولین تابلوی سیمپلکس به صورت زیر درمی آید

ترکیب تولید	میزان ثابت	T	C	S_A	S_F
S_A	۶۰	۲	۲	۱	۰
S_F	۲۸	۲	۲	۰	۱

جدول شماره ۳-۱-پ

اولین تابلوی سیمپلکس با راه حل پایه ای شماره ۱

نرخ تبدیل در تابلوی سیمپلکس: ستون C در جدول (۲-۱-پ) نمایانگر سود هر واحد متغیرهای S_F و S_A می باشد. مثلاً عدد صفر که در سمت چپ ردیف S_A قرار دارد نشان می دهد که سود هر واحد S_A برابر صفر می باشد. دو ستون آخر اولین تابلوی سیمپلکس حاوی ضرایب متغیرهای کمبود می باشد. ستون چهارم و پنجم در جدول مذکور نیز ضرایب متغیرهای پایه ای T و C را نشان می دهد.

فی المثل عدد (۲) در ستون T به ما می گوید که برای ساختن یک واحد T باید ۲ ساعت از متغیر S_A (متغیر کمبود کارگاه نجاری) کسر گردد. به همین صورت عدد (۲) در ستون C نشان می دهد که برای تولید یک واحد C می بایست ۲ ساعت از متغیر S_A گرفته شود. بنابراین ضرایب ستونهای چهارم و پنجم نمایانگر نرخ تبدیل می باشند. عدد «۱» زیر ستون S_A به ما می گوید که برای داشتن یک ساعت از متغیر S_A باید یک ساعت از S_A داده شود. برای محاسبه سود هر راه حل و آگاهی از امکان داشتن راه حل بهتر نیاز به معرفی دو ردیف دیگر در اولین تابلوی سیمپلکس به نام ردیف های Z_1 و $Z_2 - C_1$ می باشد. این دو ردیف در جدول (۴-۱-پ) نشان داده شده اند. مقادیر ردیف Z_1 زیر ستون «مقدار» نشانگر سود کل حاصل از نتیجه راه حل (که در این مورد صفر است) می باشد. در اولین راه حل سیمپلکس ۶۰ ساعت زمان استفاده نشده در کارگاه نجاری ($S_A = 60$) وجود دارد. توجه کنید که این راه حل برابر مبدأ مختصات در روش ترسیمی شکل (۱-۱-پ) می باشد. سود کل حاصل از این راه حل برابر است با حاصل ضرب سود یک واحد S_A (صفر) در مقدار S_A

(۶۰ ساعت) به علاوه حاصل ضرب سود يك واحد S_F (صفر) در مقدار S_F (۴۸ ساعت). این محاسبات در زیر انجام شده است.

$$Z = 0 \times 60 + 0 \times 48 = 0$$

چهار مقدار Z_j زیرستون متغیرها (همگی صفر) نشانگر میزان کاهش سود به واسطه افزایش يك واحد از متغیرها در ترکیب تولید (S_F, S_A, C, T) می باشد. مثلاً اگر بخواهیم يك واحد T بسازیم عددی (۴) زیرستون T به ما می گوید که نیاز به ۴ ساعت S_A و ۲ ساعت S_F می باشد. از آنجا که زمانهای متغیرهای S_A و S_F ارزشی ندارند، کاهش آنها نیز لطمه ای به سود نمی زند به عبارت دیگر

تعداد ساعات S_F که برای ساختن يك واحد T نیاز است \times سود حاصل از يك واحد S_F + تعداد ساعات S_A که برای ساختن يك واحد T نیاز است \times سود حاصل از يك واحد S_A = باعث افزایش يك واحد T در ترکیب تولید می باشد

$$\text{کاهش سود} = 4 \times 0 + 2 \times 0 = 0$$

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
C_j	S_A	۶۰	۴	۲	۱	۰
	S_F	۴۸	۲	۲	۰	۱
۰	Z_j	۰	۰	۰	۰	۰
۰	$C_j - Z_j$		۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰

جدول ۴-۱ پ

اولین تابلوی سیمپلکس با دو ردیف اضافی

ستون C_j در جدول (۴-۱ پ) منعکس کننده سود هر واحد از متغیرهای می باشد. مثلاً C_j برای متغیر T برابر ۸۰۰۰ ریال می باشد.

ردیف $C_j - Z_j$ نشان‌دهنده سود خالص حاصل از اضافه کردن يك واحد متغير به برنامه تولید است مثلاً اگر افزودن يك واحد T سودی معادل ۸۰۰۰ ریال در برداشته و معرفی آن نیز ضرری نداشته باشد آنگاه $C_j - Z_j$ برای متغير T برابر ۸۰۰۰ ریال خواهد بود. محاسبه ارقام Z_j در جدول (۴-۱-پ) به صورت زیر انجام گرفته است.

$$Z_j (\text{كل سود}) = ۰(۶۰) + ۰(۲۸) = ۰$$

$$Z_j (T \text{ ستون}) = ۰(۲) + ۰(۲) = ۰$$

$$Z_j (C \text{ ستون}) = ۰(۲) + ۰(۲) = ۰$$

$$Z_j (S_A \text{ ستون}) = ۰(۱) + ۰(۰) = ۰$$

$$Z_j (S_F \text{ ستون}) = ۰(۰) + ۰(۱) = ۰$$

وارقام سود خالص برای هريك از متغيرها در جدول (۴-۱-پ) نیز به صورت زیر محاسبه گردیده است

متغير	سود هر واحد	کاهش سود هر واحد	سود خالص =
	C_j	Z_j	$C_j - Z_j$
T	۸۰۰۰	۰	۸۰۰۰
C	۶۰۰۰	۰	۶۰۰۰
S_A	۰	۰	۰
S_F	۰	۰	۰

همانطوری که ردیف $C_j - Z_j$ در جدول (۴-۱-پ) نشان می‌دهد، سود خالص مثلاً برای افزایش هر واحد T که به ترکیب تولید اضافه می‌گردد به میزان ۸۰۰۰ ریال افزایش می‌یابد و یا هر واحد C که به ترکیب تولید اضافه گردد، سود خالص را به میزان ۶۰۰۰ ریال افزایش می‌دهد بنابراین اعداد مثبت در ردیف $C_j - Z_j$ (مثلاً ۸۰۰۰ در ستون T) نشان می‌دهند که افزایش هر واحد T، افزایش سود کل را در بر خواهد داشت از طرف دیگر اعداد منفی در ردیف $C_j - Z_j$ بیانگر میزان کاهش سود به علت معرفی يك واحد متغير در راه حل موجود می‌باشد. بنابراین جواب بهینه زمانی به دست خواهد آمد که هیچ عدد مثبتی در

ردیف $Z_j - C_j$ وجود نداشته باشد و یا به عبارت دیگر تغییر ترکیب متغیرها، باعث افزایش سود نگردد.

۳. تشکیل دومین راه حل

پس از تشکیل اولین تابلوی سیمپلکس، باید اندیشید که چطور می توان سود را افزایش داد. برای این منظور یک سری دستورالعمل محاسباتی برای تشکیل دومین تابلو معرفی می گردد.

۱- مشخص کنید که هر واحد کدام متغیر بیشترین سود را به راه حل موجود اضافه می کند همانطور که قبلاً گفته شد اعدادی که در ردیف $Z_j - C_j$ قرار دارند به ما می گویند که کدام متغیر بیشترین اثر را در سود خواهد داشت و بنا بر این بزرگترین عدد مثبت در ردیف $Z_j - C_j$ را انتخاب می کنیم. در مورد مثال گذشته این عدد زیر ستون T قرار داشته و بدین جهت ستون T را ستون بهینه می نامیم بنا به تعریف ستون بهینه آن ستونی است که بیشترین مقدار مثبت را در ردیف $(C_j - Z_j)$ داشته باشد و یا به عبارت دیگر آن ستونی که بیشترین سود (در هر واحد) را به کل سود اضافه کند. جدول (۵-۱-ب) بررسی ستون بهینه به ما می گوید که متغیر T باید وارد ترکیب تولید شده و متغیر دیگری که هم اکنون در ترکیب تولید وجود دارد از آن خارج گردد:

C _j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S _A	S _F
۰	S _A	۶۰	۴	۲	۱	۰
۰	S _F	۴۸	۲	۲	۰	۱
	Z _j	۰	۰	۱	۰	۰
	C _j - Z _j		۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰

ستون بهینه

جدول ۵-۱-ب

ستون بهینه در اولین تابلوی سیمپلکس

۲- دومین مرحله پیدا کردن آن متغیری می باشد که باید از ترکیب خارج گردد. برای تعیین این متغیر به صورت زیر عمل می کنیم: اعداد ۶۰ و ۴۸ در ستون مقدار را

بر اعداد متناظر آنها در ستون بهینه تقسیم کرده و سپس آن ردیف که کوچکترین نسبت غیر منفی را دارد برای خارج شدن از ترکیب انتخاب می‌کنیم. در مورد مثال بالا این نسبتها عبارتند از:

$$S_A \text{ ردیف} = \frac{۶۰ \text{ ساعت}}{۴} = ۱۵$$

$$S_F \text{ ردیف} = \frac{۴۸ \text{ ساعت}}{۲} = ۲۴$$

از آنجائیکه ردیف S_A کوچکترین نسبت مثبت را دارا می‌باشد. این ردیف را ردیف خروجی می‌نامیم زیرا در راه حل بعدی این ردیف با وارد شدن ۱۵ واحد T ، خارج می‌گردد. محل تقاطع اعداد ردیف خروجی (ردیف S_A) و ستون بهینه را عنصر گردش نامند. بنابراین عدد ۴ در ردیف S_A ، عنصر گردش می‌باشند. جدول (۶-۱-پ) گردش

C_i	ترکیب تولید	مقدار ثابت	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
۰	S_A	۶۰	۴	۲	۱	ردیف خروجی
۰	S_F	۴۸	۲	۴	۰	۱
	Z_j	۰	۰	۰	۰	۰
	$C_j - Z_j$		۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰

ستون بهینه

عنصر گردش

جدول ۶-۱-پ

ردیف خروجی و ضرایب مشترک در اولین تابلوی سیمپلکس

۳- با انتخاب ستون بهینه و ردیف خروجی می‌توان دومین راه حل سیمپلکس (راه حل مطلوب‌تر) را بدست آورد.

اولین قسمت تابلوی جدید، ردیف T می‌باشد. ردیف T به جای ردیف S در جدول (۵-۱-پ) قرار می‌گیرد. ضرایب ردیف T در تابلوی جدید به صورت زیر محاسبه می‌گردند: هر يك از اعداد ردیف خروجی (ردیف S_A) را بر عنصر گردش (۴) ردیف خروجی تقسیم کنید.

$$\frac{۶۰}{۴} = ۱۵, \quad \frac{۴}{۴} = ۱, \quad \frac{۲}{۴} = \frac{۱}{۲}, \quad \frac{۱}{۴} = \frac{۱}{۴}, \quad \frac{۰}{۴} = ۰$$

بنابر این ضرایب ردیف T عبارتند از: $(۰, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, ۱, ۱۵)$
 در جدول (۷-۱-پ) برای اولین بار در ستون C_j عددی غیر از صفر (۸۰۰۰ ریال)
 قرار گرفته است توجه داشته باشید که ساختن ۱۵ میز همان نقطه C در شکل (۳-۱-پ)
 از روش ترسیمی است.

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰ T	۶۰۰۰ C	۰ S_A	۰ S_F
۸۰۰۰	T	۱۵	۱	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	۰
	S_F			$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	۰
	Z_j					
	$C_j - Z_j$					

جدول ۷-۱-پ

ردیف خروجی در اولین تابلوی سیمپلکس

۴- برای تکمیل دومین تابلو، بقیه اعداد آنرا محاسبه می کنیم. ضرایب بقیه ردیفها
 را با استفاده از رابطه زیر میتوان محاسبه نمود.

$$\left(\begin{array}{c} \text{ضرایب در} \\ \text{ردیف ورودی جدید} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{ضریب ستون} \\ \text{بهینه} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{ضرایب در} \\ \text{ردیف قدیم} \end{array} \right) = \text{ردیف جدید}$$

با استفاده از رابطه بالا، ضرایب ردیف جدید S_F بصورت زیر محاسبه گردیده است.

ردیف جدید S_F	=	ضرایب در ردیف ورودی جدید	X	ضریب ستون بهینه S_F	-	ضرایب قدیم ردیف S_F
۱۸	=	(۱۵)	X	(۲)	-	۴۸
۰	=	(۱)	X	(۲)	-	۲
۳	=	($\frac{1}{4}$)	X	(۲)	-	۴
$-1/2$	=	($\frac{1}{4}$)	X	(۲)	-	۰
۱	=	(۰)	X	(۲)	-	۱

محاسبه ردیفهای Z_j و $C_j - Z_j$ نیز بصورت زیر می باشد.

$$\left. \begin{aligned} Z_j \text{ (سود کل)} &= 8000(15) + 0(18) = 120000 \\ Z_j \text{ (برای T)} &= 8000(1) + 0(0) = 8000 \\ Z_j \text{ (برای C)} &= 8000\left(\frac{1}{4}\right) + 0(3000) = 2000 \\ Z_j \text{ (برای } S_A) &= 8000\left(\frac{1}{4}\right) + 0\left(-\frac{1}{4}\right) = 2000 \\ Z_j \text{ (برای } S_F) &= 8000(0) + 0(1) = 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{میزان کاهش در سود} \\ \text{به سبب افزایش يك} \\ \text{واحد از این متغیرها} \\ \text{در ترکیب تولید} \end{array}$$

محاسبات بالا نشان میدهد که اگر يك واحد T وارد ترکیب تولید گردد، سود به میزان ۸۰۰۰ ریال کاهش خواهد یافت. دلیل این امر آنست که چون در حال حاضر ۱۵ واحد T در کارگاه ساخته می شود و برای ساختن ۱۵ واحد T تمام زمان موجود در کارگاه نجاری بکار گرفته شده و افزودن يك واحد T سبب می شود يك واحد از ۱۵ واحد قبلی از کارگاه خارج گردد و چون هر میزان، ۸۰۰۰ ریال سود دارد پس از دست دادن يك میز، ۸۰۰۰ ریال زیان در بر خواهد داشت (البته سود خالص با وارد شدن يك واحد T دیگر تغییری نخواهد کرد).

ردیف جدید $C_j - Z_j$ نیز بصورت زیر محاسبه می گردد.

متغیر	سود هر واحد	کاهش سود هر واحد	سود خالص
	C_j	Z_j	$C_j - Z_j$
T	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۰
C	۶۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰
S_A	۰	۲۰۰۰	-۲۰۰۰
S_F	۰	۰	۰

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
۸۰۰۰	T	۱۵	۱	۱/۲	۱/۲	۰
۰	S_F	۱۸	۰	۳	-۱/۲	۱
	Z_j					
	$C_j - Z_j$					

جدول ۸-۱ پ

ردیف خروجی و ردیف جدید S_A در اولین تابلو

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰ T	۶۰۰۰ C	۰ S_A	۰ S_F
۸۰۰۰	T	۱۵	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۰
۰	S_F	۱۸	۰	۳	$-\frac{1}{2}$	۱
	Z_j	۱۲۰،۰۰۰	۸۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰
	$C_i - Z_j$		۰	۲۰۰۰	-۲۰۰۰	۰

جدول ۹-۱ پی

دومین تابلوی کامل سیمپلکس

این محاسبات در دومین تابلوی کامل سیمپلکس جدول (۹-۱ پی) نشان داده شده است همانطوری که ملاحظه می شود سود کل در دومین تابلو ۱۲۰۰۰۰ ریال می باشد که نسبت به سود کل در اولین تابلو (صفر) بهبود حاصل یافته است.

تشکیل سومین تابلو سیمپلکس

وجود عدد مثبت (۲۰۰۰ ریال) در ستون C و ردیف $C_j - Z_j$ جدول (۹-۱ پی) مبین این واقعیت است که می توان راه حل فعلی را بهبود بخشید. بنابراین همان روش تشکیل دومین تابلوی سیمپلکس تکرار می گردد تا سومین تابلو تکمیل گردد.

۱- با بررسی ردیف $C_j - Z_j$ متوجه می شویم که ساختن هر واحد صندلی، ۲۰۰۰ ریال به سود کمک خواهد کرد یعنی:

$$\begin{array}{ccc} C_j & Z_j & C_j - Z_j \\ ۶۰۰۰ & ۲۰۰۰ & ۲۰۰۰ \end{array}$$

بنابراین ستون بهینه در این حالت ستون C خواهد بود.

