

برنامه ریزی سیستم های تولیدی



تأثیر:

دکتر میر بهادر قلی آریا نژاد

استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

پرتوال حرصمندی صنایع ie

پرتوال حضصی مهندسی صنایع



بخش اول

مدل‌های بنیادی

۱۰ - سیستم‌های انبار و انبارداری	۳۲۳
۱ - مقدمه	۳۲۳
۲ - طراحی انبار	۳۲۹
۳ - مدل‌های انباشتی	۳۴۲
۴ - مکان‌بایی در انبارها	۳۴۴
۴.۱ - انبارش اختصاصی (ذخیره‌سازی در مکان‌های اختصاصی)	۳۴۴
۴.۲ - انبارش تصادفی (باز)	۳۵۱
۵ - گزینش سفارش	۳۵۵
۵.۱ - شکل دهن به لیست‌های گزینش اقلام	۳۵۵
۶ - خلاصه	۳۶۳
تمرین‌های فصل دهم	۳۶۴
منابع بخش دوم	۳۶۹
ضمیمه	۳۷۱

کلیات

۱ - مقدمه

هدف برنامه‌ریزی تولید ادغامی استفاده مطلوب از منابع انسانی و تجهیزات است. کلمه ادغامی بدین معنی است که برنامه‌ریزی در یک سطحی ادغام گردد که تمام محصولاتی که از منابع و تجهیزات مشترک استفاده می‌کنند به طور یکجا در نظر گرفته شوند.

به عنوان مثال، ممکن است کارخانه به جای خرد کردن تقاضای فولاد به اجزاء تیرهای فولادی آنها را به صورت نتی از فولاد در نظر بگیرد. بعلاوه ممکن است کارخانه صرف نظر از مهارت کارگران، تعداد آنها را به طور یک جا مورد توجه قرار دهد. بنابراین برای استفاده برنامه‌ریزی ادغامی لازم است که محصولات را به صورت خانوادگی در نظر بگیریم و از هر خانواده قائم مقامی به عنوان نماینده آنها معرفی کنیم. ضمناً باید تعداد کارگران مورد نیاز برای تولید یک واحد از این محصول ادغامی را به دست آورد. در اصل یک برنامه‌ای که پاسخگوی تقاضای متغیر دوره به دوره محصولات ادغامی باشد، مورد توجه است. راه حل‌های متفاوت برای برنامه‌ریزی جهت رفع این مشکل موضوع مورد بحث ما در این کتاب می‌باشد.

برنامه‌ریزی تولید ادغامی در واقع فرآیند برنامه‌ریزی و کنترل وجوده مختلف کل فعالیت‌های تولید به منظور برآوردن تقاضای مشتریان کارخانه است. با فرض داشتن پیش‌بینی تقاضا، ظرفیت ماشین‌آلات، سطح موجودی‌ها، سطح نیروی انسانی، و امکانات قراردادهای جنبی، مدیریت کارخانه باید در مورد سرعت تولید در یک دوره برنامه‌ریزی میان مدت نظری ۳ تا ۱۸ ماه تصمیم‌گیری کند. مدیریت به هیچ وجه تمام این تصمیم‌گیری را در اول دوره برنامه‌ریزی و یا به عبارت بهتر در زمان بودجه‌بندی کارخانه نمی‌نماید، بلکه در حقیقت مجبور است به طور پیوسته در مقابل تغییراتی که در تقاضا، سطح نیروی انسانی و کارآبی ماشین‌آلات و همچنین سایر عوامل غیرقابل پیش‌بینی اتفاق می‌افتد، عکس العمل نشان دهد، لذا در این برنامه‌ریزی ارایه یک راه حل قطعی و اجزایی بی‌چون و چرای آن مسلمان غیراقتصادی خواهد بود.

در بسیاری از کارخانجات این عکس العمل لزومی ندارد که آنی باشد، زیرا این کارخانجات عموماً دارای موجودی ذخیره و یا قراردادهای جبران‌کسری با پرداخت جریمه هستند و در نتیجه نوسانات احتمالی در تقاضا را جبران می‌نمایند. این تنها اقدام غیرفعالی است که یک مدیر با انتکاء به موجودی ذخیره می‌تواند انتخاب کند. سایر اقداماتی که مدیر می‌تواند اتخاذ کند به شرح زیر است که عموماً منجر به برخوردهایی جهت اجرای آن خواهد شد:

- ۱ - تعدیل سطح نیروی انسانی
- ۲ - جلب رضایت مشتری
- ۳ - بالا بردن سطح مصرف ظرفیت ماشین‌آلات



از مدل‌های ساده تحقیق در عملیات نظیر برنامه‌ریزی خطی و مدل‌های حمل و نقل در تنظیم برنامه تولید ادغامی کارخانجات با مثال‌های کاربردی استفاده کنیم و سرانجام مدل‌های پیشرفته‌تری را برای کارخانجاتی که در حال حاضر از مدل‌های کمی استفاده می‌کنند ارایه دهیم.

۲- تعریف مدیر و کارگر

مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی بسیاری از وجوده و مراکز سود دهنی کارخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تضمینات مدیر تولید ممکن است باب طبع قسمت بازاریابی و همچنین امور مالی کارخانه نباشد. از این‌رو، وظیفه اصلی تصمیم‌گیری باید بر عهده مدیر عامل کارخانه باشد که کارش در واقع هدایت امور مختلف، مناجمه بازاریابی و تولید و امور مالی است. مدیر عامل نباید درگیر مسائل جزئی باشد بلکه باید مدیر تولید را در زمینه وظایف او از جمله اجراء تعهداتی نقل و انتقال کالا و مواد اولیه کارخانه، کنترل هزینه‌های تولید در دامنه بودجه تعیین شده و همچنین نگهدارش سطح موجودی با یک رویه ثابت شده هدایت و ارشاد نماید.

در داخل محدوده فوق مدیر تولید مخبر است که به وظایف مربوط به ارایه برنامه تولید ادغامی پردازد. واضح است که تضمینات عده‌ای چون افزایش و یا کاهش ظرفیت تولیدی کارخانه مانند افزایش یک شیفت اضافی، باید با موافقت مدیر عامل باشد. لذا عبارت "مدیر" یا "تصمیم‌گیرنده" در سطح دپارتمان‌های تولیدی کارخانه به مدیر تولید اطلاق می‌گردد. تمام تضمین‌گیری‌های مربوط به برنامه تولید ادغامی که توسط این مدیر گرفته می‌شود باید با اطلاع و موافقت مدیر عامل باشد که وظیفه نهایی تأسیس فعالیت‌های مختلف کارخانجات را تحت نظرات و هدایت خود به عهده دارد. عبارت "نیروی انسانی"، "کارگر"، "تولید کننده" و به طور کلی "کارکنان" و سایر عباراتی که در رابطه با فعالیت‌های تولیدی باشد به عنوان نیروی انسانی در سرتاسر این کتاب به کار رفته است و واحد آن نیز "نفر- ساعت" است. این عبارت شامل نیروی انسانی مستقیم و همچنین سایر مستخدمین تولید می‌گردد که حتی ممکن است نیروی انسانی غیرمستقیم مورد نیاز جهت تولید کالا باشد ولی کل نیروی انسانی لازم جهت تولید هر واحد محصول به صورت مضبوطی از نیروی انسانی مستقیم و غیرمستقیم قابل توجه است.

۳- اقدامات یک مدیر

در حل مسائل برنامه‌ریزی تولید ادغامی اقدامات مدیر جهت مقابله با نوسانات تقاضا به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

۱.۳ - تغییر سطح نیروی انسانی به جای تغییر موجودی.