۲- با تقسیم اعداد ۱۵ و ۱۸ در ستون مقدار ثابت بر اعداد متناظر آنها در ستون بهینه ردیف خروجی مشخص می شود.

$$T \text{ ردیف} : \frac{15}{1/2} = 30$$

$$S_F \text{ ردیف} : \frac{18}{3} = 6$$

بنابراین ردیف S_F که دارای کوچکترین نسبت غیر منفی می باشد به عنوان ردیف

خروجی انتخاب می‌گردد و در تسا بلوی بعدی با e واحد C عوض خواهد شد. جدول (۱۰-۱) ستون بهینه، ردیف خروجی و عناصر تقاطع دومین تابلو را نشان می‌دهند.

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
۸۰۰۰	T	۱۵	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۰
	S_F	۱۸	۰	۳	$-\frac{1}{2}$	۱
	Z_j	۱۲۰/۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۰
—	$C_j - Z_j$		۰	۶۰۰۰	-۶۰۰۰	۰

ستون بهینه

جدول ۱۰-۱ پ

ستون بهینه، ردیف خروجی و عناصر تقاطع در دومین تابلوی سیمپلکس

۳- ردیف خروجی سومین تابلو از تقسیم ارقام ردیف خروجی دومین تابلو بر عنصر تقاطع ردیف خروجی بدست می‌آید.

$$\frac{18}{3} = 6, \quad \frac{0}{3} = 0, \quad \frac{3}{3} = 1, \quad \frac{-1/2}{3} = -1/6, \quad \frac{1/3}{3} = \frac{1}{9}$$

بنابراین ضرایب ردیف خروجی در سومین تابلو برابر است با $e, 0, 1, -1/6, 1/9$

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
۸۰۰۰	T			۰	۰	۰
۶۰۰۰	C	۶	۰	۱	$-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$
	Z_j					
	$C_j - Z_j$					

جدول ۱۱-۱ پ

ردیف خروجی سومین تابلو

ارقام ردیف جدید T بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{ردیف جدید} = \left(\begin{matrix} \text{عنصر متناظر} \\ \text{ردیف خروجی} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{عنصر تقاطع} \\ \text{ردیف T} \end{matrix} \right) - \text{عنصر در ردیف قدیم T}$$

$$۱۲ - \left(\frac{۱}{۲} \times ۶ \right) = ۱۵$$

$$۱ - \left(\frac{۱}{۲} \times ۰ \right) = ۱$$

$$\frac{۱}{۲} - \left(\frac{۱}{۲} \times ۱ \right) = ۰$$

$$\frac{۱}{۶} - \left(\frac{۱}{۲} \times -\frac{۱}{۶} \right) = \frac{۱}{۳}$$

$$۰ - \left(\frac{۱}{۲} \times \frac{۱}{۳} \right) = -\frac{۱}{۶}$$

ارقام جدید ردیف T عبارتند از (۱۲، ۱، ۰، $-\frac{۱}{۶}$ ، $\frac{۱}{۳}$). این ارقام در جدول (۱۲-۱-پ)، در سومین تابلوی سیمپلکس آمده است.

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰ T	۶۰۰۰ C	۰ S_A	۰ S_F
۸۰۰۰	T	۱۲	۱	۰	$\frac{۱}{۳}$	$-\frac{۱}{۶}$
۶۰۰۰	C	۶	۰	۱	$-\frac{۱}{۶}$	$\frac{۱}{۳}$
	Z_j					
	$C_j - Z_j$					

جدول ۱۲-۱-پ

ردیف تنبیس یافته و ردیف جدید T در سومین تابلو

ردیف Z در سومین تابلو نیز بصورت زیر محاسبه گشته است:

$$Z_j(\text{کل}) = 8000(12) + 6000(6) = 132000 = \text{سود کل در سومین تابلو}$$

$$Z_j(T_j) = 8000(1) + 6000(0) = 8000$$

$$Z_j(C) = 8000(0) \times 6000(1) = 6000$$

$$Z_j(S_A) = 8000\left(\frac{1}{3}\right) + 6000\left(-\frac{1}{6}\right) = 5000.3 = 1666$$

$$Z_j(S_F) = 8000\left(-\frac{1}{6}\right) + 6000\left(\frac{1}{3}\right) = 2000.3 = 666$$

همچنین ردیف $C_j - Z_j$ نیز بصورت زیر محاسبه می گردد:

متغیر	سود هر واحد C_j	کاهش سود هر واحد Z_j	سود خالص $C_j - Z_j$
T	8000	8000	0
C	6000	6000	0
S_A	0	1666	-1666
S_F	0	666	-666

سومین تابلوی کامل سیمپلکس در جدول (۱۳-۱-پ) نشان داده شده است. از آنجائیکه هیچگونه عدد مثبتی در ردیف $C_j - Z_j$ وجود ندارد بنابراین امکان افزایش کل سود بیش از آنچه که تا بحال بدست آمده وجود ندارد و جواب بهینه بصورت زیر می باشد.

$$T = 12 \quad C = 6 \quad S_A = 0 \quad S_F = 0$$

جواب به دست آمده همان نقطه D در روش ترسیمی نمودار (۱۳-۲-پ) می باشد. سود کل با ساختن ۱۲ صندلی و نداشتن هیچگونه وقت آزاد در هر دو کارگاه حداکثر می شود.

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
۸۰۰۰	T	۱۲۰	۱	۰	$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{6}$
۶۰۰۰	C	۶	۰	۱	$-\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$
	Z_j	۱۳۲۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۱۶۶۶	۶۶۶
	$C_j - Z_j$	۰	۰	۰	-۱۶۶۶	-۶۶۶

جدول ۱۳-۱ پ

سومین تابلوی کامل سیمپلکس

متغیرهای T و C در ستون ترکیب تولید و مقدار هر کدام در ستون «مقدار ثابت» مشخص شده‌اند. متغیرهای S_A و S_F در ترکیب تولید وجود ندارند و بنا بر این ارزش آنها صفر است.

خلاصه مراحل اجرای روش سیمپلکس در مسائل حداکثرسازی

مراحلی که در روش سیمپلکس برای مسائل حداکثرسازی باید رعایت کرد را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

- ۱- محدودیتهای مسئله را با استفاده از نامعادلات مشخص کنید.
- ۲- نامعادلات را با استفاده از متغیر کمبود به معادلات تبدیل نمایید.
- ۳- معادلات را در تابلوی سیمپلکس نشان دهید.
- ۴- ارزش متغیرهای C_j و Z_j را محاسبه نمایید.
- ۵- متغیر ورودی (ستون بهینه) را با توجه به بیشترین مقدار $Z_j - C_j$ مشخص نمایید.
- ۶- ردیف خروجی را تعیین نمایید. این ردیف از تقسیم ارقام ستون مقدار را در هر متناظر ستون بهینه و انتخاب کوچکترین عدد مثبت بدست می‌آید.
- ۷- ارقام ردیف تعویض شده را محاسبه نمایید.
- ۸- ارقام بقیه ردیفها را محاسبه نمایید.

- ۹- ارزش متغیرهای G_j و Z_j را برای این راه حل محاسبه نمائید.
- ۱۰- اگر در ردیف $Z_j - G_j$ مقدار مثبتی وجود داشت به مرحله ۵ برگردید و مراحل را تکرار کنید.
- ۱۱- اگر در ردیف $Z_j - G_j$ مقدار مثبتی وجود نداشت، راه حل نهائی به دست آمده است.

توضیح عناصر موجود در تابلوی سیمپلکس

در قسمتهای قبل مراحل اجرای روش سیمپلکس مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت منطق این روش مورد مطالعه قرار می گیرد.

جدول ۱-۱۲ پ دومین تابلوی سیمپلکس را دوباره نشان می دهد هر کدام از ارقام داخل دومین تابلوی سیمپلکس با یک شماره شناسائی در زیر توضیح داده می شوند.

ستون مقدار (عناصر ۱، ۲، ۳)

۱) در اولین تابلوی سیمپلکس مشخص شده که متغیر T بیشترین سود در هر واحد را به سود کل اضافه می کند به همین جهت این متغیر در دومین راه حل وارد ترکیب تولید شد. برای تعیین مقدار این متغیر به صورت زیر عمل شد.

$$\text{میز } ۱۵ = \frac{(۶۰ \text{ ساعت موجود در کارگاه بخاری})}{۴ \text{ ساعت برای ساختن هر میز}}$$

در یافتیم که ۱۵ میز بیشترین مقداری است که می توان با رعایت محدودیتها در هر دو کارگاه ساخت بنا بر این T به جای S_A در ترکیب تولید قرار گرفت.

۲) هر میز نیاز به ۲ ساعت کار در کارگاه رنگرزی دارد بنا بر این برای رنگرزی ۱۵ میز نیاز به ۳۰ ساعت از کارگاه رنگرزی می باشد. از آنجا که این کارگاه ۴۸ ساعت موجود دارد، مدت ۱۸ ساعت ($۴۸ - ۳۰ = ۱۸$) آزاد خواهد داشت.

در ستون مقدار تعداد ۱۵ میز، ۱۸ ساعت و ۱۲۰۰۰۰ ریال وجود دارد. شاید وجود سه متغیر متفاوت در ستون مقدار منطقی به نظر نرسد اما باید توجه داشت که عدد ۱۵ میز متعلق به ردیف T ، عدد ۱۸ متعلق به ردیف S_A و عدد ۱۲۰۰۰۰ ریال متعلق به ردیف Z_j است و ربطی به ستون مقدار ندارد.

۳) عدد ۱۲۰۰۰۰ ریال مشخص کننده سود کل حاصل از متغیرهای ترکیب تولید هستند

C_j	ترکیب تولید	مقدار	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۰	۰
			T	C	S_A	S_F
۸۰۰۰	T	(۱)	(۱۲)	(۱۶)	(۴)	(۸)
		۱۵	۱	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۰
		(۲)	(۱۳)	(۱۷)	(۵)	(۹)
	S_F	۱۸	۰	۳	$-\frac{1}{2}$	۱۰
		(۳)	(۱۴)	(۱۸)	(۶)	(۱۰)
	Z_j	۱۲۰۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰	۰
	$C_j - Z_j$		(۱۵)	(۱۹)	(۷)	(۱۱)
			۰	۲۰۰۰	-۲۰۰۰	۰

جدول ۱۴-۱ پ

$$\begin{aligned} & \text{سود حاصل از } (S_F \text{ تعداد متغیر}) + \text{سود حاصل از } (T \text{ تعداد متغیر}) = \text{سود کل} \\ & \text{يك واحد متغیر } S_F + \text{يك واحد متغیر } T \\ & = (۱۵ \times ۸۰۰۰) + (۱۸ \times ۰) = ۱۲۰۰۰۰ \text{ ریال} \end{aligned}$$

نرخ تبدیل (عناصر (۴)، (۵)، (۸)، (۹)، (۱۲)، (۱۳)، (۱۶)، (۱۷))
 (۴) از آنجا که يك واحد T نیاز به ۲ ساعت از کارگاه نجاری دارد و در دومین راه حل از همه ظرفیت (۶۰ ساعت) کارگاه نجاری استفاده شده بنابراین اگر بخواهیم چیز دیگری در این کارگاه بسازیم باید از ساعات تولید T کسر کنیم. مثلاً اگر بخواهیم يك واحد S_A در کارگاه نجاری ایجاد کنیم باید از ساختن $\frac{1}{2}$ میز صرف نظر نمائیم به عبارت دیگر ایجاد

هر واحد S_A در ترکیب تولید، تولید میز را به میزان $\frac{1}{2}$ واحد کاهش خواهد داد.

(۵) کاهش تولید T به میزان $\frac{1}{2}$ واحد در کارگاه رنگرزی تأثیر خواهد داشت زیرا

هر میز ۲ ساعت در کارگاه رنگرزی کار دارد و اگر قرار است $\frac{1}{2}$ میز کمتر تولید شود،

کارگاه رنگرزی میز $\frac{1}{4} \times 2 = \frac{1}{2}$ ساعت آزاد خواهد شد. به عبارت دیگر:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{تعداد واحدهای } T \text{ در ترکیب} & = & 15 \\
 \text{میزان کاهش } T \text{ به واسطه افزایش يك واحد } S_A & = & -\frac{1}{4} \\
 \text{تعداد میز پس از وارد شدن يك واحد } S_A & = & 14\frac{3}{4} \\
 & \times & \\
 \text{تعداد ساعات مورد نیاز برای رنگرزی يك واحد } T & = & 2 \\
 \text{تعداد ساعات مورد نیاز برای رنگرزی } 14\frac{3}{4} \text{ میز} & = & 29\frac{1}{4} \\
 \text{ساعات مورد نیاز برای ساختن 15 میز} & = & -30 \\
 \text{ساعات آزاد شده به واسطه افزایش يك واحد } S_F & = & -\frac{1}{4}
 \end{array}$$

۸ افزایش يك واحد S_F تأثیری بر متغیر T نخواهد داشت زیرا تمام ساعات موجود در کارگاه نجاری مصرف شده و به وجود آوردن يك واحد S_F در کارگاه رنگرزی (که ۱۸ ساعت وقت آزاد دارد) تأثیری بر تولید میزها نخواهد داشت.

۹ کسر يك واحد S_F - از آنجائی که فقط ۱۸ ساعت وقت آزاد پس از دومین راه حل در کارگاه نجاری باقی مانده، کسر يك واحد S_F سبب خارج شدن يك ساعت از ۱۸ ساعت موجود خواهد شد.

۱۲ در اینجا نیز نرخ تبدیل ۱ به ۱ وجود دارد زیرا در قسمت ۱ متوجه شدیم ۱۵ میز بیشترین تعدادی است که می توان در کارگاه نجاری درست کرد بنابراین برای اضافه نمودن يك واحد T به برنامه تولید باید يك واحد از T از برنامه قبلی تولید کسر گردد.

۱۳ افزایش يك واحد T تأثیری در متغیر S_F نخواهد داشت زیرا در قسمت ۱۲ گفتیم برای افزایش يك واحد T در کارگاه نجاری يك واحد T از کارگاه نجاری باید خارج گردد به عبارت دیگر در کل تغییری در کارگاه نجاری ایجاد نخواهد شد. از آنجا که تعداد کل میزها در کارگاه نجاری تغییر نکرده، در کارگاه رنگرزی نیز تغییری رخ نخواهد داد.

۱۶ افزایش يك واحد متغیر C (صندلی) به برنامه تولید باعث کاهش $\frac{1}{4}$ متغیر T (میز) خواهد شد.

برای تولید يك صندلی (C) نیاز به ۲ ساعت از کارگاه نجاری است و تولید يك ميز ۴ ساعت از کارگاه نجاری را اشغال خواهد کرد و چون در کارگاه نجاری وقتی باقی نمانده، اضافه کردن يك واحد C نیاز به کاهش $\frac{1}{4}$ متغیر T خواهد شد به عبارت دیگر تولید يك صندلی در کارگاه نجاری ۲ ساعت از ۲ ساعتی را که برای تولید يك ميز مصرف می شود اشغال خواهد کرد. بنا بر این برای تولید يك صندلی باید تولید $\frac{1}{4}$ ميز از برنامه حذف گردد.

(۱۷) افزایش يك واحد C (صندلی) جایگزین سه واحد S_F (۳ ساعت) می شود. قبلاً گفته شد که يك واحد C در کارگاه رنگرزی ۴ ساعت زمان لازم دارد. در اینجا ظاهراً يك ناهماهنگی دیده می شود. این مسئله را بدین صورت می توان توضیح داد که اولاً افزایش يك واحد صندلی (C) باعث کاهش $\frac{1}{4}$ ميز خواهد شد. ثانیاً يك ميز نیاز به ۲ ساعت کار در کارگاه رنگرزی دارد بنابراین اگر تولید $\frac{1}{4}$ ميز کاهش یابد يك ساعت در کارگاه رنگرزی نیز وقت آزاد می گردد. بنا بر این زمان کل در کارگاه رنگرزی عبارت خواهد بود از ۴ ساعت افزایش به لحاظ رنگرزی يك واحد صندلی منهای يك ساعت وقت آزادی که از ساختن $\frac{1}{4}$ ميز در این کارگاه به وجود آمده است. تولید يك صندلی در کارگاه رنگرزی همان ۴ ساعت را اشغال خواهد کرد و آن عبارت خواهد بود از سه ساعت کاهش در S_F به علاوه يك ساعت وقت آزاد ایجاد شده.

بنابراین اگر تأثیر این تغییرات را به جای فقط يك کارگاه در دو کارگاه در نظر بگیریم آنگاه این ناهماهنگی برطرف می شود. از آنجا که ساختن ميز و صندلی کامل نیاز به فعالیت در هر دو کارگاه دارد بنابراین هر تغییر و تحولی در کارگاه نجاری يك تأثیری در کارگاه رنگرزی خواهد داشت.

به طور خلاصه هشت عنصری که توضیح داده شد مشخص کننده نرخ نهائی تبدیل بین متغیرها در ترکیب تولید و متغیرهایی که بالای آن ستون واقع شده اند می باشد. نرخ تبدیل مثبت (مثل ۱۶) میزان کاهش T به لحاظ افزایش يك واحد C به ترکیب تولید را نشان می دهد. از طرف دیگر نرخ تبدیل منفی مثل ۵) میزان افزایش در S_F (یعنی $\frac{1}{4}$ ساعت آزاد) به لحاظ افزایش يك واحد S_A به ترکیب تولید می باشد.

ردیف Z (عناصر ۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸)

حال به توصیف عناصر ردیف Z می پردازیم. این عناصر نشان دهنده کاهش بهره‌وری حاصل از افزودن يك واحد از متغیرهایی که در بالای هر ستون قرار دارند به ترکیب تولید می باشد.

۶ اگر يك واحد S_A به ترکیب تولید اضافه گردد دونوع تغییر رخ می دهد:

(۱) میزان تولید (T) به میزان $\frac{1}{4}$ واحد کاهش می یابد (عنصر ۳) و S_F (۲)

به میزان $\frac{1}{4}$ واحد افزایش می یابد (عنصر ۵).

از آنجائی که میزان بهره‌وری T برابر ۸۰۰۰ ریال می باشد و تولید T به اندازه

$\frac{1}{4}$ کاهش یافته بنابراین کاهش بهره‌وری به لحاظ این متغیر برابر است با:

$$۸۰۰۰ \times \frac{1}{4} = ۲۰۰۰$$

و همچنین از آنجا که بهره‌وری هر واحد S_F برابر صفر می باشد، افزایش S_F به اندازه

$\frac{1}{4}$ واحد سود را به میزان $(۰ \times \frac{1}{4} = ۰)$ ریال افزایش می دهد. بنابراین کاهش بهره‌وری

کل حاصل از افزودن يك واحد S_A به ترکیب تولید برابر است با جمع جبری این دو متغیر یعنی:

$$۲۰۰۰ + ۰ = ۲۰۰۰$$

همین استدلال را می توان برای بقیه عناصر ردیف Z به کار برد.

۱۰ با افزودن يك واحد S_F

$$۰ \times ۸۰۰۰ = ۰$$

۱- تغییری در T حاصل نمی شود

$$۱ \times ۰ = ۰$$

۲- يك واحد S_F از ترکیب باید خارج شود

۰

حاصل تغییر

۱۴ با افزایش يك واحد T داریم:

$$۱ \times ۸۰۰۰ = ۸۰۰۰$$

۱- يك واحد T از ترکیب خارج می شود

$$۰ \times ۰ = ۰$$

۲- تغییری در S_F به وجود نمی آید

$$۸۰۰۰$$

کاهش بهره‌وری کل

۱۸ با افزایش يك واحد C داریم:

$$\begin{array}{r}
 1 - \frac{1}{4}T \text{ از ترکیب خارج می شود} \\
 \frac{1}{4} \times 8000 = 2000 \\
 \text{(رجوع شود به (۱۶))} \\
 2 - 3 \text{ واحد } S_F \text{ از ترکیب خارج می شود} \\
 3 \times 0 = 0 \\
 \hline
 2000 \\
 \text{(رجوع شود به (۱۷))} \\
 \text{کاهش در بهره وری کل}
 \end{array}$$

ردیف $Z_j - C_j$ (عناصر (۱۹)، (۱۵)، (۱۱) و (۷))
 هر عدد مثبت در ردیف $Z_j - C_j$ نشان دهنده میزان افزایش در بهره وری کل به ازاء
 افزایش يك واحد از متغیری که در بالای آن ستون قرار دارد به ترکیب تولید می باشد.
 (۱۹) عدد مثبت ۲۰۰۰ نشان می دهد که اگر يك واحد C (يك صندلی) به ترکیب تولید
 اضافه گردد.

$$\begin{array}{r}
 6000 \\
 \text{بهره وری حاصل از يك واحد } C \\
 \text{کاهش بهره وری به ازاء افزایش يك واحد } C \\
 - 2000 \\
 \hline
 4000 \\
 \text{(رجوع شود به (۱۸))} \\
 \text{حاصل بهره وری}
 \end{array}$$

تازمانیکه عدد مثبتی در ردیف $Z_j - C_j$ وجود دارد مبین این واقعیت است که راه
 حل بهتری وجود دارد زیرا برای هر واحد C که به ترکیب تولید اضافه گردد، بهره وری
 ۱۲۰۰۰۰ ریال را می توان به میزان ۲۰۰۰ ریال افزایش داد.

$$\begin{array}{r}
 8000 \\
 \text{بهره وری حاصل از هر واحد } T \\
 - 8000 \\
 \hline
 0 \text{ ریال} \\
 \text{(۱۵) کاهش بهره وری برای هر واحد که از ترکیب خارج می شود (عنصر (۱۴))} \\
 \text{حاصل تغییر در بهره وری}
 \end{array}$$

به عبارت دیگر برای هر واحد T که به ترکیب تولید اضافه گردد بهره وری کل
 تغییری نمی کند. زیرا با توجه به محدودیت کارگاه نجاری، قبلاً تا آنجا که ممکن بوده
 میز تولید شده است و اگر ما بخواهیم يك واحد T دیگر به ترکیب تولید اضافه کنیم باید
 از تولید يك واحد T که قبلاً در ترکیب وجود داشته صرف نظر نماییم.

$$\begin{array}{r}
 0 \text{ ریال} \\
 \text{بهره وری حاصل از يك واحد } S_A \\
 - 0 \text{ ریال} \\
 \hline
 0 \text{ ریال} \\
 \text{(۱۱) کاهش در بهره وری (عنصر (۱۰))} \\
 \text{حاصل تغییر در بهره وری}
 \end{array}$$

یعنی هر واحد S_F که به برنامه تولید اضافه گردد تغییری در کل بهره‌وری ایجاد نمی‌کند، زیرا کارگاه تجاری تولید میزها را به ۱۵ واحد محدود کرده است. بنابراین اضافه کردن يك واحد S_F تأثیری در T ایجاد نخواهد کرد (عنصر ۸) بنابراین بهره‌وری کل را نمی‌توان با اضافه کردن S_F افزایش داد.

○ ریال $2000 - \text{ریال}$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $2000 - \text{ریال}$	⑦ بهره‌وری حاصل از يك واحد S_A کاهش در بهره‌وری (عنصر ۶) حاصل تغییر در بهره‌وری
--	---

عدد منفی در ردیف $Z_j - C_j$ مبین کاهش در بهره‌وری کل به علت افزودن يك واحد از تغییری که در بالای آن ستون قرار دارد می‌باشد. در این حالت هر واحدی S_A که به برنامه اضافه شود. باعث می‌گردد که بهره‌وری کل به میزان ۲۰۰۰ ریال کاهش یابد. چرا؟ از تحلیل عنصر ⑦ متوجه شدیم که برای هر واحد S_F که به ترکیب اضافه می‌گردد، $\frac{1}{4}$ میز باید از برنامه حذف گردد. بهره‌وری هر واحد S_A برابر صفر ریال می‌باشد اما بهره‌وری هر واحد T برابر ۸۰۰۰ ریال است بنابراین هر واحد S_A کاهش در بهره‌وری کل به میزان $(8000 \times \frac{1}{4} = 2000)$ ریال را سبب می‌گردد.

عدد منفی در ردیف $Z_j - C_j$ که در ستون متغیرهای S_A یا S_F (متغیرهای زمان) واقع شده است تعبیر دیگری دارد. عدد منفی نشان می‌دهد که اگر زمان موجود در کارگاه به میزان يك ساعت اضافه گردد، بهره‌وری کل به میزان قدیمه‌طلق آن عدد منفی افزایش خواهد یافت. مثلاً در عنصر ⑦، اگر به زمان کارگاه تجاری يك ساعت اضافه کنیم (یعنی به جای داشتن ۶ ساعت، ۷ ساعت داشته باشیم) بهره‌وری کل به میزان ۲۰۰۰ ریال افزایش خواهد یافت. برای اثبات این موضوع، محدودیت کارگاه تجاری را با ظرفیت جدید می‌نویسیم.

$$4T + 2C + S_A = 61$$

از آنجا که در دومین راه حل (دومین تابلو) $S_A = 0$ ، $C = 0$ می‌باشد خواهیم داشت:

$$4T + 2(0) + 0 = 61 \Rightarrow T = \frac{61}{4}$$

و اگر این مقدار را در تابع هدف قرار دهیم بهره‌وری کل عبارتست از:

$$\begin{aligned}\text{بهره‌وری کل} &= 8000T + 6000C + 0S_A + 0S_F \\ &= 8000\left(\frac{61}{4}\right) + 6000(0) + 0 + 0 = 122000\end{aligned}$$

به عبارت دیگر افزودن يك ساعت به کارگاه نجاری باعث افزایش بهره‌وری کل به میزان ۲۰۰۰ ریال شده است. با توجه به این اطلاعات شرکت می‌تواند درمورد افزایش ظرفیت کارگاه‌های خود تصمیم بگیرد.

روش سیمپلکس در مسائل حداقل سازی

تا به حال بحث ما در روش سیمپلکس در مسائل حداکثر سازی بود. روش سیمپلکس را می‌توان برای مسائل حداقل سازی نیز به کار برد. در این گونه موارد عموماً معادله هدف شامل حداقل کردن هزینه‌ها می‌باشد. برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید.

مثال

يك کارخانه سازنده کودهای شیمیائی در نظر دارد ۲۰۰ تن از يك نوع خاص کود شیمیائی بسازد این کود از دو نوع ماده اولیه P و C تشکیل یافته است. هزینه هر کیلو ماده اولیه P و C به ترتیب برابر ۳۰۰۰ ریال و ۸۰۰۰ ریال می‌باشد. این دو ماده اولیه طوری باید ترکیب شوند که در ترکیب نهائی آنها حداقل ۳۰ درصد از ماده اولیه C و حداکثر ۴۰ درصد از ماده اولیه P وجود داشته باشد. این کارخانه می‌خواهد بداند که از هر ماده اولیه چه مقدار در ترکیب تولید داشته باشد تا هزینه‌های آن حداقل شوند. معادله هدف برای مثال فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$Z = 3000P + 8000C$$

اولین محدودیت این کارخانه عبارتست از:

$$P + C = 200 \quad (1)$$

محدودیت دوم می‌گوید که در ترکیب تولید بیش از ۴۰ درصد P وجود نداشته باشد. اگر میزان ترکیب نهائی ۲۰۰ تن باشد، مقدار P نباید بیش از $(200 \times 0.40 = 80)$ تن باشد. به عبارت دیگر:

$$P \leq 80 \quad (2)$$

سومین محدودیت می‌گوید که ترکیب نهائی باید حداقل دارای ۳۰ درصد C باشد.

بنابراین در ترکیب نهائی باید حداقل $(۲۰۰ \times ۰.۳۰ = ۶۰)$ تن از ماده اولیه C وجود داشته باشد یعنی:

$$C \geq ۶۰ \quad (۳)$$

بنابراین معادله هدف و محدودیتهای آن را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

$$\text{Min } Z = ۳۰۰۰P + ۸۰۰۰C$$

$$\text{S.T.} \begin{cases} P + C = ۲۰۰ \\ P \leq ۸۰ \\ C \geq ۶۰ \\ P \text{ و } C \geq ۰ \end{cases}$$

اولین راه حل پایه‌ای:

اولین محدودیت را در نظر بگیرید. این محدودیت به وسیله معادله $P + C = ۲۰۰$ بیان می‌شود. شرکت میز و صندلی سازی را به خاطر بیاورید. در آنجا ابتدا با یک راه حل قابل قبول کار را شروع کرده و به سمت راه حل مطلوب پیش رفتیم. در اینجا نیز باید با یک راه حل قابل قبول مسئله را شروع کرد و سپس به سمت راه حل مطلوب پیش رفت. فرض کنید که $P = ۰$ و $C = ۲۰۰$ باشد آیا این راه حل قابل قبول است؟

$$P + C = ۲۰۰$$

$$۰ + ۲۰۰ = ۲۰۰$$

$$۲۰۰ = ۲۰۰$$

$$P \leq ۸۰$$

$$۰ \leq ۸۰ \quad \text{محدودیت وزن برقرار است}$$

$$C \geq ۶۰ \quad \text{محدودیت برقرار است}$$

$$۲۰۰ \geq ۶۰ \quad \text{محدودیت برقرار است}$$

اما در واقع هر چند تعداد متغیرها بیشتر شوند، پیدا کردن اولین راه حل با استفاده از آزمایش بسیار مشکل می‌شود. در زیر روش ساده‌تری برای پیدا کردن اولین راه حل معرفی می‌گردد.

مسئله را با $P = ۰$ و $C = ۰$ شروع می‌کنیم اما در اینجا برای اینکه معادله (۱)

بتواند برقرار باشد لازمست از يك متغیر مصنوعی به نام A_1 استفاده گردد.

$$P + C + A_1 = 200 \quad (۲)$$

$$0 + 0 + A_1 = 200$$

$$A_1 = 200$$

A_1 را می توان يك مساده اولیه بسیار گران قیمت تصور نمود فی المثل فرض کنید هزینه هر تن ماده اولیه A_1 برابر M_1 ریال باشد و M_1 يك عدد بسیار بزرگی می باشد به طوری که به لحاظ بالابردن هزینه آن، این ماده اولیه مصنوعی در ترکیب نهائی ظاهر نمی شود.

در مسائل برنامه ریزی خطی، متغیرهای مصنوعی در دو حالت مورد استفاده قرار می گیرند یکی در مواردی که مثل بالا رابطه بین متغیرها به صورت معادله بیان شده باشد و دیگری در مواردی که رابطه بین متغیرها به صورت بزرگتر یا مساوی باشد که در مورد آخری بعداً بحث خواهد شد.

دومین محدودیت عبارتست از $P \leq 80$ این نامعادله را می توان مثل گذشته با معرفی يك متغیر کمکی به معادله تبدیل نمود یعنی:

$$P + S_1 = 80 \quad (۵)$$

و بالاخره محدودیت سوم عبارتست از $C \geq 60$. برای تبدیل این نامعادله به معادله باید يك متغیر کمکی از آن کسر گردد.

$$C - S_2 = 60 \quad (۶)$$

کسر کردن متغیر کمکی S_2 در رابطه بالا نمایانگر میزانی است که C بیش از ۶۰ تن در راه حل نهائی ظاهر می شود. فی المثل اگر C در حل نهائی برابر ۱۳۰ تن باشد، S_2 باید برابر ۷۰ تن بشود و یا اگر C در حل نهائی برابر ۶۰ تن بشود، S_2 نیز برابر صفر خواهد شد.

حال اگر به دقت به رابطه (۶) نگاه کنید. فوراً متوجه خواهید شد که اگر $C = 0$ باشد $S_2 = -60$ می گردد اما می دانیم که مقدار منفی S_2 نمی تواند در اولین راه حل پایه ای ظاهر گردد زیرا داشتن -60 تن از يك مساده همان معنی را می دهد که بگوئیم ۱۲ - میز و یا ۶ - صندلی. بنابراین چه باید بکنیم؟

یکی از روشهای حل این مشکل آنست که اجازه ندهیم S_2 در اولین راه حل ظاهر شود. از طرف دیگر اگر C برابر صفر باشد و S_2 نیز در راه حل ظاهر شود (S_2 صفر

باشد) برای اینکه رابطه (۶) برقرار باشد باید يك مساده اولیه ديگر كه بتواند در اولين راه حل جایگزین C بشود معرفی نمود.