۲.۳ - متولّشدن به قرارداد جنبی

۳.۳ - تغییر سطح رضایت مشتری

۴.۳ - اعمال نظر در قیمت و تقسیم‌بندی کالا و خدمات به منظور تغییر در روند تقاضا

۵.۳ - تغییر تکنولوژی در سطح محدود

۶.۳ - کاربرد مدل‌های کمی

ضمناً باید توجه داشته باشیم که هر یک از اقدامات فوق به تهایی ممکن است پاسخگوی مشکل یک مدیر نباشد و برجسب طبیعت محصول کارخانه، مدیر ممکن است متولّش به ترکیبی از اقدامات فوق گردد. به عنوان

۴- پایین نگهدارشتن سطح موجودی

۵- برقراری ارتباط حسنی در قراردادهای جنبی

مدیر بر روی تعدادی از متغیرها که منجر به تعدیل سطح نیروی انسانی می‌گردد احاطه دارد. تنظیم اوقات اضافه کاری و زمان بیکاری و همچنین تنظیم زمان کار در هفته خود می‌تواند سبب تغییر در سطح تولید جهت مقابله با تغییرات در تقاضا گردد. تغییر سطح موجودی و همچنین میزان درخواست از طریق قرارداد جنبی، پرداخت جزیمه حساب شده برای کسری کالای تقاضا شده می‌تواند باعث اجتناب از تغییر در سطح نیروی انسانی گردد.

برنامه‌ریزی تولید ادغامی در واقع یک مسئله بسیار پیچیده‌ایست، زیرا خود درگیر تنظیمات عدیدهای در سطح نیروی انسانی و موجودی جهت مقابله با عدم قابلیت تقاضاهای آینده، عدم کارآیی و بهره‌وری سیستم، قانون کار و کاهش نرخ بازگشت سرمایه است. روش‌های مقداری متعددی در تأثیفات مدیریت علمی موجود است که می‌تواند برنامه ادغامی کارخانه را محاسبه کند. ولی علیرغم گسترش نکنیک حل مدل‌های کمی پیچیده و بررسی‌های اقتصادی مفید حاصل از نتایج آن‌ها، گزارش کاربرد موفق آن‌ها در عمل بسیار نادر است، و مدیران محدودی یافته شده‌اند که از این مدل‌های پیچیده کمی و راه حل کامپیوتري آن‌ها را جهت تحلیل برنامه‌های تولید ادغامی مصرف کرده باشند.

تعدادی از دلایل عدم موفقیت مدل‌های کمی پیچیده برنامه‌ریزی تولید ادغامی به شرح زیر خلاصه می‌گردد:

۱- هر چند که یک کارخانه برای ارضاء تقاضای میان مدت خود که حدوداً بین ۳ تا ۱۸ ماه است دارای برنامه باشد ولی مدیران در نظر اول غالباً خود را درگیر با ارضاء تقاضاهای کوتاه مدت می‌بینند که عموماً دانسته شده است و یا با خطای بسیار کمی قابل پیش‌بینی است و علاقمند به برنامه‌ریزی میان مدت نیستند. حتی در مواردی که حاضر می‌شوند به برنامه‌ریزی میان مدت پیش‌بینند، خود را درگیر با توسعه امکانات و بالا بردن ظرفیت ماشین‌آلات می‌بینند که موافقت مدیران سطوح بالاتر را دربر خواهد داشت که خود مشکل بزرگتری است.

۲- مدیران اعتقادی به پیش‌بینی تقاضا در میان مدت ندارند. لذا غالباً برنامه تولید ادغامی را فقط به عنوان یک راهنمای برنامه دقتی تولید کوتاه مدت می‌شناسند.

۳- مدیران معتقدند که مدل‌های کمی در مقابل عوامل انسانی ضعف دارند و روابط کارگری به قدری پیچیده و مرکب از پارامترهای کمی بیشماری است که در غالب مدل‌های کمی نمی‌گجد.

۴- به علت کمبود مفروضات و داده‌های مدل‌های کمی (خصوصاً در کشور ما) تنظیم یک برنامه تولید ادغامی توسط مدل‌های پیچیده بسیار وقت‌گیر و پرخرج است، به طوری که اغلب مدیران حتی در صورت علاقه و اعتقاد به کاربرد چنین مدل‌هایی در تنظیم برنامه تولید میان مدت کارخانه متأسفانه طول دوره مدیریت خود را ثبت شده جهت وقوع نتایج حاصل از چنین امور علمی نمی‌بینند.

هر چند که نقاط ضعف فوق در مورد کاربرد مدل‌های کمی بسیار چشمگیر است ولی چون اغلب کارخانجات کشور ما بدون برنامه علمی تنظیم شده مشغول تولید و تدارک مواد اولیه هستند و با راندمان نسبتاً پایینی کار می‌کنند، لذا محیط‌های آن‌ها آمادگی کامل جهت کاربرد مدل‌های کمی ارایه شده در این کتاب حتی مدل‌های بسیار ساده آن را دارند. خوشبختانه پس از شناخت مهندسی صنایع، کارخانجات مابه طور اعم و تدریس درس برنامه‌ریزی تولید در رشته مهندسی صنایع دانشگاه‌ها به طور اخص، کاربرد مدل‌های کمی ساده منجمله مدل‌های برنامه‌ریزی خطی بسیار رایج گردیده است. ما در این کتاب امیدواریم که از مدل‌های ساده مکافته‌ای شروع کرده و

داده شده باعث کاهش سود و در نتیجه نقصان برگشت به سرمایه خواهد شد. در دوره‌هایی که تقاضا کم است، کارخانه شدیداً مواجه با هزینه‌های مربوط به زمان بیکاری کارگران خواهد بود. کم کردن طول هفته کاری تمام کارگران برای مدیریت ایده‌آل است ولی این سیاست محدودیت زمانی دارد و برای طویل‌المدت قابل اجرا نیست.

۳.۱.۳ - استراتژی تثبیت سرعت تولید

مدیر ممکن است سطح نیروی انسانی و سرعت تولید را ثابت نگهاده و موجودی را آزاد بگذارد که دارای نوسان باشد. این روش را تثبیت سرعت تولید نامند. روش تثبیت سرعت تولید خاص کارخانجاتی است که محصولات جا افتاده در جامعه دارند و مشتری‌های آنها نیز ترتیب شناخته شده‌اند و در نتیجه مخاطره کهنه شدن کالا و تغیر مدل آن‌ها در بازار بسیار کم است. برای بسیاری از کارخانجات این روش، در دوره‌هایی که تقاضا کم است موجودی زیادی را خاشته خواهد نمود. این‌شده شدن موجودی هم منجر به داشتن امکانات نگهداری و سیعتر و همچنین راکد نگهداشتن مبالغ سیار زیادی از سرمایه است. همانطوری که از شکل ۱ استبطاط می‌گردد از دیاد موجودی باعث افزایش کل دارایی و در نتیجه کاهش نرخ برگشت سرمایه می‌شود. لذا اگر دوره کاری بازار برای محصولات این کارخانجات طولانی شود باید در روش تثبیت سرعت تولید تغییر شکل داده شود و یا از آن اجتناب گردد.

بر عکس، در دوره رونق بازار تغییرات پی در پی و مدت در موجودی و سفارشات عقب افتاده، به کارگیری این استراتژی ممکن است سبب افزایش زمان تغییر در سرعت تولید، کم شدن جلب رضایت مشتری، از دست دادن فرصت‌های فروش و همچنین آماده‌سازی جو جهت ورود رقیب جدید گردد. کم شدن فروش هر دو نیمه بالا و پایین شکل ۱ را متاثر می‌سازد. سود عملیات تولید چون به عنوان درصدی از فروش است ممکن است متاثر نشود ولی گردش دارایی حتماً برای کم شدن سود کوچک خواهد شد، زیرا مخرج کسر آن، مقدار ثابت کل دارایی است که مستقل از فروش است و در نتیجه برگشت سرمایه حتماً کاهش پیدا خواهد نمود.

۲.۳ - متولی شدن به قرارداد جنبی

در دوره‌های رونق بازار مدیر ممکن است به منظور التیام دادن به تپ حداکثر تقاضا به قرارداد جنبی متولی شود و قسمتی از کالاهای نیمه ساخته را از کارخانجات دیگر و یا از بازار آزاد بخرد و از تغییر در سطح نیروی انسانی استثنای ورزد. این استراتژی از مشکلات مدیر در زمینه تغییر سطح نیروی انسانی و همچنین موجودی می‌کاهد. ولی روش قرارداد جنبی هیچ وقت بدون هزینه‌های مازاد وابسته بخود نیست. از آنجایی که اقلام تهیه شده از طریق قرارداد جنبی گرانتر از ساخت همان اقلام در کارخانه مورد نظر است، لذا سود کمتری نصیب این کارخانه خواهد شد، مگر اینکه از فرصت رونق بازار استفاده کرده و بر قیمت کالای خود بیفزاید. مدیران غالباً کنترل کمتری بر کیفیت کالاهای تهیه شده از این روش و زمان تحويل آن دارند. به همین دلایل، مدیران سعی بر آن دارند که از روش قرارداد جنبی بطری ممتد استفاده نکنند و بحسب مورد و به حکم ضرورت بدان متولی شوند. وقتی هم به حکم اجبار باید از این روش استفاده کنند، آن‌هایی را انتخاب خواهند نمود که مورد اعتمادشان باشند و از قبل نشان داده باشند که کارشان دقیق و راغب به انجام کار درست از طریق قرارداد جنبی هستند.

مثال کارخانجاتی را در نظر بگیرید که محصولات عده به صورت سفارشی تولید می‌کنند و برای محصولات این کارخانجات مشتری‌ها در لیست انتظار باشند. مسلم است که این کارخانجات موجودی عده ندارند و در نتیجه اقدام کاهش موجودی جهت ارضاء افزایش تقاضاها برای مدیر میسر نخواهد بود. اگر هم مدیران، مشتریان جدید را بیش از حد در لیست انتظار نگهادند ممکن است بازار رقابت باعث کاهش مشتری در آتیه گردد. لذا در چنین موقعیتی مدیران مجبور خواهند شد که ظرفیت تولیدی خود را با افزایش نیروی انسانی، تغییر تکنولوژی در سطح معقول و حساب شده و یا تنظیم قرارداد جنبی در زمان افزایش بیش از حد تقاضا فزونی بخشنند.

حال به توضیح هر یک از اقدامات فوق می‌پردازیم:

۱.۳ - تغییر سطح نیروی انسانی به جای تغییر در موجودی

در مقابل با تغییر سطح سفارشات در طول دوره برنامه‌ریزی، مدیر سه استراتژی خاص زیر را در رابطه با تغییر متابع انسانی در مقابل سفارشات عقب افتاده و یا تغییر متابع انسانی در رابطه با تغییر موجودی به شرح زیر در اختیار دارد:

۱.۱.۳ - استراتژی ارضاء تقاضا

مدیر ممکن است سرعت تولید را با استخدام و اخراج نیروی انسانی جهت برآوردن تقاضا در هر دوره تنظیم کند. این روش "استراتژی ارضاء تقاضا" نام دارد که در آن سعی بر داشتن حداقل سطح موجودی است. اگرچه این سیاست عموماً به خاطر اثر منفی بر روزی کارگران عادی سیاست خوبی به حساب نمی‌آید ولی برای کارخانجاتی که به کارگران فصلی دسترسی دارند در زمان حداقل تقاضا روش معقولی است. در بسیاری از اوقات، گسترش نیروی انسانی متضمن هزینه آموزش و پایین آوردن متوسط بهره‌وری به طور موقت است. بعلاوه تقلیل در سطح نیروی انسانی باعث تضعیف روحیه کارگران باقیمانده می‌گردد. بهره‌وری این کارگران از ترس دچار شدن به سرنوشت کارگران اخراجی روز به روز کاهش پیدا می‌کند، مضافاً بر اینکه ممکن است باعث کاهش بهره‌وری با مدیریت نیز بشود. لذا این عمل باعث افزایش هزینه نیروی انسانی و در نتیجه کاهش سود کلی کارخانه می‌شود. تا برای این کوشش در تطبیق تقاضا با نیروی انسانی و مینیمم کردن موجودی باعث کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه استخدام و اخراج می‌گردد.

۲.۱.۳ - تثبیت نیروی انسانی، تغییر اوقات کار

مدیر ممکن است سطح نیروی انسانی را ثابت نگهاده و با کم کردن ساعت کار و یا از طریق اضافه کاری سرعت تولید را آن چنان تغییر دهد که از عهده تقاضاها برآید. نوسانات تقاضا را با کار کردن اضافه کاری در دوره‌هایی که تقاضا حداقل است و همچنین کم کردن ساعت کار و تعطیلی کارخانه در بعضی از روزها برای دوره‌هایی که تقاضا کم است، می‌توان تعدیل کرد. از تغییر نیروی انسانی زود به زود باید اجتناب شود. این استراتژی ممکن است بهتر از تغییرات پیوسته در سطح نیروی انسانی باشد که باعث تضعیف روحیه کارگران و کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌هایی بی مورد بر اثر برخوردهای کارگری است ولی همواره چنین سیاستی میسر نیست. به عنوان مثال می‌توان گفت که اگر طول دوره اضافه کاری طولانی گردد بهره‌وری کاهش پیدا نموده و در نتیجه برگشت بازده سرمایه تنزل پیدا خواهد نمود. این اثر را به راحتی در شکل ۱ می‌توانید دریابید. افزایش هزینه کارگری برای یک مقدار محصول

۳.۳ - تغییر سطح رضایت مشتری

عبارت "جلب رضایت مشتری" هم به امکانات فعلی کارخانه در رابطه با اجراء تعهدات خود و هم به برآورده نمودن به موقع تقاضای مشتریان در آینده ارتباط پیدا می‌کند. وقتی که کارخانه در حد ماکریزم ظرفیت و یا نزدیک به آن در حال کار است، هرگونه افزایش تقاضا منجر به ازدیاد سفارشات عقب افتاده و یا کاهش موجودی کالای ساخته شده و یا از دست دادن فرصت فروش خواهد شد.

مدیر یا باید با تغییر سطح سفارشات عقب افتاده (موجودی کالای ساخته شده)، افزایش و یا کاهش تقاضا را جبران کند و یا این که ظرفیت تولیدی کارخانه را بالا ببرد. با افزایش سفارش مشتریان، مدیر باید در دو زمینه زیر جرح و تعديل وجود آورد. هزینه افزایش ظرفیت تولید کارخانه و یا امکان کاهش مشتری به علت عدم جلب رضایت مشتری.

افزایش ظرفیت سبب ازدیاد دارایی ثابت می‌شود. لذا برای ثابت ماندن برگشت سرمایه لازم خواهد بود که فروش افزایش پیدا کند. لذا مقدار افزایش فروش نسبت به افزایش دارایی در این اقدام باید کاملاً حساب شده و دقیقاً پیش‌بینی شده باشد.