همانطور كه A_1 را در رابطه (۴) معرفی نمودیم در اینجا نیز متغیر مصنوعی A_2 را معرفی می‌نماییم اما از آنجائی كه A_2 يك متغیر ساختگی می‌باشد و وجود خارجی ندارد باید كاری كنیم كه در راه حل نهائی ظاهر نشود بنابراین در این مورد خاص هزینه هر تن آن را بسیار زیاد تصور می‌كنیم (مثل M_2). قیمت بالای هر واحد A_2 باعث می‌شود كه این ماده در راه حل نهائی هرگز ظاهر نشود. بنابراین نامعادله سوم به صورت زیر درمی‌آید.

$$C - S_2 + A_2 = 60 \quad (7)$$

خلاصه معادله هدف و محدودیتهای مسئله را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{Min } Z = 3000P + 8000C + 0S_1 + 0S_2 + M_1A_1 + M_2A_2$$

$$S.T. \begin{cases} P + C + A_1 + 0S_1 + 0S_2 + 0A_2 = 200 \\ P + 0C + 0A_1 + S_1 + 0S_2 + 0A_2 = 80 \\ 0P + C + 0A_1 + 0S_1 - S_2 + A_2 = 60 \\ P, C, A, S_1, S_2, A_2 \geq 0 \end{cases}$$

هزینه متغیرهای كمکی صفر و هزینه متغیرهای مصنوعی M_1 و M_2 در معادله هدف در نظر گرفته شده است اما از آنجا كه هم M_1 و هم M_2 يك عدد بسیار بزرگی هستند می‌توان هر دو آنها را برابر يك عدد بزرگ ديگر معادل M دانست و در تابلوی سیمپلكس هزینه آنها را فقط به صورت يك عدد (M) نشان داد.

اولین تابلوی سیمپلكس

اولین تابلوی سیمپلكس در جدول (۱۵-۱-پ) نشان داده شده است.

همانطور كه در جدول نشان داده شده است هزینه این ترکیب برابر $260M$ می‌باشد كه بسیار زیاد است و از آنجائی كه هدف حداقل كردن هزینه‌ها می‌باشد باید دید كه آیا راه حل بهتری وجود دارد.

در این حالت ستون بهینه آن ستونی است كه در ردیف $Z_j - C_j$ بیشترین مقدار منفی را داشته باشد. با يك نگاه در ردیف $Z_j - C_j$ متوجه می‌شویم كه فقط دو عدد منفی در این ردیف وجود دارد كه عبارتند از $M - 3000$ و $2M - 8000$. از آنجائی كه M عدد بسیار بزرگی است عدد $2M - 8000$ عدد منفی بزرگتری می‌باشد.

C_j	ترکیب	مقدار	۳۰۰۰	۸۰۰۰	M	۰	۰	M
			P	C	A_1	S_1	S_2	A_2
M	A_1	۲۰۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰
۰	S_1	۸۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰
M	A_2	۶۰	۰	۱	۰	۰	-۱	۱
		z_j	۲۶۰M	M	۲M	M	۰	-M
		$C_j - z_j$	۳۰۰۰ - M	۸۰۰۰ - ۲M	۰	۰	M	۰

ردیف
خروجی

جدول ۱۵-۱-پ

اولین راه حل پایه‌ای شماره ۱

روش پیدا کردن متغیر خروجی و محاسبه ضرایب فنی هر تابلو دقیقاً مانند مسائل حداکثرسازی است. در مسائل حداکثرسازی ردیف $z_j - C_j$ شامل بهره‌وری بود. در مسائل حداقلسازی این ردیف، هزینه‌ها را نشان می‌دهد.

نتیجه محاسبات تابلوهای سیمپلکس در جدول (۱۶-۱-پ) آمده است. در آخرین تابلو هیچگونه رقم منفی در ردیف $z_j - C_j$ وجود ندارد. بنا بر این در ترکیب نهائی ۸۰ تن P و ۱۲۰ تن C وجود داشته و هزینه این ترکیب برابر ۱۲۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. توجه کنید که متغیر کمکی S_3 نیز در ترکیب آمده است. $S_4 = ۶۰$ این مفهوم را دارد که C به میزان S_4 در ترکیب نهائی بیش از مقدار حداقل خود استفاده شده است.

خلاصه روش سیمپلکس در مسائل حداقلسازی

به‌طور خلاصه مراحل روش سیمپلکس برای مسائل حداقلسازی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد.

- ۱- معادله هدف و محدودیت‌های مسئله را مشخص کنید.
- ۲- نامعادلات را با استفاده از متغیرهای کمکی به معادله تبدیل کنید.

تابلو	G_j	ترکیب	مقدار	M					
				Y_{0000}	A_{0000}	M	S_1	S_2	A_2
۱	M ۰ ۸۰۰۰	A_1 S_1 C Z_j $G_j - Z_j$	۱۲۰ ۸۰ ϕ_0 $۱۲۰M + ۲۸۰۰۰۰$	P	C	A_1	S_1	S_2	A_2
				۱	۰	۱	۰	۱	۱
				۱	۰	۰	۱	۰	۰
۲	M Y_{0000} ۸۰۰۰	A_1 P C Z_j $G_j - Z_j$	ϕ_0 ۸۰ ϕ_0 $\phi_0 M + ۷۲۰۰۰۰$	۰	۰	۱	۱	۱	۱
				۱	۰	۰	۱	۰	۰
				۰	۱	۰	۰	۱	۱
۳	Y Y_{0000} ۸۰۰۰	S_2 P C Z_j $G_j - Z_j$	ϕ_0 ۸۰ ۱۲۰ ۱۲۰۰۰۰۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱
				۱	۰	۰	۱	۰	۰
				۰	۱	۱	۱	۰	۰

جدول ۱۴-۱-۲

۳- به معادلاتی که متغیر کمکی از آنها کسر می شود و به معادلاتی که متغیر کمکی ندارند يك متغیر مصنوعی اضافه کنید.

۴- نتیجه را در يك تابلوی سیمپلکس نشان دهید.

۵- مقادیر G_j و Z_j را برای این راه حل محاسبه کنید.

۶- متغیر ورودی را با انتخاب بیشترین مقدار منفی در ردیف $Z_j - G_j$ تعیین کنید.

۷- ارقام ستون مقدار را بر ارقام ستون بهینه تقسیم نموده و کمترین نسبت غیر منفی را به عنوان ردیف خروجی انتخاب نمایید (به عبارت دیگر این نسبت را فقط برای ارقام مثبت محاسبه کنید).

۸- ضرایب فنی ردیف ورودی را محاسبه کنید.

۹- ضرایب فنی بقیه ردیفها را محاسبه کنید.

۱۰- ارقام ردیف G_j و Z_j را محاسبه کنید.

۱۱- اگر در ردیف $Z_j - G_j$ عدد منفی وجود داشت به مرحله ۶ برگردید و مراحل را تکرار کنید.

۱۲- اگر ردیف $Z_j - G_j$ هیچگونه عدد منفی وجود نداشت راه حل نهائی به دست آمده است.

پیوست شماره (۲)

تعیین ظرفیت سیستمهای خدماتی

مدیران سیستمهای خدماتی همواره سعی دارند منابع، امکانات و نیروی کاری خود را بدصورتی برنامه ریزی نمایند که وقتی مشتری به سازمان مراجعه می کند بتواند در حداقل زمان ممکن پاسخگوی او باشند. از طرفی سرعت مراجعه مشتریان به سازمان بندرت یکسان بوده و بدین جهت همواره ظرفیت های بلااستفاده نیز در سیستم وجود دارند. همچنین مواقعی وجود دارد که تعداد مشتری ها بیشتر از تعداد سرویس دهندگان هستند که در این صورت صف بوجود می آید. این وضعیت حتی زمانی که مشتری ها با سرعتی تقریباً ثابت به سازمان مراجعه می کنند نیز وجود دارد. مثلاً در مطب پزشک که افراد با وقت قبلی وارد مطب شده اند باید در اطاق انتظار مدتی منتظر بمانند. معمولاً علت این انتظار بدین لحاظ می باشد که مشتری های مختلف زمانهای متفاوتی برای دریافت خدمات لازم دارند که در بسیاری موارد این زمانها بسا هم برابر نیستند. بنابراین علت بوجود آمدن خط انتظار یا صف در يك سازمان وجود تغییرات در سرعت ورود مشتری به سیستم، تغییرات در سرعت انجام خدمات و یا به سبب وجود هر دو عامل به طور همزمان می باشد. بنا بر این در بلندمدت يك سیستم خدماتی هم ظرفیت های بلااستفاده دارد و هم دارای صف و خط انتظار می باشد. یکی از روشهای برنامه ریزی در این گونه سیستم ها، استفاده از مدل های استوکستیک می باشد. مدل های استوکستیک شامل يك سری روابط ریاضی بوده که با استفاده از احتمالات

1. Stochastic models

اولاً تغییرات در سرعت ورود مشتری و انجام خدمات را نشان می‌دهند و ثانیاً قادرند اثر نتایج این تغییرات را هم برای مشتری و هم برای سازمان خدمات دهنده پیش‌بینی نمایند. بنابراین ورودی‌های استوکس‌نیک شامل توزیع‌های احتمالی ورودی‌ها و خدمات دهنده‌های سیستم بوده و خروجی این مدل‌ها شامل توزیع‌های احتمال مشتری‌های در حال انتظار و خدمات دهندگان مشغول کار می‌باشد.

در بسیاری موارد مشتری و خدمات دهنده افراد می‌باشند مانند مغازه، مطب دکتر، رستوران و... همچنین در موارد دیگر مشتری و خدمات دهنده، ماشین آلات می‌باشند مانند ماشین تراش، ماشین‌های کامپیوتری، تلفن که خدمات دهنده بوده و اتومبیل‌های در حال انتظار برای تعمیر، سفارشات در حال انتظار برای انجام نیز مشتری هستند. در این ضمیمه تعیین ظرفیت در دو حالت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در حالت اول سیستم در وضعیت تعادل^۱ مورد بررسی واقع می‌شود. در این سیستم برنامه‌ریزی براساس متوسط جریان عملیات صورت می‌گیرد و نیازی به استفاده از توزیع‌های احتمالی وجود ندارد. در حالت دوم پیش‌بینی اندازه خط انتظار براساس قوانین توزیع پواسن و روابط آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اصول برنامه‌ریزی تعیین ظرفیت در حالت تعادل

سیستم در وضعیت تعادل آنچنان سیستمی است که:

- ۱- تعداد نیروی کاری، متوسط زمان رسیدن سفارشات و یا کارها و متوسط زمان انجام کارها ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.
 - ۲- متوسط سرعت رسیدن کارها و یا سفارشات کمتر از حاصلضرب متوسط زمان انجام سفارشات و تعداد سرویس دهندگان باشد.
 - ۳- شرایط فوق در طول یک دوره زمانی نسبتاً طولانی ادامه داشته باشد.
- در وضعیت تعادل سرعت جریان کار در سیستم با سرعت ورود به سیستم برابر است. مثلاً در یک بیمارستان سرعت پذیرش بیماران برابر است با سرعت بیمارستان خدمات دیده. بعلاوه بیماران از بین رفته. همچنین تعداد پذیرش دانشجویان برابر است با تعداد فارغ‌التحصیلان بعلاوه تعداد اخراجی‌ها. شکل (۱-۲-پ) سیستمی را که دارای یک خط انتظار است نشان می‌دهد. در این نمودار سرعت ورودی برابر است با سرعت خروجی علائم مورد استفاده در نمودار مذکور زیر توضیح داده شده است

1. Steady state

λ_q = متوسط سرعت مراجعه مشتریان به سیستم.^۱ این معیار برابر است با سرعت انجام خدمات بعلاوه سرعت افرادی که از خط انتظار خارج میشوند.

ρ = ضریب بازدهی.^۲ این ضریب عبارتست از درصدی از زمان خدمات دهنده‌ها که بطور متوسط مشغول کار میباشند

$1 - \rho$ = درصدی از زمان خدمات دهنده‌ها که بطور متوسط بیکار هستند

μ = متوسط بازدهی یک سرویس دهنده وقتی ۱۰۰ درصد زمان به کار مشغول باشد

$\rho\mu$ = متوسط بازدهی واقعی یک سرویس دهنده

s = تعداد خدمات دهندگان

AR = متوسط سرعت ورودی و یا متوسط سرعت پذیرش

همانطور که گفته شد در وضعیت تعادل متوسط خروجی با متوسط سرعت ورودی

برابر است یعنی:

متوسط سرعت خروجی = متوسط سرعت ورودی

$$AR = s\rho\mu$$

بنابراین ρ را میتوان از رابطه بالا برحسب AR و $s\mu$ محاسبه نمود.

$$\rho = \frac{AR}{s\mu}$$

حال به محاسبه بعضی از معیارهای خط انتظار می‌پردازیم.

حداقل تعداد سرویس دهندگان

از آنجا که بازدهی نمی‌تواند بیشتر از صددرصد باشد ($\rho < 1$) بنابراین:

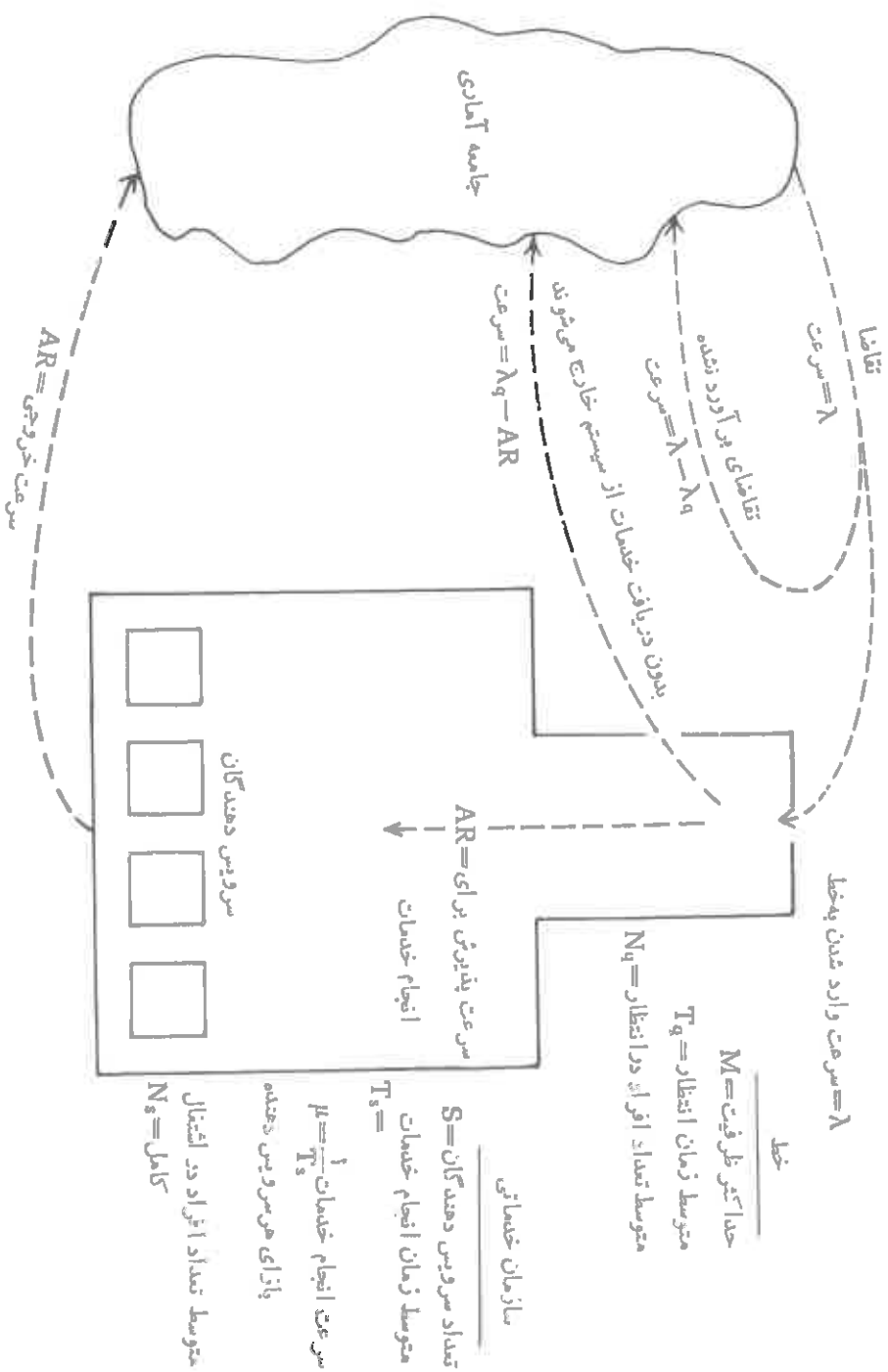
$$\frac{AR}{s\mu} < 1$$

$$AR < s\mu$$

$$s > \frac{AR}{\mu}$$

رابطه بالا را می‌توان به صورت زیر توضیح داد:

$$\text{متوسط سرعت ورودی} > \text{ضریب بازرسی} \times \text{متوسط تعداد سرویس دهندگان}$$