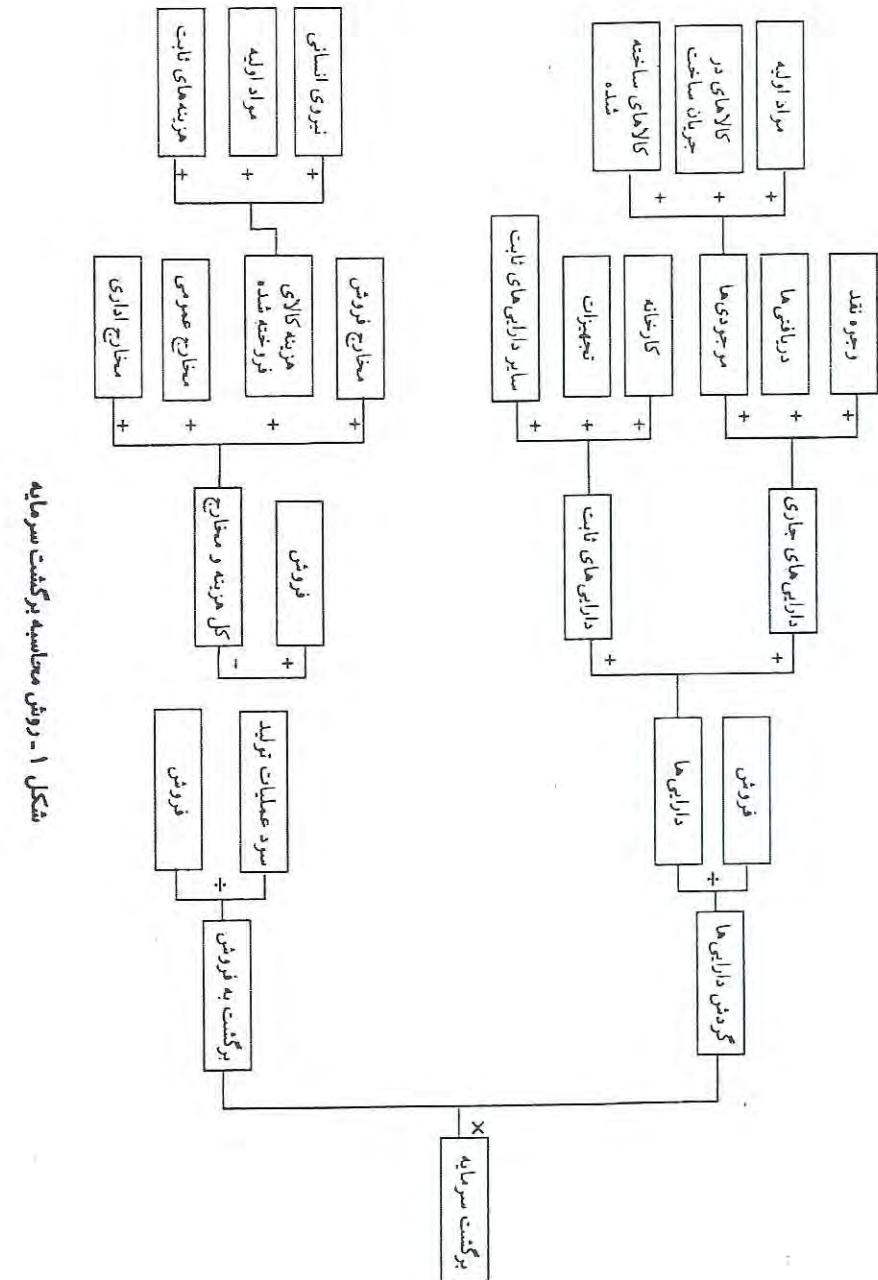
با فرض کم شدن سرعت سفارش، مدیر باید هزینه بیکار کردن عده‌ای از کارکنان را با هزینه ازدیاد موجودی کارخانه مقایسه کند. به عبارت دیگر، چون با کم شدن سرعت سفارش، فروش کم می‌شود و فروش هم در هر دو نیمه شکل ۱ موثر است لذا مدیر باید هم به فکر کاهش گردش دارایی در نیمه بالا و هم افزایش سود عملیاتی با کم کردن هزینه کارگری باشد.

۴.۳ - اعمال نظر در قیمت و تقسیم‌بندی کالا و خدمات به منظور تغییر در روند تقاضا

چون نوسان تقاضا دلیل اصلی تغییر در نیروی انسانی است، لذا یک راه حل اصولی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی اعمال نظر در تقاضا است. شرکت‌های تلفن و شرکت‌های هواپیمایی، سازمان‌های شناخته شده‌ای هستند که با تقسیم‌بندی خدمات خود با نرخ‌های متفاوت برای روز و شب و همچنین ایام هفته و آخر هفته توансه‌اند تقاضاهای خود را خوب تقسیم نمایند. در صنعت، روند تقاضا معمولاً به راحتی قابل پیش‌بینی نیست و تصمیم‌گیران در سطح کارخانه نیز دارای قدرت تعیین قیمت نیستند. هر چند که افزایش قیمت کالا باعث کم شدن سفارشات عقب افتاده و کاهش در قیمت کالا نیز سبب حراج موجودی اضافی کارخانه می‌شود، ولی استفاده از این استراتژی در صنعت کمتر اتفاق می‌افتد.

۵ - تغییر تکنولوژی در سطح محدود

مسئله افزایش ظرفیت و تغییر تکنولوژی به طور عمد خارج از اختیارات یک مدیر تولید آن هم برای یک دوره برنامه‌ریزی میان مدت است. منظور از عنوان تغییر تکنولوژی این است که مدیر ضمن استفاده بهینه از امکانات موجود باید در نظر داشته باشد که در دنیای صنعت چه می‌گذرد و چه امکانات و تجهیزات جدیدی به بازار عرضه شده است. خصوصاً در دوره‌هایی که کارخانه با رونق بازار مواجه می‌شود و در نتیجه در حد ماکریزم ظرفیت در حال کار است، اقدام دیگر مدیر جهت جلب رضایت مشتریان آتی این خواهد بود که به فکر خرید تجهیزات تولیدی



هزینه‌ها

قبل از اینکه یک برنامه تولید ادغامی ریخته شود، هزینه‌های مربوط به تولید باید محاسبه گردد. این هزینه‌ها عموماً عبارتند از:

- ۱ - هزینه نگهداری کالا از یک دوره به دوره دیگر
- ۲ - هزینه تغییر سرعت تولید که شامل هزینه‌های استخدام، اخراج نیروی انسانی و همچنین هزینه‌های اضافه کاری می‌شود.

۳ - و بالاخره هزینه‌های قرارداد جنبی در صورت وجود.

بیشتر اوقات این هزینه‌ها به طور دقیق و نقطعه‌ای قابل محاسبه نبوده بلکه باید تخمین زده شوند. ابتدا هزینه نگهداری را مورد توجه قرار دهید. سهم عده این هزینه مربوط به سرمایه راکدی است که معادل قیمت این موجودی است. باید یک نفر برگشت برای این سرمایه در نظر گرفته شود که اگر پول آن صرف کار تولیدی دیگری می‌شود و جهت برگشتی داشت. سهم عده دیگر هزینه نگهداری مربوط به هزینه تملک است. این هزینه شامل مالیات، بیمه، کهنه و از مد افتاده (در صورت مصدق)، فاسد شدن، دستبردهای جزئی، ثبت اسناد و مدارک و نیز هزینه‌های نیروی انسانی آن است. نوع دیگری از هزینه نگهداری مربوط به هزینه امکانات و تجهیزات نگهداری کالا است. این بخش از هزینه ممکن است خود شامل مالیات داری، بیمه، استهلاک، اجاره، تعمیر و نگهداری و هزینه‌های پرسنلی باشد.

هزینه‌های استخدام یک کارگر جدید نیز ممکن است به شرح زیر باشد:

- هزینه معاینات پژوهشی، عکسبرداری و آزمایشگاه
- هزینه‌های آشنازی با محیط کار (معادل نصف روز)
- هزینه‌های تهیه وسائل ایمنی کارگر جدید.
- هزینه غیر بهره‌ور بودن دوره آموزش (۲ تا ۴ روز)
- هزینه غیر بهره‌ور بودن تعلیم دهندگان
- هزینه انجام امور اداری

هزینه‌های اخراج مانند هزینه‌های فوق پیچیده نیست. این هزینه شامل هزینه بازخرید کارگران و همچنین اثرات روانی آن بر روی کارگران اخراجی است که در روزهای آخر اخراج دل به کار نمی‌دهند و غیربهره‌ور کار می‌کنند. همچنین اثر روانی آن بر روی سایر کارگران که می‌ترسند به سرنوشت کارگران اخراجی دچار گردد.

این هزینه‌ها با برنامه‌های تولید آلتراتیو تغییر می‌کنند و به عنوان هزینه‌های مازاد تلقی می‌گردد. هزینه‌های مربوط به تولید که با برنامه‌های تولیدی آلتراتیو تغییر نمی‌کنند مربوط به تصمیم‌گیری در نیروی انسانی نیستند. مدیران غالباً این هزینه‌های مازاد را برای تغییر سطح فعالیت‌ها از سطح فعلی شان تخمين می‌زنند و در نتیجه همان طوری که در مقدمه این فصل در رابطه با تقاضه ضعف مدل‌های کمی سخن گفته‌یم خوشبختانه حل یک مدل کمی برنامه‌ریزی تولید ادغامی و حی منزل نیست بلکه فقط به عنوان یک راه حل آغازی برای مسائل مدیریت تلقی می‌شود و در نتیجه تلفیق این حل با سیاست‌های مدیریت و همچنین تجربه و ابتکار عمل مدیر منجر به تصمیم نهایی خواهد شد.

پیشرفت‌هایی باشد که بدون نیاز به تغییرات شدید در نیروی انسانی تغییرات زیادی را در تولید باعث گردد. از محسن باز این اقدام این است که کارخانه هیچ وقت فرسوده و قدیمی باقی نبوده بلکه به صورت گام به گام، مدرن و پیشرفت‌های خواهد شد.

۶.۳ - کاربرد مدل‌های کمی

اگر هر یک از اقدامات مشروطه فوق به تهابی پاسخگوی مشکل یک مدیر باشد، به علت محدود بودن عوامل و پارامترها و اثر متقابل بین آن‌ها مدیر می‌تواند به راحتی از آن‌ها استفاده کند. در فصل دوم کتاب موارد استفاده این روش‌ها را برای مسائل واقعی تحت عنوان «کاربرد مدل‌های مکافش‌هایی» مطرح خواهیم کرد. ولی اگر عوامل و پارامترها به قدری زیاد باشند که حساب‌های سرانگشتی پاسخگوی مشکل مدیر نباشد، در آن صورت مدیر مجبور خواهد بود که از مدل‌های کمی برای حل مسائل به طور همزمان استفاده کند.

مدل‌های کمی قابل استفاده در عملیات خود به عنوان کاربرد مدل‌های تحقیق در عملیات در حل مسائل مدیریت تولید هستند. تحقیق در عملیات خود به عنوان کاربرد روش‌های علمی در حل مسائل تصمیم‌گیری تعریف می‌گردد. عصاره تحقیق در عملیات نیز عبارت از کاربرد مدل‌های ریاضی در توضیح و تشریح مسئله، سپس حل و تجزیه و تحلیل مدل جهت تعیین تصمیم یا روایه بینه می‌باشد.

مدل‌های کمی برنامه‌ریزی تولید ادغامی غالباً مدل‌های بینه‌سازی هستند که در آن هدف بیشینه کردن سود عملیات تولیدی و یا کمینه کردن هزینه‌های استخدام، اخراج، تولید و نگهداری و یا کسری کالا و همچنین تهیه کالا به صورت قرارداد جنبی است به طوری که محدودیت‌هایی از قبیل بودجه، برآورده نمودن به موقع تقاضا، ظرفیت ماشین‌آلات و نیروی انسانی و آموزش و غیره برآورده گردد.

مدل‌بندی ریاضی اجازه خواهد داد که مشکلات و مجهولات مربوط به مسئله تصمیم‌گیری در غالب یک چارچوب ریاضی منطقی ریخته شود به طوری که این مدل قابل حل بوده و بعلاوه هر تغییر در آن قابل اعمال باشد. این قدرت عمل ممکن است به مدیر اجازه دهد که مسئله خود را به صورتی مؤثرتر و کارآثر حل کند. روش‌های حل مسائل مدیریت از طریق مدل‌های کمی نه تنها راه حل بینه را برای وضعیت فعلی به مدیران نشان خواهد داد بلکه به آنان کمک خواهد نمود که به سؤالاتی از قبیل «چه خواهد شد اگر...» نیز پاسخ‌گویند و حال آنکه پاسخ این گونه سوالات از طریق تجربی و عملی ممکن است. هزینه‌زا در بسیاری از موارد نیز غیرممکن باشد.

همان طوری که در مقدمه این فصل در رابطه با تقاضه ضعف مدل‌های کمی سخن گفته‌یم خوشبختانه حل یک مدل کمی برنامه‌ریزی تولید ادغامی و حی منزل نیست بلکه فقط به عنوان یک راه حل آغازی برای مسائل مدیریت تلقی می‌شود و در نتیجه تلفیق این حل با سیاست‌های مدیریت و همچنین تجربه و ابتکار عمل مدیر منجر به تصمیم نهایی خواهد شد.

مطالب فصول ۳ و ۴ و ۵ این کتاب در رابطه با کاربرد مدل‌های کمی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی است که از ساده‌ترین مدل‌ها، یعنی برنامه‌ریزی خطی شروع شده و در نهایت به مدل‌های پیشرفته چون برنامه‌ریزی سلسه مراتبی ختم می‌شود.

پرتابل حضور مهندسی صنایع

کاربرد مدل‌های مکاشفه‌ای

۱ - مقدمه

در فصل قبل با مسائل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در حالت کلی آشنا شدیم و در آنجا در یافته‌یم که مدیر برای ارایه یک برنامه تولیدی میان مدت ۳ تا ۱۸ ماهه با چند مشکلات عدیده‌ای مواجه است. برای یک تقاضای پیش‌بینی شده و ظرفیت ماشین‌آلات داده شده، مدیریت باید بتواند سطح نیروی انسانی و موجودی و میزان قرارداد جنبی هر دوره را مشخص سازد. حال اگر بهره‌گیری بهینه از امکانات فعلی کارخانه جهت برطرف نمودن تقاضای پیش‌بینی شده مدّ نظر نباشد، مدیریت می‌تواند از یک روش اقتصادی سرانگشتی جهت حل مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی خود استفاده کند. ما نیز در این فصل می‌خواهیم چندین روش مکاشفه‌ای (راه حل منطقی غیر بهینه) را برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی در حالت کلی و نیز کاربرد آن‌ها را در دو کارخانه مختلف عرضه داریم. ولی قبل از شروع بررسی این موارد خاص ترجیح می‌دهیم که با تعاریف کلی زیر که در حقیقت پایه و اساس درک مفاهیم برنامه‌ریزی تولید ادغامی را تشکیل می‌دهد، آشنا شویم.

۲ - تعاریف نوع تولید

أنواع خطوط توليد را می‌توان در چهار دسته عمده زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- فرآیند تولید پیوسته: نمونه این دسته تولید صنایعی هستند که محصول را به طور پیوسته تولید می‌کنند. ماشین‌های طوری طراحی شده‌اند که فقط یک یا تعداد قلیلی محصول مشابه تولید می‌کنند و تغیر خط تولید هم بسیار گران بوده و به ندرت صورت می‌پذیرد. صنایعی که دارای تولید پیوسته هستند عبارتند از: کاغذسازی، سیمان، ورقه‌های فولادی و الومینیومی و صنایع شیمیایی.