شکل ۱-۲-۳

نمودار یک سیستم خدماتی با یک خط انتظار

تعداد سرویس‌دهندگان مشغول به کار

اگر N_s تعداد سرویس‌دهندگان مشغول به کار باشد داریم:

$$N_s = s\rho = \frac{AR}{\mu}$$

تعداد مشتریانی که از خدمات بهره‌مند شده‌اند

از آنجا که برای هر کارمند مشغول يك مشتری در نظر گرفته شده بنا براین بطور

متوسط تعداد مشتریانی که در جریان کار خدمات می‌بینند برابر است با: N_s

متوسط زمان انجام خدمات برای هر مشتری

اگر این زمان را به T_s نشان دهیم داریم:

$$T_s = \frac{1}{\mu}$$

می‌توان تمام روابط بالا را برحسب T_s نیز بیان نمود مثلاً تعداد کارمندان مشغول برابر است با:

$$N_s = \frac{AR}{\mu} = AR T_s$$

همچنین:

متوسط زمان انتظار \times متوسط سرعت ورودی = متوسط افراد در خط انتظار

اگر N_q نشان دهنده طول خط انتظار و T_q نمایانگر متوسط زمان انتظار باشد داریم:

$$N_q = \lambda_q \cdot T_q$$

بطور خلاصه در حالت تعادل میتوان از روابط زیر استفاده نمود:

$$۱- \quad \text{تعداد کارکنان مشغول} = \frac{\text{سرعت پذیرش}}{\text{ظرفیت انجام خدمات}} = \text{متوسط ضریب بازدهی}$$

$$\rho = \frac{AR}{s\mu} = \frac{N_s}{s}$$

$$۲- \quad \text{سرعت توان سیسم} < \text{سرعت پذیرش برای خدمات} \geq \text{سرعت قرار گرفتن در خط انتظار} \geq \text{سرعت رسیدن تقاضا}$$

$$\lambda \geq \lambda_q \geq AR < s\mu \quad \left(\text{یا } \frac{s}{T_s}\right)$$

$$\text{متوسط زمان خدمات} \times \text{متوسط سرعت پذیرش} = \frac{\text{تعداد کارکنان مشغول}}{\text{تعداد کارکنان}} = 3$$

$$s \geq N_s = AR \cdot T_s \quad \left(\text{یا } \frac{AR}{\mu}\right)$$

$$\text{متوسط زمان در خط انتظار} \times \text{سرعت قرار گرفتن در خط انتظار} = \frac{\text{متوسط اندازه خط}}{\text{حداکثر اندازه خط}} \geq 4$$

$$M \geq N_q = \lambda_q \cdot T_q$$

مثال ۱

متوسط زمانیکه يك اتومبیل برای پرداخت عوارض اتوبان در کیوسک ورودی توقف می کند ۱ ثانیه است. ابتدای اتوبان سه کیوسک وجود دارد. چه میزان حجم ترافیک را می توان با این سه کیوسک انجام داد. تمام اتومبیل ها باید از کیوسک ها رد شوند بنابراین سرعت پذیرش با سرعت خروجی برابر است. پس بر طبق رابطه ۲

$$\lambda < s\mu = 3\left(\frac{1}{10}\right) = 0.3$$

یعنی در هر ثانیه ۰/۳ يك اتومبیل می تواند از کیوسک ها رد شوند و یا به عبارت دیگر در هر دقیقه ۱۸ اتومبیل می تواند رد شوند.

$$0.3 \times 60 = 18$$

مثال ۲

يك بیمارستان ۲۵۰ تخت خوابی در نظر دارد ۱۸۲۵۰ مریض در سال آینده بپذیرد. هر مریض بطور متوسط ۸ روز در بیمارستان خواهد ماند. آیا تعداد تخت خواب ها با اندازه کافی هستند؟ چه تعداد از تخت خواب ها خالی خواهد بود اگر ۱۰ تخت دیگر اضافه گردد؟ ضریب بازدهی بیمارستان چه تغییری خواهد کرد؟

هر تخت را می توان يك بیمار مریض بپذیرد. بنابراین

$$s = 250$$

$$AR = \frac{18250}{365} = 50 \quad \text{متوسط تعداد مریض‌های پذیرفته در روز}$$

$$T_s = 8 \quad \text{روز}$$

بنابر این بر طبق رابطه ۳

$$N_s = 50(8) = 400 \quad \text{تخت}$$

بنابر این تعداد تخت‌هایی که خالی خواهد بود برابر است با:

$$450 - 400 = 50$$

با استفاده از رابطه ۱ ضریب بازدهی برابر است با:

$$\rho = \frac{400}{450} = 0.89$$

اگر تعداد ۱۰ تخت دیگر اضافه گردد، ضریب بازدهی برابر است با:

$$\rho = \frac{400}{460} = 0.87$$

مثال ۳

سیستم تلفن رزرو یک شرکت طوری طراحی شده که به طور متوسط زمان انتظار هر تلفن بیشتر از ۳ دقیقه نشود. تقریباً هر ساعت ۲۰۰ تلفن را می‌توان جواب داد. تعداد تلفن‌هایی که می‌توان در حالت انتظار نگاه داشت چه میزان است؟ اگر تمام مشتریان حاضر به منتظر شدن باشند $\lambda_p = 200$ در ساعت خواهد بود یا $3/333$ تلفن در دقیقه. با استفاده از رابطه ۴ داریم:

$$N_q = \lambda_q T_q = (3/333)(3) = 10$$

بنابر این به طور متوسط ۱۰ تلفن در انتظار خواهند بود.

تعیین ظرفیت با استفاده از تئوری خط انتظار^۱

در بحث قبلی اشاره شد که زمان انتظار تحت تأثیر تغییرات در ورودی سیستم و انجام خدمات می‌باشد. بدین ترتیب برای پیش‌بینی زمان باید مدلی طراحی شود که این

دومشیر تصادفی را در برداشته باشد، در این قسمت به چگونگی ساخت مدل و روابط آن نمی پردازیم و تنها برخی از نتایج حاصل از مدل مذکور را مطرح ساخته موارد استفاده از آن را توضیح می دهیم. روابط موجود در این مدل بر اساس پیش فرضهای زیر می باشد:

۱- سرعت ورودی های سیستم در واحد زمان بر اساس توزیع احتمالی پواسون است. (میانگین سرعت ورودی برابر λ می باشد).

۲- سرعت انجام خدمات از قانون توزیع احتمالی نمای منفی^۱ تبعیت می کند. (بامیانگین $T_s = \frac{1}{\mu}$) این دو فرض به ویژگی مارکف^۲ مشهور است.

۳- تمام خدمات دهنده ها مشابه عمل می کنند.

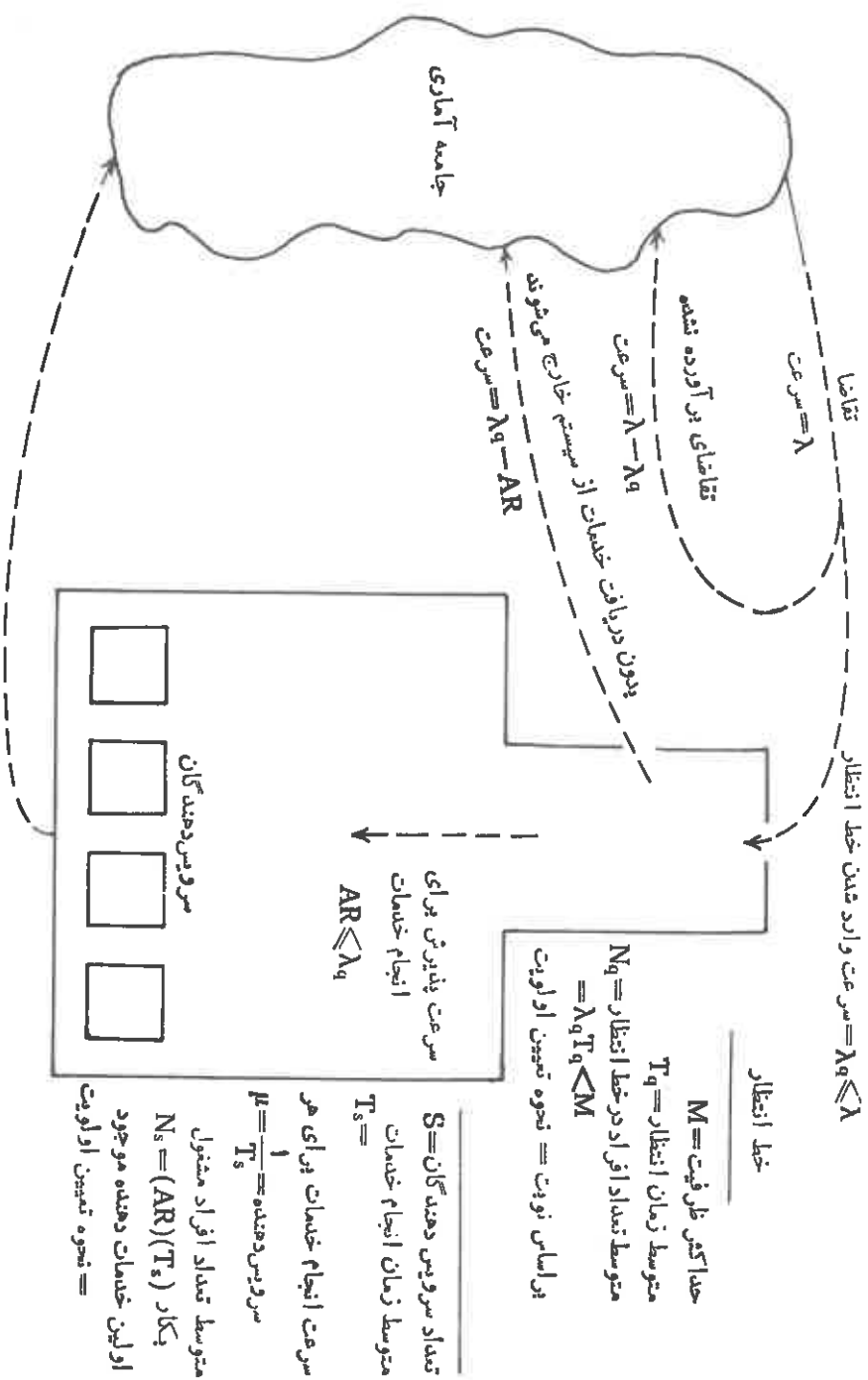
شکل شماره (۲-۲-پ) نوع سیستمی را که مورد بررسی قرار خواهد گرفت نشان می دهد. در این شکل ۳ عامل مهم یعنی جامعه آماری، خدمات دهنده ها، و خط انتظار نشان داده شده که ذیلاً به شرح هر یک می پردازیم.

زمانی که جامعه آماری در مقایسه با ظرفیت انجام خدمات و خط انتظار بسیار بزرگ باشد ($N \gg M + S$) تغییرات سرعت تقاضا صرف نظر از تعداد واقعی در خط انتظار به صورت تصادفی با میانگین λ می باشد به این ترکیب مدل با جامعه آماری بی نهایت می گویند ($N = \infty$)

از طرف دیگر فرض کنید که جامعه آماری (N) فقط دو برابر حجم $M + S$ باشد در این صورت وقتی خط انتظار تقریباً پر شود، جامعه آماری نصف شده (نیمه دیگر) یا در خط انتظار هستند یا در حال سرویس شدن می باشند و بنابراین سرعت ورودی ۵۰٪ کاهش می یابد. به عنوان یک راهنما، هرگاه $N < 10 \times (M + S)$ باشد می توان فرض کرد N_q و N_s از یک جامعه آماری بی نهایت گرفته شده اند.

وقتی خط انتظار از تمام ظرفیت مکانسی استفاده کرده باشد (M) فرض می شود که جامعه آماری از ورود به سیستم صرف نظر کرده و برای انجام خدمات جذب مؤسسات رقیب می گردد. از طرف دیگر اگر مکان انتظار داری ظرفیت خالی باشد سرعت ورودی به سیستم مانند گذشته می باشد. بنابراین متوسط سرعت ورود به خط انتظار (λ_q) به میزان درصد احتمال پر شدن خط انتظار از λ (سرعت تقاضا) کمتر خواهد بود.

در بسیاری موارد عملاً محدودیت برای مکان انتظار وجود ندارد مثلاً هنگامی که افراد در لیست انتظار ثبت نام کرده اند و بر آن اساس از خدمات بهره مند می شوند، و یا در سیستم هایی که سالن انتظار به حد کافسی گنجایش داشته و مشکل مکانی موجود



شکل ۲-۳
نمودار سیستم خدماتی با یک اولویت

نیست. به این حالت خط انتظار با ظرفیت بی نهایت می گویند زیرا عملاً هیچگونه محدودیتی برای خط انتظار وجود ندارد. در اینصورت:

$$\lambda = \lambda_q$$

در سیستم های خدماتی تعداد s خدمات دهنده وجود دارد (اگر خدمات دهنده یک نفر باشد $s=1$ خواهد بود) هر خدمت دهنده در آن واحد مشتری را بر اساس نوبت خدمت می دهد، و زمان انجام خدمات برای هر مشتری T_s می باشد. بنابراین میانگین سرعت انجام خدمات برای هر خدمات دهنده که با μ نشان داده می شود برابر با $\frac{1}{T_s}$ می باشد.

مشتری ها ممکن است با اولویت های خاص خدمات ببینند. این اولویت ها را در این مدل با k نوع نشان می دهیم. هر نوع خط انتظار خاص خود را دارد. نوع اول دارای اولویت بسیار زیاد بوده و نوع دوم خدمات نمی بیند مگر آنکه افراد در خط انتظار نوع اول همگی خدمات دیده باشند. و به همین ترتیب انواع بعدی خدمات می بینند. شکل (۲-۲) تنها یک سیستم خط انتظار با یک نوع اولویت را نشان می دهد. تمامی فرمولهای مختلف سیستمهای خط انتظار در جدول (۲-۱) خلاصه شده است. برای محاسبه ساده فرمولها می توان از جدول (۲-۲) استفاده کرد.

اینک روابط گفته شده را در قالب یک مثال توضیح می دهیم:

مراجعه کنندگان قسمت اورژانس یک بیمارستان را می توان در سه طبقه تقسیم بندی نمود تعداد مراجعه کنندگان نوع اول ۱۰ نفر، نوع دوم ۱۵ نفر و نوع سوم ۲۰ نفر در روز می باشد. نحوه پذیرفتن بیمار بدین صورت است که بیماران پس از ورود به بیمارستان در اطاق انتظار منتظر نوبت، جهت انجام خدمات قرار می گیرند و هیچگونه وقت قبلی پذیرفته نمی شود، و نفر طبیب در قسمت اورژانس وجود دارند که می توانند بطور متوسط ۲۵ نفر مریض در روز را ویزیت نمایند. بیماران نوع اول نسبت به دو نوع دیگر و بیماران نوع دوم نسبت به بیماران نوع سوم باید در اولویت قرار داشته باشند اما در حال حاضر بیماران بر حسب نوبت ویزیت می شوند بعبارت دیگر هر کس که زودتر بیاید بدون توجه به نوع بیماری زودتر می تواند خدمات ببیند.

تجزیه و تحلیل نوع اول: اولویت وجود ندارد و محدودیتی برای خط انتظار نمی باشد.