۲- تولید انبوه قطعات متفکه: ^(۱) تولید عظیمی که در طول یک دوره طولانی انجام پذیرد به نام تولید انبوه معروف است. یک سری از ماشین‌آلات‌های مخصوص به نام خطوط انتقال، به تولید انبوه اختصاص داده شده‌اند که قابلیت انعطاف پسیار کمی دارند. نمونه‌های بازی این گروه، کارخانه‌های اتومبیل‌سازی و پیچال‌سازی است.

۳- تولید دسته‌ای: ^(۲) در این روش ادوات تولید غالباً برای تولید محصولات مختلف ساخته شده‌اند، ولی ماشین باید برای تولید هر محصول جدید تنظیم و آماده گردد. هزینه تغییر ماشین و آماده‌سازی آن در مقابل هزینه نگهداری، قابل ملاحظه است و در نتیجه تعادل (بالانس) این دو هزینه خود احتیاج به تکنیک‌های خاصی دارد که در این کتاب عرضه خواهیم داشت.

۴ - نمایش برنامه‌ریزی تولید ادغامی

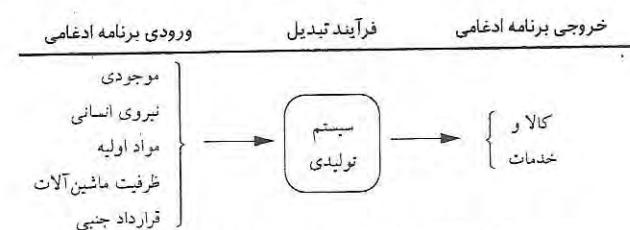
مشکل ترین مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی تشکیل چارچوب تحلیلی آلتراپیوهای برنامه ادغامی است. مدیریت به طور اعم و مدیریت تولید به طور اخص، برآنند که از امکانات فعلی کارخانه جهت برطرف نمودن تقاضاهای پیش‌بینی شده حداقل استفاده را ننمایند. به همین منظور مدیریت ممکن است یک روش اقتصادی جهت ارایه آلتراپیوهای تولید و نگهداری برحسب امکانات تولید با توجه به هزینه‌ها انتخاب کند.

شکل ۲ نمایشگر یک سیستم عملیاتی است که مواد اولیه، نیروی انسانی و سایر منابع موجود در یک سازمان را به منظور اخذ کالا یا خدمات بخصوصی با یکدیگر بطور توأمًا بکار می‌گیرد. یک واحد از فعالیت که بین تمام کالا را خدمات مشترک است و از سیستم جریان می‌باشد باید به عنوان پایه انتخاب، به منابع مولد اختصاص داده شود. این واحد ممکن است معیار فیزیکی اندازه‌گیری کالا و یا خدمات (مانند کیلوگرم، لیتر یا قطعه) باشد و یا ورودی مولد (مانند ماشین - ساعت، نفر - ساعت و یا معادل آن و نیز مواد خام) باشد.

برازندگی برنامه تولید و موجودی می‌تواند از نقطه نظرهای زیر مورد نظر باشد (الف): قدرت تدارک کالا و خدمات خواسته شده (ب): حد پیشنهاد کردن سود یا کمینه کردن هزینه‌ها و در نتیجه اثرات آن‌ها بر روی ترازنامه. بیشتر اوقات این دو معیار موقفيت، مدیر را از دو جنبه مختلف تحت فشار قرار می‌دهند. به عنوان مثال داشتن موجودی، کارخانه را از نظر نیروی انسانی در وضعیت تعادلی قرار می‌دهد به طوری که از ظرفیت‌ها به طور منطقی استفاده می‌کنند و نیز سرویس قابل قبول نیز به مشتریان کارخانه می‌دهند. ولی این جلب رضایت مشتری مسئله خواباندن بسیاری از سرمایه کارخانه به صورت موجودی است، از این‌روه مدیریت مجبور است که یک تعادلی بین میزان قابل دسترس بودن موجودی و نیز هزینه نگهداری آن در طول دوره برنامه‌ریزی بوجود آورد.

سطح نیروی انسانی نیز باید طرح ریزی و کنترل گردد و براساس سطح فعالیت و هزینه‌های انتظاری، سطح نیروی انسانی در طول دوره برنامه‌ریزی پیش‌بینی می‌گردد. آن سطح نیروی انسانی، ابتدا انتخاب شده و آموزش داده می‌شود که کالا و سرویس خوبی ارایه داده شود. اگر مدیر سطح تقاضا را در آینده تشخص نداده باشد چگونه خواهد دانست که چه تعدادی از کارگران باید بیکار شوند و یا این که باید طول هفتنه کاری کوتاه‌تر گردد؟ گرچه هم از نظر روانی و هم از نظر بهره‌وری و هم از نظر قانون کار همه خوشحال خواهند بود که کارخانه دارای یک بیان است پایدار نیروی انسانی و استخدامی باشد، ولی هیچ کارخانه‌ای تغواصد توانست که یک دوره طولانی بیکاری کارگران را بر اثر کمبود تقاضا تحمل کند.

ما امیدواریم که در فصول بعدی این کتاب نحوه مقابله با مشکلات فوق را به صورت تئوری و عملی روشن سازیم.



شکل ۲- نمایش یک سیستم تولید ادغامی

گرفته شوند. بعلاوه هر امکان تولیدی هم افراد مختلفی را که غالباً غیرقابل جابجایی هستند می‌طلبند، لذا مهارت‌های مشترک باید به عنوان کل نیروی انسانی در یکدیگر ادغام گردد.

برنامه ادغامی: برنامه تعیین کننده سطح نیروی انسانی و سطح تولید در تجهیزات تولیدی ادغام شده است. این برنامه معمولاً در طول دوره‌های آینده به طور دوره‌ای مشخص می‌شود. هدف این برنامه حداقل کردن کل هزینه تأمین تقاضای کالا و خدمات است. این برنامه اقلام هزینه مختلفی را که ذیلاً مورد بحث قرار خواهد گرفت در نظر می‌گیرد.

تجزیه: فعالیت تبدیل سطح تولید طرح ریزی شده به اجزاء مشتمل آن است. به عنوان مثال اگر برنامه ادغامی تعیین نماید که ۵۰۰ عدد از محصول ادغامی باید تولید شود، برنامه تجزیه ممکن است مشخص سازد که ۱۰۰ عدد از محصول A، ۲۵۰ عدد محصول B و ۱۵۰ عدد از محصول C باید تولید شود.

برنامه زمان‌بندی اصلی: برنامه حاصل از تجزیه برنامه تولید ادغامی است. این برنامه لیست مدل‌ها و تعداد آن‌ها را که باید در دورهٔ بعد تولید شود، معلوم می‌سازد.

هزینه نیروی انسانی: هزینه متوسط استخدام یک کارگر تولیدی یک دوره در وقت عادی است. این هزینه باید شامل تمام مزدها، سودها و سایر اقلامی باشد که مستقیماً با تعداد کارگران تولیدی تغییر می‌کند. کارگران تولیدی آن دسته از افرادی هستند که استخدام آنها با سطح تولید نرم، بالا و پایین آن تغییر می‌کند. بنابراین افراد پشتیبانی تولید مثل الکتروسین که مشخصاً با سطح تولید تغییر نمی‌کنند باید در هزینه نیروی انسانی به حساب آید.

هزینه تولید: اجزاء غیر نیروی کاری وابسته به هر واحد محصول ادغامی است. این هزینه شامل هزینه مواد اولیه، انبارداری محصول نیمه ساخته، فاسد شدن و از دست رفتن می‌شود. این هزینه از انتظاری تغییر در هزینه کل است. اگر با فرض ثابت بودن تمام عوامل یک عدد محصول کمتر و یا بیشتر تولید کنیم در بعضی از مدل‌های برنامه‌ریزی ادغامی هزینه نیروی انسانی هم در این هزینه مستقر است که در آن صورت مقایسه هزینه اوقات عملی و اوقات اضافه کاری به راحتی قابل مقایسه خواهد بود.

هزینه نگهداری: از دست دادن فرست از این قیمت کالای اینبار شده بعلاوه هزینه فضایی که کالای ساخته شده در آن اینبار می‌شود. گاهی اوقات هزینه بیمه، از مد افتادن هم در این هزینه به حساب می‌آورند.

هزینه استخدام: هزینه انتظاری افزایش سطح نیروی انسانی به تعداد یک نفر است. این هزینه شامل هزینه امور اداری، آموزش، عدم کارایی در روزهای اولیه بعد از آموزش می‌شود.

هزینه اخراج: هزینه انتظاری کاهش سطح نیروی انسانی به تعداد یک نفر است. این هزینه شامل هزینه امور اداری، هزینه بازخرید، حتی اثر بد بر روی روحیه سایر کارگران می‌شود.

هزینه کسری: زیان انتظاری حاصل از عدم تأمین تقاضا است. اگر مشتری صرفاً تا زمان تحویل کالا صبر کند، این هزینه ممکن است ناچیز باشد، ولی اگر مشتری به جای دیگر برود این هزینه زیاد خواهد بود. زیان حاصل از عدم رضایت مشتری و تأثیر آن در فروش آینده هم باید در نظر گرفته شود.

هزینه اضافه کاری: هزینه تولید یک واحد محصول در وقت اضافی است. هزینه نیروی انسانی فرق می‌کند ولی هزینه مواد تغییری نخواهد داشت. همانند هزینه تولید، این رقم گاهی اوقات ممکن است شامل هزینه نیروی انسانی و مواد (یا بسیاری اوقات فقط هزینه نیروی انسانی) باشد.

۴- تولید کارگاهی: (۱) یک کارگاه تولیدی دارای ماشین ابزارهای متعددی است که در آن محصولات متنوعی (اغلب صدها و حتی هزارها) به طرق مختلف جهت کار بر روی یک ماشین و یا بیشتر به توالی درآمدۀ‌اند. تعداد محصولات معمولاً کم هستند. کارگاه ماشین ابزار و نمونه کارهایی که به عنوان الگو ساخته می‌شوند خود نمونه‌ای از محصولات متعددی است که به صورت کارگاهی تولید می‌گردد.

۳- فرهنگ لغات برنامه‌ریزی تولید ادغامی

برای درک و به کارگیری تکنیک‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی، خواننده باید ابتدا با فرهنگ لغات مورد استفاده در برنامه‌ریزی ادغامی آشنا شود. در این قسمت جملاتی تعریف می‌شود و به خواننده اخطار می‌شود که تمام این جملات را به طور کامل بفهمد. ممکن است یک فرد قسمت‌های بعدی را بخواند و مکانیک روش‌ها را دریابد ولی کل مفاهیم را در نیابد، درک مفاهیم مهمتر از مکانیک روش‌ها است. یک فرد باید قادر باشد علاوه بر دریافت مطالب، نحوه کاربرد روش‌ها را نیز تعبیر کند. درک فرایند برنامه‌ریزی تولید ادغامی و فرهنگ لغات آن قلب این آموزش را تشکیل می‌دهد.

دوره برنامه‌ریزی تولید: بخشی از زمان است که سازمان می‌خواهد برنامه تولیدی، شامل آن شود. این مدت ممکن است یک ماه، یا یک هفته یا هر بخشی از زمان باشد. طول این فاصله زمانی بستگی به قدرت پیش‌بینی دقیق بازار و سرعانی که سازمان می‌تواند طی آن خود را برای انطباق با تغییرات بازار آماده کند. اگر پیش‌بینی دقیق تقاضا در کوتاه مدت مشکل باشد، مدت طولانی تر توصیه می‌شود. بعلاوه، متناسب با افزایش مدت انجام یک فرایند تولید خاص، دوره تولید نیز باید طولانی تر بشود. معمولاً، سازمانی که از برنامه‌ریزی ادغامی استفاده می‌کند دارای حسابداری و یا سایر فعالیت‌های داخلی است که خود در حال حاضر دوره برنامه‌ریزی را ثبت کرده است.

افق برنامه‌ریزی تولید: تعداد دوره‌های آینده که باید در برنامه‌ریزی مورد توجه قرار گیرند. با توجه به بازار، افق برنامه‌ریزی نمی‌تواند از تعداد دوره‌هایی که برای تقاضای آن بتوان پیش‌بینی منطقی به دست آورده طولانی تر باشد. در مواردی که پیش‌بینی زمانی دور در آینده به راحتی و به دقت می‌سر است، افق برنامه‌ریزی باید زمانی را در آینده که از نظر اقتصادی بیشتر به صرفه است شامل گردد.

واحد محصول ادغامی: به واحد تولیدی که توسط برنامه، در دوره برنامه‌ریزی آینده مورد نظر است. اطلاق می‌گردد. این واحد ممکن است لیتر، متر مربع، تن، و یا تعداد محصول باشد. بیشتر سازمان‌ها مدل‌های مختلفی از یک محصول تولید می‌کنند. به عنوان مثال کارخانه تولید کننده کفشن ممکن است کفشن‌های متنوعی تولید کند. در اینجا پیش‌بینی تقاضا باید براساس مدل کفشن و یا گروهی از کفشن‌ها باشد که بازار مشابه دارند. این محصولات متنوع و تقاضای پیش‌بینی شده آن‌ها باید در قالب یک نماینده محصول از آن‌ها ادغام شود. بعلاوه تبدیل زمان استاندارد تولید هر محصول به زمان استاندارد محصول ادغامی و یا محصول نماینده هم باید صورت پذیرد.

تجهیزات تولید ادغامی: تجهیزاتی که تحت پوشش یک برنامه تولید ادغامی قرار می‌گیرند. بسیاری از کارخانجات در یک مکان بیشتر از یک فعالیت تولیدی دارند. هر یک از این فعالیت‌های مستقل می‌توانند بطور مجزا در نظر

۳ روز در ماه می‌توانند اضافه کاری داشته باشند و از قرارداد جنبی در صورتی می‌توانند استفاده کنند که تقاضا را از طریق کار در اوقات معمولی و اضافه کاری توانند برآورده سازند.

سایر اطلاعات این کارخانه به شرح زیر است:

- ۱ - هزینه‌های نیروی انسانی، مواد اولیه و هزینه ثابت سرشکن شده برای هر نفر - ساعت ۳۰ واحد پول قراردادی^(۱) است. نیروی انسانی مستقیم و مواد اولیه ۲۰ درصد این هزینه را تشکیل می‌دهد.
- ۲ - هزینه نگهداری برای یکسال ۱۸ درصد قیمت موجودی نگهداری شده است.
- ۳ - حداقل ظرفیت ساعتی اوقات معمولی ماشین آلات ۳۷۸۰ نفر - ساعت در روز است که معادل کارکرد حداقل ۵۴۰ کارگر با ۷ ساعت کار در روز است.
- ۴ - در حال حاضر کارخانه ۴۳۵ کارگر دارد.
- ۵ - هزینه استخدام هر کارگر ۵۰۰ واحد پول قراردادی است که شامل هزینه غیربهره‌ور بودن شروع بکار کارگر نیز هست، هزینه اخراج هر کارگر ۴۰۰ واحد پول قراردادی است.
- ۶ - هزینه اضافی ساعتی اضافه کاری ۵۰ درصد هزینه نیروی انسانی و مواد اولیه است و هزینه مازاد قرارداد جنبی ۴ واحد پول قراردادی برای هر نفر - ساعت است.
- ۷ - موجودی فعلی در سطح ماکریم تعیین شده در بودجه است.
- ۸ - جریمه کسری هر واحد کالا ۱/۵ واحد پول قراردادی در هر دوره است.