در تجزیه و تحلیل نوع اول بین مراجعه کنندگان مختلف اولویت خاصی وجود ندارد ($k=1$) و همچنین محدودیتی برای اندازه خط انتظار تعداد مراجعه کنندگان نیست ($M=\infty, N=\infty$) با استفاده از جدول (۲-۱) و مدل II تعداد افرادی که در یک روز

زمان انتظار T_q	میانگین تعداد موجود در خط انتظار N_q	تعداد خدمات N_s	سرعت پذیرش AR	درصد بازگشتیها P_{full}	تعداد انواع K	حداکثر ظرفیت M	جامه خدمات N	تعداد خدمات S	مدل
$\frac{N_q}{\lambda}$	$\frac{P^r}{1-p}$	$\frac{\lambda}{\mu}$	λ	\circ	1	∞	∞	1	I
$\frac{N_q}{\lambda}$	نگاه کنید به جدول $\gamma-1-\gamma$	$\frac{\lambda}{\mu}$	λ	\circ	1	∞	∞	S	II
$\frac{N_q}{AR}$	$\frac{P}{1-p} \left\{ \frac{1 - [P^M(M - M_p + 1)]}{\lambda - p^{M+1}} \right\}$	$\frac{AR}{\mu}$	$\lambda(1 - P_{full})$	$\frac{P^M(1-p)}{\lambda - p^{M+1}}$	1	M	∞	S	III
$\frac{N_q}{\lambda} K = 1 \dots K$	$\frac{P_k}{(A)(B_k-1)(B_k)} K = 1 \dots K$	$\frac{\lambda}{\mu}$	λ	\circ	K	∞	∞	S	IV
	درین کتاب این مدل بررسی نشده است	\circ	1	\circ	1	N	N	S	V

توضیحات جدول: λ = میانگین سرعت ورود به سیستم $\lambda = \lambda$ برای K اولویت

μ = میانگین سرعت انجام خدمات

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}$$

$$\rho = \sum \rho_k$$

$$A = \frac{p/(1-p)}{\lambda_k(p-1-p)}$$

دارای معنی خاصی نیست

$$B_k = B_{k-1} - \rho_k$$

خاصی نیست

[illegible]

16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	0.063	0.303	0.614	1.220	2.455	5.322	14.824	44.510
	0	0	0	0	0	0	2	2	4	8	15	23	53	143
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.056	0.276	0.577	1.186	2.381	5.225	14.700	44.369
	0	0	0	0	0	0	2	2	4	7	15	23	53	143
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.048	0.256	0.542	1.116	2.312	5.132	14.580	44.232
	0	0	0	0	0	0	2	2	4	7	14	22	53	143
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.041	0.236	0.511	1.069	2.245	5.043	14.465	44.099
	0	0	0	0	0	0	1	6	4	7	14	22	53	143
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.036	0.218	0.481	1.024	2.182	4.957	14.353	43.970
	0	0	0	0	0	0	1	6	4	7	14	22	52	142
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.019	0.148	0.362	0.836	1.905	4.571	13.839	43.371
	0	0	0	0	0	0	0	5	3	6	13	22	52	142
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.102	0.276	0.691	1.680	4.243	13.366	42.834	42.834
	0	0	0	0	0	0	0	4	2	5	12	20	51	141
35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.072	0.213	0.577	1.491	3.957	12.979	42.344	42.344
	0	0	0	0	0	0	0	3	1	4	11	20	50	141
40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.051	0.166	0.485	1.331	3.704	12.609	41.892	41.892
	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	11	20	50	140
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.026	0.102	0.348	1.075	3.275	11.953	41.075	41.075
	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	9	18	49	139

Key: The decimal numbers are N_q values, and the integers are $q(95)$ and $q(99)$. I.e. the probability is $\geq 95\%$ that the queue is $\leq q(95)$, and similarly for $q(99)$.

جدول ۲-۲ میانگین تعداد در خط انتظار (N_q)

پذیرفته می‌شوند برابر است با:

$$\lambda = AR = 10 + 15 + 20 = 45$$

همچنین تعداد افرادی که به‌طور کامل اشتغال دارند برابر است با:

$$N_s = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{45}{25} = 1.8$$

به عبارت دیگر می‌توان گفت دو نفر طیب ($S=2$) ۹۰ درصد ($\rho = \frac{1.8}{2} = 0.9$) از مواقع مشغول ویزیت بیماران خواهند بود.

برای به‌دست آوردن متوسط تعداد بیماران در خط انتظار (N_q) از جدول (۲-۲) استفاده می‌کنیم بدین‌صورت که در ردیف $S=2$ و ستون $\rho=0.9$ داریم $N_q=7674$. یعنی به‌طور متوسط تعداد بیمارانی که در خط انتظار قرار دارند ۷۶۷۴ می‌باشد. حال به جدول (۲-۱) برگردید و متوسط زمان انتظار را با استفاده از رابطه $\frac{N_q}{\lambda}$ محاسبه نمایید داریم:

$$T_q = \frac{N_q}{\lambda} = \frac{7674}{45} = 0.1705 \text{ روز}$$

اگر يك روز کاری را ۸ ساعت فرض نماییم آنگاه متوسط زمان انتظار هر بیمار عبارتست از:

$$T_q = 0.1705 \times 8 = 1.36 \text{ ساعت}$$

در جدول (۲-۲) زیر عدد $N_q=7674$ دو عدد دیگر یعنی ۲۶ و ۴۲ بلافاصله آمده است این اعداد به ترتیب درصد نقاط نود و پنج و نود و نهم از توزیع احتمالات خط انتظار می‌باشد. به عبارت دیگر احتمال اینکه تعداد بیماران خط انتظار بیشتر از ۲۶ نفر بشود ۵ درصد می‌باشد.

تجزیه و تحلیل نوع دوم: محدودیت برای خط انتظار وجود دارد.

در تجزیه و تحلیل نوع دوم برای تعداد افراد در خط انتظار محدودیت وجود دارد. با داشتن $M=10$ در جدول (۲-۱) مدل III درصد افرادی که بازگردانده می‌شوند برابر است با:

$$P_r = \frac{\rho^m(1-\rho)}{A-\rho^{m+1}}$$

ضریب A را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$A = \frac{\rho(1-\rho)}{N_q \text{ (از جدول (۲-۲))}}$$

با استفاده از تجزیه و تحلیل نوع اول $\rho = 0.09$ و $N_q = 7674$ داریم:

$$A = \frac{0.09(1-0.09)}{7674} = 1.173$$

$$\rho^m = (0.09)^{10} = 0.3487$$

$$P_r = \frac{\rho^m(1-\rho)}{A - \rho^{m+1}} = \frac{0.3487(0.91)}{1.173 - (0.09)(0.3487)} = \frac{0.317}{0.88591} = 0.358$$

بنابراین حدود ۳۵ درصد افراد برگردانده می‌شوند. بر طبق مدل III متوسط تعداد بیمارانی که در اتاق انتظار در هر زمان وجود دارند برابر است با:

$$N_q = \frac{\rho}{1-\rho} \left\{ \frac{1 - [\rho^m(M - M_p + 1)]}{A - \rho^{m+1}} \right\}$$

$$N_q = \frac{0.09}{0.91} \left\{ \frac{1 - [(0.3487)(10 - 9 + 1)]}{0.88591} \right\} = 3.17$$

و متوسط زمان انتظار برابر است با:

$$T_q = \frac{N_q}{AR} = \frac{3.17}{43.2} = 0.073 \text{ روز} = 0.559 \text{ ساعت}$$

نتایج بالا را می‌توان به این صورت تجزیه و تحلیل کرد که يك کاهش کم در مراجعه کنندگان باعث می‌شود زمان انتظار حدود ۵۰ درصد کاهش یابد (از ۱۴ ساعت به ۰.۵۵۹ ساعت).

تجزیه و تحلیل نوع سوم: اولویت وجود دارد.

در تجزیه و تحلیل نوع سوم برای مراجعه کنندگان مختلف اولویت قائل می‌شویم. در مورد مثال فوق سه نوع مراجعه کننده داریم بنابراین $R = 3$ می‌باشد. حال با استفاده

از مدل IV جدول (۱-۲) مقادیر ρ_k ، B_k و N_{qk} را در صفحه بعد محاسبه می‌کنیم.

این تجزیه و تحلیل به ما نشان می‌دهد که متوسط تعداد در خط انتظار همان ۷۶۷۴،

می‌باشد و با قائل شدن اولویت تغییری پیدا نکرده اما در صف انتظار بیماران نوع سوم

حدود ۸۹ درصد کل بیماران را تشکیل می‌دهند ($\frac{682}{7674}$) در صورتی که تعداد بیماران

$N_{qk} = \frac{\rho_k}{AB_{k-1}B_k}$	$B_k = B_{k-1} - \rho_k$	$\rho_k = \frac{\lambda_k}{S\mu}$	K
	$B_0 = 1$		۰
$\frac{0.2}{(A)(1)(0.8)} = 0.25$	$B_1 = B_0 - \rho_1 = 0.8$	$\frac{10}{50} = 0.2$	۱
$\frac{0.3}{(A)(0.8)(0.5)} = 0.75$	$B_2 = B_1 - \rho_2 = 0.5$	$\frac{15}{50} = 0.3$	۲
$\frac{0.4}{(A)(0.5)(0.1)} = 8.0$	$B_3 = B_2 - \rho_3 = 0.1$	$\frac{20}{50} = 0.4$	۳

جمع ۷۶۷۲

نوع سوم که وارد بیمارستان می‌شوند برابر است با:

$$\frac{\lambda_3}{\lambda^k} = \frac{20}{40} = 50\%$$

متوسط زمان انتظار برای هر یک از انواع بیماران برابر است با:

۱- متوسط زمان انتظار بیماران نوع اول

$$\frac{N_{q1}}{\lambda_1} = \frac{0.25}{10} = 0.025 \text{ روز} = 0.17 \text{ ساعت}$$

۲- متوسط زمان انتظار بیماران نوع دوم

$$\frac{N_{q2}}{\lambda_2} = \frac{0.75}{15} = 0.05 \text{ روز} = 0.34 \text{ ساعت}$$

۳- متوسط زمان انتظار بیماران نوع سوم

$$\frac{N_{q3}}{\lambda_3} = \frac{8.0}{20} = 0.4 \text{ روز} = 2.73 \text{ ساعت}$$

تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده برای بیمارستان

می‌دانیم تعداد بیمارانی که به بیمارستان مراجعه می‌کنند و زمان انجام خدمات دقیقاً

مشخص نبوده و این تجزیه و تحلیل‌ها فقط يك برآورد می‌باشد. در تجزیه و تحلیل نوع اول و سوم زمان انتظار طولانی بوده ولی در تجزیه و تحلیل نوع دوم با قائل شدن محدودیت برای خط انتظار زمان انتظار نیز به نسبت زیادی کاهش یافت و در عوض ۴ درصد بیماران بدون دیدن خدمات بیمارستان را ترك گفتند و در نتیجه بیمارستان بطور متوسط ۴ درصد از درآمدها خود را از دست داده است. نتایج این مثال در نشان دادن اصول زمان انتظار در مقایسه با زمان بیکاری بسیار مهم می‌باشد. زمان انتظار را می‌توان با افزایش نسبی ظرفیت انجام خدمات، کاهش داد. این افزایش ممکن است در مورد افراد یا تجهیزات خدماتی صورت گیرد.

سربه‌سوی هزینه و زمان - حد مطلوبیت

سربه‌سوی هزینه ناشی از بیکاری و هزینه زمان انتظار را می‌توان به دو طریق نشان داد. ۱- از طریق افزایش تعداد سرویس دهندگان (تعداد پزشک‌ها) و ۲- کاهش تعداد مراجعه‌کنندگان (بیماران). در مورد مثال قبل فرض کنید هزینه بیمارستان شامل سه نوع هزینه باشد: هزینه ثابت (F)، هزینه ناشی از افزایش پزشک (C_s) هزینه نهایی انجام خدمات (C_p). هزینه ناشی از افزایش يك پزشک شامل حقوق پزشک و هزینه‌های متغیر سربار دیگر می‌باشد. هزینه نهایی انجام خدمات شامل هزینه‌های حسابداری و تشکیل پرونده افراد بوده و در مقابل هزینه‌های دیگر بسیار ناچیز می‌باشد هزینه ثابت نیز شامل هزینه ثابت سربار بیمارستان است بنا براین هزینه کل بیمارستان در يك روز، برابر است با

$$F + SC_s + \lambda C_p$$

در رابطه بالا S ، تعداد پزشک‌ها و λ تعداد بیماران خدمات دیده می‌باشد. هزینه متوسط بیمارستان برای هر بیمار برابر است با:

$$AC_s = \frac{F + SC_s + \lambda C_p}{\lambda} = \frac{F + SC_s}{\lambda} + C_p$$

اگر C_w برابر متوسط هزینه انتظار يك ساعت هر بیمار باشد آنگاه متوسط هزینه از دست رفته هر بیمار برابر خواهد بود با $C_w T_q$ ، فرض کنید $20000 = T_q$ ، $C_s = 15000$ و $C_p = 600$ ریال باشد. در جدول (۳-۲) هزینه کل کلینیک برای $C_w = 200$ و $C_w = 1000$ نشان داده شده است. جدول مذکور نتایج هزینه کل هر بیمار را با توجه به تصمیمات مختلفی که کلینیک

می. اند اتحاد نماید را نشان داده است مثلاً در ردیف اول دونفر پزشك در استخدام كاشيك هستند و در هر روز ۴۵ نفر را ویزیت می نمایند. همانطور كه قبلاً نیز محاسبه شد بازدهی دركدام از پزشك ها $p = 0.90$ می باشد. تعداد بیماران در خط انتظار و زمان انتظار هر كدام را می توان از جدول به دست آورد. هزینه انتظار هر بیمار برابر است با حاصل ضرب زمان انتظار در هزینه انتظار و بالاخره هزینه كل هر بیمار برابر است با متوسط هزینه كینیک برای هر بیمار علاوه فرصت از دست رفته او. فی المثل هزینه كل يك بیمار $S = 2, C = 1711$ و $A_c = 1711$ برابر است با

$$1984 = 1711 + 273 = \text{متوسط هزینه كل}$$

همانطور كه در جدول مذکور نشان داده شده است افزایش تعداد پزشكان از دونفر به ۳ نفر (۵۰ درصد) زمان انتظار هر بیمار را از ۱۳۶۴ ساعت به ۹۴ ساعت (۹۳٪) کاهش می دهد. همچنین کاهش تعداد بیماران از ۴۵ به ۴۰ نفر (۱۱٪) باعث کاهش زمان انتظار از ۱۳۶۴ به ۵۶۸ ساعت (۵۸٪) می گردد. این پدیده در تئوری خط انتظار بسیار مهم است یعنی خط انتظار نسبت به تغییرات كوچك سیستم بسیار حساس است. اکنون به يك مثال دیگر توجه كنید.

مثال:

فرض كنید می خواهیم تعداد باجه های اخذ عوارض در ابتدای اتوبان تهران-كرج را بین ساعات ۴ تا ۶ بعد از ظهر كه بیشترین حجم ترافيك را دارد تعیین كنیم. اگر به طور متوسط در هر ۷۱ ثانیه يك اتومبیل وارد محوطه اخذ عوارض گردد و همچنین زمان اخذ عوارض و تحویل قبض ۳۴۷ ثانیه باشد (این زمان عبارتست از زمان حرکت اتومبیل به طرف كیوسك، بعد از اینکه اتومبیل جلویی حرکت كرد). تعداد كیوسك ها باید پنج و یا بیشتر باشد زیرا اگر تعداد كیوسك ها را ۴ فرض كنیم این تعداد كیوسك به طور متوسط می تواند هر $\frac{347}{4} = 86.75$ ثانیه يك اتومبیل را راه بیاندازند و این امر موجب ایجاد صف می گردد. همچنین اگر تعداد اتومبیل ها در صف انتظار بیشتر از ۴۰ دستگاه باشد باعث ایجاد ترافيك سنگین می شود. برای استفاده از جدول (۲-۲-ب) باید λ و μ را محاسبه نماییم.

$$\lambda = \frac{1}{41} = 0.02439 \text{ متوسط تعداد ورودی در هر ثانیه}$$

$$\mu = \frac{1}{347} = 0.00288 \text{ متوسط تعداد اتومبیل های خدمات در هر ثانیه}$$

هزینه کل هر بیمار		هزینه انتظار		هزینه کلینیک					
		هزینه انتظار							
C_w = ۱۰۰۰	C_w = ۲۰۰	C_w = ۱۰۰۰	C_w = ۲۰۰	زمان انتظار به ساعت T_q	تعداد بیماران در انتظار N_q	بازدهی ρ	متوسط هزینه هر بیمار AC	تعداد بیماران در روز λ	تعداد پزشکان پزشکان S
۳۰۷۵	۱۹۸۴	۱۳۶۴	۲۷۳	۱۳۶۴	۷۶۶۷۴	۰۰۹۰	۱۷۱۱	۴۵	۲
۲۱۳۸	۲۰۶۳	۹۴	۱۹	۰۰۵۹۴	۰۰۵۳	۰۰۶	۲۰۴۴	۴۵	۳
۲۳۹۸	۲۳۸۲	۲۰	۲	۰۰۵۴	۰۰۱۱	۰۰۲۵	۲۳۷۸	۴۵	۴
۲۲۹۳	۲۰۳۹	۵۶۸	۱۱۳	۰۰۵۶۸	۲۸۸۲	۰۰۸	۱۹۲۵	۴۰	۲
۲۵۰۶	۲۲۳۱	۳۰۶	۶۱	۱۳۳۰۶	۱۳۳۴	۰۰۷	۲۲۰۰	۳۵	۲
۲۷۴۶	۲۶۰۳	۱۷۹	۳۶	۰۰۱۷۹	۰۰۶۷	۰۰۶	۲۵۶۷	۳۰	۲
۳۱۸۶	۳۱۰۳	۱۰۶	۲۱	۰۰۱۰۶	۰۰۳۳	۰۰۵	۳۰۸۰	۲۵	۲

جدول ۳-۲-پ

هزینه خدماتی و هزینه انتظار در کلینیک

پس

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu}, \quad \rho = \text{ضریب بازدهی} = \frac{0.1408}{0.0288 S}$$

در جدول زیر بازدهی برای $S=5$ ، $S=6$ و $S=7$ محاسبه شده است همچنین متوسط تعداد اتومبیل‌ها در خط انتظار با ۹۵ درصد و ۹۹ درصد اطمینان نیز با استفاده از جدول (۲-۲) لیست گردیده است.

ρ	متوسط تعداد اتومبیل‌ها در صفت انتظار	۹۵%	۹۹%
$\rho(=0.098)$	۴۶۰۵۶۶	۱۴۵	۲۲۵
$\rho(=0.081)$	۲۷۰۱	۱۰	۱۷
$\rho(=0.070)$	۰۷۰۲	۵	۹

اگر تعداد کارمندان را ۵ نفر انتخاب کنیم به‌طور متوسط ۴۶۰۵۶۶ اتومبیل در خط انتظار خواهند بود که مطابق با مفروضات مسئله بیشتر از حداکثر تعداد در خط انتظار است و نمی‌توان آنرا قبول کرد. اگر $S=6$ را انتخاب کنیم، ۹۹ درصد از مواقع تعداد اتومبیل‌ها در خط انتظار کمتر از ۱۷ عدد خواهد بود و زمان بیکاری کارمندان ($0.081 - 1$) یا ۹۹ درصد می‌باشد.

حال مفروضات مسئله را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم اولاً زمان انجام خدمات و زمان رسیدن کارها نباید از یک توزیع شناخته شده تبعیت کند. این فرض تقریباً منطقی می‌باشد زیرا زمان انجام واقعه‌ها کوتاه بوده، و به‌ندرت زمان طولانی خواهیم داشت. ثانیاً فرض شده که یک خط انتظار وجود دارد و این بدان معنی است که اگر در یک کیوسک اتومبیل‌ها صفت بکشند کیوسک دیگر بیکار نخواهد بود. با وجود اینکه این فرض نمی‌تواند در تمامی موارد صحیح باشد ولی می‌توان آن را قبول کرد زیرا اگر یک کیوسک بیکار باشد معمولاً اتومبیل‌ها سعی می‌کنند در آن کیوسک وارد شوند و در مدت کوتاهی تعادل بین کیوسک‌ها برقرار می‌گردد.

مهمترین فرضی که در این مسئله شده حالت تعادل می‌باشد یعنی فرمول‌ها و جداولی که بکار رفته در حالت تعادل است. از آنجا که هر ۷ ثانیه یک اتومبیل وارد می‌شود و مدت

کوتاهی مثلاً يك ساعت می‌توان اطمینان داشت که حالت تعادل در سیستم برقرار می‌گردد. مثال دیگری که می‌توان در این مورد ذکر کرد، گروه تعمیرات و نگهداری ماشینهای بزرگ مثل کامپیوتر و یا ماشینهای کپی می‌باشند. مکان کارگاه تعمیرات و نگهداری درجائی تعیین شده که زمان کل تعمیرات (شامل زمان رفت و برگشت و زمان انجام تعمیرات) حداقل باشد. از طرفی ماشین آلات باید به صورت مداوم سرویس شوند. بنابراین می‌توان از تئوری مارکف استفاده نمود. همچنین فرض می‌شود که سیستم در حالت تعادل می‌باشد. در این سیستم ۲ نوع تعمیرات انجام می‌شود تعمیرات دوره‌ای که هر چند ماه یکبار انجام و تعمیرات ضروری که هر وقت ماشینی خراب شد صورت می‌گیرد. تعمیرات ضروری بر سایر تعمیرات اولویت دارند.

تعمیرات دوره‌ای به طور متوسط هر ۸۶ دقیقه يك بار در طول ساعات کاری وجود دارد. و تعمیرات ضروری به طور متوسط هر ۵۲ دقیقه يك بار در طول ساعات کاری پدید می‌آید. هر کدام از این تعمیرات را می‌توان به طور متوسط در ۱۱۸ دقیقه انجام داد. این زمان عبارتست از ۳۷ دقیقه زمان رفت و برگشت به محل تعمیرات و ۸۱ دقیقه زمان انجام تعمیرات. زمان انتظار تعمیرات ضروری باید به طور متوسط کمتر از يك ساعت باشد. حال می‌خواهیم ببینیم چند نفر تعمیرکار برای این سازمان مورد نیاز است. فرمولهایی که برای این حالت تعادل می‌توان بکار برد مربوط به مدل IV در جدول (۱-۲-ب) خواهد بود. تعداد تعمیرات ضروری در هر دقیقه برابر است با:

$$\lambda_1 = \text{در هر دقیقه } ۵۲ = \frac{۱}{۵۲} = ۰.۰۱۹۲۳ \text{ تعداد تعمیرات ضروری}$$

$$\lambda_2 = \text{در هر دقیقه } ۸۶ = \frac{۱}{۸۶} = ۰.۰۱۱۶۳ \text{ تعداد تعمیرات دوره‌ای}$$

$$\mu = \frac{۱}{۱۱۸} = ۰.۰۰۸۴۷۵$$

بنابراین:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{S\mu} = \frac{۰.۰۱۹۲۳}{(۰.۰۰۸۴۷۵)S} = \frac{۲.۲۶}{S}$$

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{S\mu} = \frac{۰.۰۱۱۶۳}{(۰.۰۰۸۴۷۵)S} = \frac{۱.۳۷}{S}$$

در هر دقیقه تعداد $۰.۰۱۹۲۳ + ۰.۰۱۱۶۳ = ۰.۰۳۰۸۶$ تعمیرات باید انجام

گیرد بنابراین در هر ۱۱۸ دقیقه تعداد تعمیرات برابر است با:

$\frac{X_i - \mu}{\sigma}$	0.00	0.01	
+0.0	0.5000	0.5040	0.1
+0.1	0.5398	0.5438	0.1
+0.2	0.5793	0.5832	0.1
+0.3	0.6179	0.6217	0.1
+0.4	0.6554	0.6591	0.1
+0.5	0.6915	0.6950	0.1
+0.6	0.7257	0.7291	0.1
+0.7	0.7580	0.7611	0.1
+0.8	0.7881	0.7910	0.1
+0.9	0.8159	0.8186	0.1
+1.0	0.8413	0.8438	0.1
+1.1	0.8643	0.8665	0.1
+1.2	0.8849	0.8869	0.1
+1.3	0.9032	0.9049	0.1
+1.4	0.9192	0.9207	0.1
+1.5	0.9332	0.9345	0.1
+1.6	0.9452	0.9463	0.1
+1.7	0.9554	0.9564	0.1
+1.8	0.9641	0.9649	0.1
+1.9	0.9713	0.9719	0.1
+2.0	0.9773	0.9778	0.1
+2.1	0.9821	0.9826	0.1
+2.2	0.9861	0.9864	0.1
+2.3	0.9893	0.9896	0.1
+2.4	0.9918	0.9920	0.1
+2.5	0.9938	0.9940	0.1
+2.6	0.9953	0.9955	0.1
+2.7	0.9965	0.9966	0.1
+2.8	0.9974	0.9975	0.1
+2.9	0.9981	0.9982	0.1
+3.0	0.99865	0.99869	0.1
+3.1	0.99903	0.99906	0.1
+3.2	0.99931	0.99934	0.1
+3.3	0.99952	0.99953	0.1
+3.4	0.99966	0.99967	0.1
+3.5	0.99977	0.99978	0.1

$$118(0.003086) = 363$$

و چون هر تعمیرکار بطور متوسط در هر ۱۱۸ دقیقه يك تعمیر را می‌تواند انجام دهد بنا براین حداقل ۲ تعمیرکار نیاز است پس اگر $S = 2$ انتخاب گردد داریم:

$$\rho_1 = 0.5650 \quad \rho_2 = 0.3225$$

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 = 0.8875$$

با استفاده از جدول (۱-۲-ب) داریم:

$$B_1 = 1 - 0.5650 = 0.4350$$

$$B_2 = 0.4350 - 0.3225 = 0.1125$$

مقدار N_q از جدول (۲-۲-ب) با $\rho = 0.8875$ برابر است با ۷۰۹ پس:

$$A = \frac{0.8875 / (1 - 0.8875)}{709} = 1.38$$

پس بطور متوسط تعداد تعمیرات در خط انتظار برابر است با:

$$1 \text{ اولویت: } Nq_1 = \frac{0.5650}{(1.38)(1)(0.4350)} = 0.941$$

$$2 \text{ اولویت: } Nq_2 = \frac{\rho_2}{A(B_2)(B_1)} = \frac{0.3225}{(1.38)(0.1125)(0.4350)} = 0.917$$

متوسط زمان انتظار برابر است با:

$$1 \text{ اولویت: } Tq_1 = \frac{0.941}{\lambda_1} = \frac{0.941}{0.01923} = 48.9 \text{ دقیقه}$$

$$2 \text{ اولویت: } Tq_2 = \frac{0.917}{\lambda_2} = \frac{0.917}{0.01163} = 78.9 \text{ دقیقه}$$

از آنجا که زمان انتظار تعمیرات ضروری کمتر از حد نصاب می‌باشد می‌توان با ۲ تعمیرکار سیستم تعمیرات و نگهداری سازمان را انجام داد.

اگر يك ماشین نیاز به تعمیرات ضروری داشته باشد به‌طور متوسط ۴۸.۹ دقیقه در انتظار بوده و زمان تعمیرات نیز به‌طور متوسط ۱۱۸ دقیقه می‌باشد به عبارت دیگر در عرض ۱۶۷ دقیقه (حدود سه ساعت) می‌توان يك ماشین را که دچار نقص فنی شده دوباره به‌دء انداخت.

0.02	0.01	0.00
0.00022	0.00022	0.00023
0.00031	0.00033	0.00034
0.00045	0.00047	0.00048
0.00064	0.00066	0.00069
0.00090	0.00094	0.00097
0.00126	0.00131	0.00135
0.0017	0.0018	0.0019
0.0024	0.0025	0.0026
0.0033	0.0034	0.0035
0.0044	0.0045	0.0047
0.0059	0.0060	0.0062
0.0078	0.0080	0.0082
0.0102	0.0104	0.0107
0.0132	0.0136	0.0139
0.0170	0.0174	0.0179
0.0217	0.0222	0.0228
0.0274	0.0281	0.0287
0.0344	0.0351	0.0359
0.0427	0.0436	0.0446
0.0526	0.0537	0.0548
0.0643	0.0655	0.0668
0.0778	0.0793	0.0808
0.0934	0.0951	0.0968
0.1112	0.1131	0.1151
0.1314	0.1335	0.1357
0.1539	0.1562	0.1587
0.1788	0.1814	0.1841
0.2061	0.2090	0.2119
0.2358	0.2389	0.2420
0.2678	0.2709	0.2743
0.3015	0.3050	0.3085
0.3372	0.3409	0.3446
0.3745	0.3783	0.3821
0.4129	0.4168	0.4207
0.4522	0.4562	0.4602
0.4920	0.4960	0.5000

to $(X_i - \mu) / \sigma$, represents

جدول توزیع پواسون

λ/p_0 c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0	0.905 (0.905)	0.819 (0.819)	0.741 (0.741)	0.670 (0.670)	0.607 (0.607)
1	0.091 (0.996)	0.184 (0.983)	0.222 (0.963)	0.268 (0.938)	0.303 (0.910)
2	0.004 (1.000)	0.016 (0.999)	0.033 (0.996)	0.054 (0.992)	0.076 (0.986)
3		0.010 (1.000)	0.004 (1.000)	0.007 (0.999)	0.013 (0.999)
4				0.001 (1.000)	0.001 (1.000)

λ/p_0 c	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.549 (0.549)	0.497 (0.497)	0.449 (0.449)	0.406 (0.406)	0.368 (0.368)
1	0.329 (0.878)	0.349 (0.845)	0.359 (0.808)	0.366 (0.772)	0.368 (0.736)
2	0.099 (0.977)	0.122 (0.967)	0.144 (0.952)	0.166 (0.938)	0.184 (0.920)
3	0.020 (0.997)	0.028 (0.995)	0.039 (0.991)	0.049 (0.987)	0.061 (0.991)
4	0.003 (1.000)	0.005 (1.000)	0.008 (0.999)	0.011 (0.998)	0.016 (0.997)
5			0.001 (1.000)	0.002 (1.000)	0.003 (1.000)

λ/p_0 c	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0	0.333 (0.333)	0.301 (0.301)	0.273 (0.273)	0.247 (0.247)	0.223 (0.223)
1	0.366 (0.699)	0.361 (0.662)	0.354 (0.627)	0.345 (0.592)	0.335 (0.559)
2	0.201 (0.900)	0.217 (0.879)	0.230 (0.857)	0.242 (0.834)	0.251 (0.809)
3	0.074 (0.974)	0.087 (0.966)	0.100 (0.957)	0.113 (0.947)	0.126 (0.939)
4	0.021 (0.995)	0.026 (0.992)	0.032 (0.989)	0.039 (0.986)	0.047 (0.982)
5	0.004 (0.999)	0.007 (0.999)	0.009 (0.998)	0.011 (0.997)	0.014 (0.996)
6	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.002 (1.000)	0.003 (1.000)	0.004 (1.000)

λ/p_0 c	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0	0.202 (0.202)	0.183 (0.183)	0.165 (0.165)	0.150 (0.150)	0.135 (0.135)
1	0.323 (0.525)	0.311 (0.494)	0.298 (0.463)	0.284 (0.434)	0.271 (0.406)
2	0.258 (0.783)	0.264 (0.758)	0.268 (0.731)	0.270 (0.704)	0.271 (0.677)
3	0.138 (0.921)	0.149 (0.907)	0.161 (0.892)	0.171 (0.875)	0.180 (0.857)
4	0.055 (0.976)	0.064 (0.971)	0.072 (0.964)	0.081 (0.956)	0.090 (0.947)
5	0.018 (0.994)	0.022 (0.993)	0.026 (0.990)	0.031 (0.987)	0.036 (0.983)
6	0.005 (0.999)	0.006 (0.999)	0.008 (0.998)	0.010 (0.997)	0.012 (0.996)
7	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.002 (1.000)	0.003 (1.000)	0.004 (0.999)
8					0.001 (1.000)