ابتدا در این فصل می‌خواهیم این مسئله را با چند روش مکاشفه‌ای (ابتکاری) به شرح زیر حل کنیم:

روش اول - روش تثبیت سرعت تولید

تفصیل

به منظور به دست آوردن سطح نیروی انسانی مورد نیاز هر یک از دوره‌های باقیمانده که کل تقاضا در سال را تولید نمایند، کل نفر - ساعت مورد نیاز را بر حاصلضرب کل تعداد روزهای کاری در تعداد ساعت کار هر کارگر روز تقسیم می‌کنیم:

$$\text{کارگر} = \frac{۸۰۱۰۰۰ \text{ (نفر - ساعت)}}{(روز / ساعت ۷) \text{ (روز کاری)}}$$

تعداد کارگران در حال حاضر ۴۳۵ نفر است، پس در ماه اول ۴۴ کارگر اضافی مورد نیاز خواهد بود. از آنجایی که هر ماه فقط ۳۰ نفر کارگر می‌توانیم استخدام کنیم، پس ۳ نفر کارگر در مهرماه اضافه شده یعنی ۴۶۵ کارگر در مهرماه خواهیم داشت.

۱. واحد پول قراردادی - برای اینکه تورم پولی مسئله را از تازگی نپندازد، اجازه بدید واحدهای به نام واحد پول قراردادی مصطلح کنیم که با ضرب کردن یک عدد قراردادی در این اعداد مقادیر پولی به مقدار قابل قبول در روز تبدیل گردد.

هزینه کم کاری: هزینه مربوط به پرداخت نیروی انسانی و تجهیزات در زمان کارکرد سیستم تولیدی زیر ۱۰۰ درصد ظرفیت کارکنان آن است.

هزینه قرارداد جنبی: هزینه تهیه هر واحد محصول است، اگر تولید آن در خارج از کارخانه صورت پذیرد. این هزینه باید شامل هزینه اختلاف در کیفیت محصول و اعتماد به آن و همچنین به انجام رسایین و کنترل قرارداد جنبی هم بشود.

۴ - بررسی مورد خاص اول (کارخانه پارچه بافی)

یک کارخانه پارچه بافی دچار مشکل ارایه برنامه تولید ادغامی شده است. برنامه تولیدی این دوره مهمتر از گذشته است، زیرا محصولاتی نظری محصولات این کارخانه نیز به بازار عرضه شده است و این کارخانه به علت قیمت بالای آن مشتریانش کم شده‌اند. در گذشته این کارخانه موجودی به صورت فصلی نگهداری می‌کرد و در نتیجه کارگران با تجربه دارای وضعیت پایداری بودند و از نظر قانون کار هم دچار مشکل نبود. امور مالی این کارخانه اعلام کرده است که هر گونه سرمایه‌گذاری موجودی، بیشتر از یک سطح معین تعیین شده توسط بودجه، دارای هزینه‌ای معادل ۱۸ درصد سرمایه راکد برای موجودی در سال است. جدول ۱ شامل پیش‌بینی تقاضا برحسب نفر - ساعت برای یک دوره ۱۲ ماهه از مهر ماه تا شهریور آینده است، این مفروضات با استفاده از اطلاعات گذشته در کارخانه به دست آمده است.

محدودیت‌های متعدد موجود است که مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی این کارخانه را مشکل می‌سازد. به علت محدودیت آموزش حداقل ۳۰ نفر در هر دوره می‌توان استخدام نمود. مدیریت عالی دستور داده است که حداقل

جدول ۱ - پیش‌بینی تقاضا کارخانه پارچه بافی

دوره	ماه	روزهای کاری	تقاضا (نفر - ساعت)
۱	مهر	۱۹	۵۲۰۰۰
۲	آبان	۲۴	۴۵۰۰۰
۳	آذر	۱۸	۵۸۰۰۰
۴	دی	۲۲	۶۲۰۰۰
۵	بهمن	۱۸	۶۹۰۰۰
۶	اسفند	۲۰	۶۷۰۰۰
۷	فروردین	۲۵	۹۰۰۰۰
۸	اردیبهشت	۱۹	۷۵۰۰۰
۹	خرداد	۲۰	۷۹۰۰۰
۱۰	تیر	۱۹	۷۸۰۰۰
۱۱	مرداد	۱۵	۵۵۰۰۰
۱۲	شهریور	۲۰	۷۴۰۰۰
جمع			۸۰۱۰۰۰
۲۳۹			

قدم ۴

کل هزینه کارخانه پارچه‌بافی شامل هزینه استخدام ۴۵ نفر کارگر و هزینه سرمایه راکد در رابطه با موجودی است. این هزینه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{واحد پول قراردادی} = ۲۲۵۰۰ = (\text{کارگر} / ۵۰۰) \times \text{واحد پول قراردادی} (\text{کارگر}) = ۴۵ \text{ هزینه استخدام}$$

چون هزینه نگهداری برای با ۱۸ درصد سرمایه راکد جهت موجودی است پس:

$$\text{واحد پول قراردادی} = ۱۷۴۱۵۹ = ۹۶۷۵۵ \times ۰,۱۸ = ۹۶۷۵۵ \text{ هزینه کل نگهداری}$$

لذا هزینه کل برنامه تولید ادغامی در روش ثبت سرعت تولید برابر مجموع دو هزینه نگهداری و استخدام یعنی $۱۹۶۶۵۹ + \text{واحد پول قراردادی خواهد بود:}$

$$\text{واحد پول قراردادی} = ۱۹۶۶۵۹ + ۲۲۵۰۰ = ۱۷۴۱۵۹ \text{ کل هزینه روش ثبت سرعت تولید}$$

روش دوم - روش برآورده نمودن تقاضا

قدم ۱

این روش سطح نیروی انسانی را طوری تنظیم می‌کند که سطح موجودی انباسته شده حداقل باشد. تعداد کارگران مورد نیاز در مهر ماه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{کارگر} = \frac{۵۲۰۰۰}{(\text{ساعت})} = \frac{۵۲۰۰۰}{(\text{روز} / \text{ساعت} ۷)}$$

پس سطح نیروی انسانی در مهر ماه باید به تعداد ۴۴ کارگر کاهش یابد. به همین ترتیب تعداد کارگران مورد نیاز در آبان ماه ۲۶۸ و در آذر ماه ۴۶۰ نفر است. چون که فقط ۳ نفر در یک ماه می‌توان استخدام نمود، پس کسری کالا در آذرماه را ابتدا باید از طریق اضافه کاری و سپس به کمک قرارداد جنبی جبران کنیم. جدول ۳ - الف تمام کارگران مورد نیاز دوره برنامه‌ریزی ۱۲ ماهه را نشان می‌دهد.

قدم ۲

هزینه‌های مربوط به این طرح شامل هزینه‌های استخدام، اخراج، هزینه اضافه کاری و همچنین قرارداد جنبی است. نحوه محاسبه هزینه‌های استخدام و اخراج شبیه طرح ثبت سرعت تولید است. هزینه کل اضافه کاری برابر با حاصلضرب کل نفر - ساعت اضافه کاری در طول دوره برنامه‌ریزی در ۳ واحد پول قراردادی هزینه اضافی کاری هر ساعت است. پس هزینه اضافه کاری آذرماه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{واحد پول قراردادی} = ۱۸۷۷۴ = (\text{کارگر} ۲۸۹)(\text{روز} / \text{ساعت} ۷)(\text{ماه} / \text{روز} ۳)(\text{هر نفر - ساعت} / ۳ \text{ واحد پول قراردادی})$$

قدم ۲

تعداد کارگران مورد نیاز جهت برآوردن تقاضای دوره‌های باقیمانده یعنی از آبان ماه تا پایان شهریور به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{کارگر} = \frac{۸۰۱۰۰}{(\text{روز} / \text{ساعت} ۷)} - (\text{کارگر} ۴۶۵) = \frac{۸۰۱۰۰}{