دنباله جدول توزیع پواسون

np_0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
0	0.123 (0.123)	0.111 (0.111)	0.100 (0.100)	0.091 (0.091)	0.082 (0.082)
1	0.257 (0.380)	0.244 (0.355)	0.231 (0.331)	0.218 (0.309)	0.205 (0.287)
2	0.270 (0.650)	0.268 (0.623)	0.265 (0.596)	0.261 (0.570)	0.258 (0.543)
3	0.189 (0.833)	0.197 (0.820)	0.203 (0.799)	0.209 (0.779)	0.214 (0.757)
4	0.099 (0.938)	0.108 (0.928)	0.117 (0.916)	0.125 (0.904)	0.134 (0.891)
5	0.042 (0.980)	0.048 (0.976)	0.054 (0.970)	0.060 (0.964)	0.067 (0.958)
6	0.015 (0.995)	0.017 (0.993)	0.021 (0.991)	0.024 (0.988)	0.028 (0.986)
7	0.004 (0.999)	0.005 (0.998)	0.007 (0.998)	0.008 (0.996)	0.010 (0.996)
8	0.001 (1.000)	0.002 (1.000)	0.002 (1.000)	0.003 (0.999)	0.003 (0.999)
9				0.001 (1.000)	0.001 (1.000)

np_0	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
0	0.074 (0.074)	0.067 (0.067)	0.061 (0.061)	0.055 (0.055)	0.050 (0.050)
1	0.193 (0.267)	0.182 (0.249)	0.170 (0.231)	0.160 (0.216)	0.149 (0.199)
2	0.251 (0.518)	0.245 (0.494)	0.238 (0.469)	0.231 (0.446)	0.224 (0.423)
3	0.218 (0.736)	0.221 (0.715)	0.223 (0.692)	0.224 (0.670)	0.224 (0.647)
4	0.141 (0.877)	0.149 (0.864)	0.156 (0.848)	0.162 (0.832)	0.168 (0.815)
5	0.074 (0.951)	0.080 (0.944)	0.087 (0.935)	0.094 (0.926)	0.101 (0.916)
6	0.032 (0.983)	0.036 (0.980)	0.041 (0.976)	0.045 (0.971)	0.050 (0.966)
7	0.012 (0.995)	0.014 (0.994)	0.016 (0.992)	0.019 (0.990)	0.022 (0.988)
8	0.004 (0.999)	0.005 (0.999)	0.006 (0.998)	0.007 (0.997)	0.008 (0.996)
9	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.002 (1.000)	0.002 (0.999)	0.003 (0.999)
10				0.001 (1.000)	0.001 (1.000)

np_0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
0	0.045 (0.045)	0.041 (0.041)	0.037 (0.037)	0.033 (0.033)	0.030 (0.030)
1	0.140 (0.185)	0.130 (0.171)	0.122 (0.159)	0.113 (0.146)	0.106 (0.136)
2	0.216 (0.401)	0.209 (0.380)	0.201 (0.360)	0.193 (0.339)	0.185 (0.321)
3	0.224 (0.625)	0.223 (0.603)	0.222 (0.582)	0.219 (0.558)	0.216 (0.537)
4	0.173 (0.798)	0.178 (0.781)	0.182 (0.764)	0.186 (0.744)	0.189 (0.726)
5	0.107 (0.905)	0.114 (0.895)	0.120 (0.884)	0.126 (0.870)	0.132 (0.858)
6	0.056 (0.961)	0.061 (0.956)	0.066 (0.950)	0.071 (0.941)	0.077 (0.935)
7	0.025 (0.986)	0.028 (0.984)	0.031 (0.981)	0.035 (0.976)	0.038 (0.973)
8	0.010 (0.996)	0.011 (0.995)	0.012 (0.993)	0.015 (0.991)	0.017 (0.990)
9	0.003 (0.999)	0.004 (0.999)	0.005 (0.998)	0.006 (0.997)	0.007 (0.997)
10	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.002 (1.000)	0.002 (0.999)	0.002 (0.999)
11				0.001 (1.000)	0.001 (1.000)

دنباله جدول توزیع پواسون

c	np_0	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
0		0.027 (0.027)	0.025 (0.025)	0.022 (0.022)	0.020 (0.020)	0.018 (0.018)
1		0.098 (0.125)	0.091 (0.116)	0.085 (0.107)	0.079 (0.099)	0.073 (0.091)
2		0.177 (0.302)	0.169 (0.285)	0.161 (0.268)	0.154 (0.253)	0.147 (0.238)
3		0.213 (0.515)	0.209 (0.494)	0.205 (0.473)	0.200 (0.453)	0.195 (0.433)
4		0.191 (0.706)	0.193 (0.687)	0.194 (0.667)	0.195 (0.648)	0.195 (0.628)
5		0.138 (0.844)	0.143 (0.830)	0.148 (0.815)	0.152 (0.800)	0.157 (0.785)
6		0.083 (0.927)	0.088 (0.918)	0.094 (0.909)	0.099 (0.899)	0.104 (0.889)
7		0.042 (0.969)	0.047 (0.965)	0.051 (0.960)	0.055 (0.954)	0.060 (0.949)
8		0.019 (0.988)	0.022 (0.987)	0.024 (0.984)	0.027 (0.981)	0.030 (0.979)
9		0.008 (0.996)	0.009 (0.996)	0.010 (0.994)	0.012 (0.993)	0.013 (0.992)
10		0.003 (0.999)	0.003 (0.999)	0.004 (0.998)	0.004 (0.997)	0.005 (0.997)
11		0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (0.999)	0.002 (0.999)	0.002 (0.999)
12				0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)

c	np_0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
0		0.017 (0.017)	0.015 (0.015)	0.014 (0.014)	0.012 (0.012)	0.011 (0.011)
1		0.068 (0.085)	0.063 (0.078)	0.058 (0.072)	0.054 (0.066)	0.050 (0.061)
2		0.139 (0.224)	0.132 (0.210)	0.126 (0.198)	0.119 (0.185)	0.113 (0.174)
3		0.190 (0.414)	0.185 (0.395)	0.180 (0.378)	0.174 (0.359)	0.169 (0.343)
4		0.195 (0.609)	0.196 (0.590)	0.193 (0.571)	0.192 (0.551)	0.190 (0.533)
5		0.160 (0.769)	0.163 (0.753)	0.166 (0.737)	0.169 (0.720)	0.171 (0.704)
6		0.110 (0.879)	0.114 (0.867)	0.119 (0.856)	0.124 (0.844)	0.128 (0.832)
7		0.064 (0.943)	0.069 (0.936)	0.073 (0.929)	0.078 (0.922)	0.082 (0.914)
8		0.033 (0.976)	0.036 (0.972)	0.040 (0.969)	0.043 (0.965)	0.046 (0.960)
9		0.015 (0.991)	0.017 (0.989)	0.019 (0.988)	0.021 (0.986)	0.023 (0.983)
10		0.006 (0.997)	0.007 (0.996)	0.008 (0.996)	0.009 (0.995)	0.011 (0.994)
11		0.002 (0.999)	0.003 (0.999)	0.003 (0.999)	0.004 (0.999)	0.004 (0.998)
12		0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (0.999)
13						0.001 (1.000)

دنباله جدول توزیع پواسون

c	np_0	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0
0	0.010 (0.010)	0.009 (0.009)	0.008 (0.008)	0.008 (0.008)	0.007 (0.007)	0.007 (0.007)
1	0.046 (0.056)	0.043 (0.052)	0.039 (0.047)	0.037 (0.045)	0.034 (0.041)	0.034 (0.041)
2	0.106 (0.162)	0.101 (0.153)	0.095 (0.142)	0.090 (0.136)	0.084 (0.125)	0.084 (0.125)
3	0.163 (0.325)	0.157 (0.310)	0.152 (0.294)	0.146 (0.281)	0.140 (0.265)	0.140 (0.265)
4	0.188 (0.513)	0.185 (0.495)	0.182 (0.478)	0.179 (0.460)	0.176 (0.441)	0.176 (0.441)
5	0.172 (0.685)	0.174 (0.669)	0.175 (0.651)	0.175 (0.635)	0.176 (0.617)	0.176 (0.617)
6	0.132 (0.817)	0.138 (0.805)	0.140 (0.791)	0.143 (0.778)	0.146 (0.763)	0.146 (0.763)
7	0.087 (0.904)	0.091 (0.896)	0.096 (0.887)	0.100 (0.878)	0.105 (0.868)	0.105 (0.868)
8	0.050 (0.954)	0.054 (0.950)	0.058 (0.945)	0.061 (0.939)	0.065 (0.933)	0.065 (0.933)
9	0.026 (0.980)	0.028 (0.978)	0.031 (0.976)	0.034 (0.973)	0.036 (0.969)	0.036 (0.969)
10	0.012 (0.992)	0.013 (0.991)	0.015 (0.991)	0.016 (0.989)	0.018 (0.987)	0.018 (0.987)
11	0.005 (0.997)	0.006 (0.997)	0.008 (0.997)	0.007 (0.996)	0.008 (0.995)	0.008 (0.995)
12	0.002 (0.999)	0.002 (0.999)	0.002 (0.999)	0.003 (0.999)	0.003 (0.998)	0.003 (0.998)
13	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (1.000)	0.001 (0.999)	0.001 (0.999)
14						0.001 (1.000)

c	np_0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
0	0.002 (0.002)	0.001 (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
1	0.015 (0.017)	0.006 (0.007)	0.003 (0.003)	0.001 (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
2	0.045 (0.062)	0.022 (0.029)	0.011 (0.014)	0.005 (0.006)	0.002 (0.002)	0.002 (0.002)
3	0.089 (0.151)	0.052 (0.081)	0.029 (0.043)	0.015 (0.021)	0.007 (0.009)	0.007 (0.009)
4	0.134 (0.285)	0.091 (0.172)	0.057 (0.100)	0.034 (0.055)	0.019 (0.028)	0.019 (0.028)
5	0.161 (0.446)	0.128 (0.300)	0.092 (0.192)	0.061 (0.116)	0.038 (0.066)	0.038 (0.066)
6	0.161 (0.607)	0.149 (0.449)	0.122 (0.314)	0.091 (0.207)	0.063 (0.129)	0.063 (0.129)
7	0.138 (0.745)	0.149 (0.598)	0.140 (0.454)	0.117 (0.324)	0.090 (0.219)	0.090 (0.219)
8	0.103 (0.848)	0.131 (0.729)	0.140 (0.594)	0.132 (0.456)	0.113 (0.332)	0.113 (0.332)
9	0.069 (0.917)	0.102 (0.831)	0.124 (0.718)	0.132 (0.588)	0.125 (0.457)	0.125 (0.457)
10	0.041 (0.958)	0.071 (0.902)	0.099 (0.817)	0.119 (0.707)	0.125 (0.582)	0.125 (0.582)
11	0.023 (0.981)	0.045 (0.947)	0.072 (0.889)	0.097 (0.804)	0.114 (0.696)	0.114 (0.696)
12	0.011 (0.992)	0.026 (0.973)	0.048 (0.937)	0.073 (0.877)	0.095 (0.791)	0.095 (0.791)
13	0.005 (0.997)	0.014 (0.987)	0.030 (0.967)	0.050 (0.927)	0.073 (0.864)	0.073 (0.864)
14	0.002 (0.999)	0.007 (0.994)	0.017 (0.984)	0.032 (0.959)	0.052 (0.918)	0.052 (0.918)
15	0.001 (1.000)	0.003 (0.997)	0.009 (0.993)	0.019 (0.978)	0.035 (0.951)	0.035 (0.951)
16		0.002 (0.999)	0.004 (0.997)	0.011 (0.989)	0.022 (0.973)	0.022 (0.973)
17		0.001 (1.000)	0.002 (0.999)	0.006 (0.995)	0.013 (0.986)	0.013 (0.986)
18			0.001 (1.000)	0.003 (0.998)	0.007 (0.993)	0.007 (0.993)
19				0.001 (0.999)	0.004 (0.997)	0.004 (0.997)
20					0.001 (1.000)	0.002 (0.996)
21						0.001 (1.000)

دنباله جدول توزیع بواسون

e	np_0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
0	0.000	(0.000)	0.000	(0.000)	0.000	(0.000)
1	0.000	(0.000)	0.000	(0.000)	0.000	(0.000)
2	0.001	(0.001)	0.000	(0.000)	0.000	(0.000)
3	0.004	(0.005)	0.002	(0.002)	0.001	(0.001)
4	0.010	(0.015)	0.005	(0.007)	0.003	(0.004)
5	0.022	(0.037)	0.013	(0.020)	0.007	(0.011)
6	0.041	(0.078)	0.025	(0.045)	0.015	(0.026)
7	0.065	(0.143)	0.044	(0.089)	0.028	(0.054)
8	0.089	(0.232)	0.066	(0.155)	0.046	(0.100)
9	0.109	(0.341)	0.087	(0.242)	0.066	(0.166)
10	0.119	(0.460)	0.105	(0.347)	0.086	(0.252)
11	0.119	(0.579)	0.114	(0.461)	0.101	(0.353)
12	0.109	(0.688)	0.114	(0.575)	0.110	(0.463)
13	0.093	(0.781)	0.106	(0.681)	0.110	(0.573)
14	0.073	(0.854)	0.091	(0.772)	0.102	(0.675)
15	0.053	(0.907)	0.072	(0.844)	0.088	(0.763)
16	0.037	(0.944)	0.054	(0.898)	0.072	(0.835)
17	0.024	(0.968)	0.038	(0.936)	0.055	(0.890)
18	0.015	(0.983)	0.026	(0.962)	0.040	(0.930)
19	0.008	(0.991)	0.016	(0.978)	0.027	(0.957)
20	0.005	(0.996)	0.010	(0.988)	0.018	(0.975)
21	0.002	(0.998)	0.006	(0.994)	0.011	(0.986)
22	0.001	(0.999)	0.003	(0.997)	0.006	(0.992)
23	0.001	(1.000)	0.002	(0.999)	0.004	(0.996)
24			0.001	(1.000)	0.002	(0.998)
25					0.001	(0.999)
26					0.001	(1.000)
27						
28						
29						

منابع و مأخذ

- Adam, E.E. & et.al. *Productivity and Quality: Measurement as a Basis for Improvement*. N.Y.: Prentice.Hall, 1981.
- American Production and Inventory Control Society, *Capacity Planning and Control*. Washington, D.C.: APICS 1979.
- Anderson, D.R., and et.al. *An Introduction to Management Science* Minn: West Publishing Co., 1976.
- ASQC Statistics Division, *Glossary and Tables for Statistical Quality Control*. Milwaukee, Wis: American Society for Quality Control, Inc., 1983.
- Barnes, R.M. *Motion and Time Study: Design and Measurement of work* N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1968.
- Bass, B.M. *Organizational Decision Making*. Ill.: Richard D. Irwin, Inc., 1983.
- Baumgartner, J.S. *Project Management*. Ill.: Richard D. Irwin, Inc., 1963.
- Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Calif.: Holden-Day, 1970.
- Buffa, E.S. and Miller, J.G. *Production-Inventory Systems: Planning and Control* Ill.: Richard and D. Irwin, Inc. 1979.
- Buffa, E.S. and et.al. «Allocating Facilities with CRAFT.» *Harvard Business Review* (March-April 1964).

- Cole, J.J. and Bardi, E.J. *The Management of Logistics*. Minn.: West Publishing Co., 1980.
- Conway, R.W. and et.al: *Theory of Scheduling*. Mass.: Addison-Wesley P, 1967.
- Crosby, Phillip B., *Quality Is Free*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.
- Crosby, Phillip B., *Quality Without Tears*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.
- Dantzig, G.B. *Linear Programming and Extensions*. N.J.: Princeton University Press, 1963.
- Deming, W.E. *Quality, Productivity, and Competitive Position* Cambridge, Mass.: MJT, 1983.
- Ducan, A.J. *Quality Control and Industrial Statistics*. Ill.: Richard D. Irwin, Inc., 1965.
- Ebert, R.J. «Time Horizon: Implications for Aggregate Scheduling Effectiveness.» *AIE Transactions* 4, no.4 (Dec. 1972).
- Forrester, Jay W. *Industrial Dynamics*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1961.
- Fine, S., and W.W. Wiley, *Functional Job Analysis* Sculeo. Kalamazoo, Mich: W.E. Upjohn Institute for Employment Research, 1973.
- Francis, R.L. and White, J.A. *Facility Layout and Location* N.J.: Prentice-Hall, 1974.
- Grant, E.L. *Statistical Quality Control*. N.Y.: McGraw-Hill Book Co., 1964.
- Gavett, J.W., Three Heuristic Roles for Sequencing Jobs to a Single Production Facility, "Management Science". II, 1965, p.p. B166-76.
- Hadley, G. and Whitin, T.M. *Analysis of Inventory Systems*. N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1963.
- Henley, Ernest J., and Hiromitsu Kumanmoto, *Reliability Engineering and Risk Assessment*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1981.
- Herzberg F. «Job Enrichment Admits Disparity between Promise and Reality» *Industry week*, 187, Nov.24, 1975, pp. 44-45.
- Hicks, P.E., and T.E. Cowan, CRAFT-M for layout Reafrangement *Industrial Enginaring* Vol.8, May 1976, pp. 30-35.
- Holt, C.C., and et.al. *Planning Pro'duction, Inventories and work Force*. N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1960.
- Huber, G.P. *Managerial Decision Making* Ill.: Scott, Foresman and Co., 1980.
- James, C.F., JR., «Incentives for Machine-Paced operations» *Industrial Engineering* Sept., 1975, pp. 52-55.
- Juran, Joseph M. (ed.) *Quality Control Handbook*, 3rd ed. New York: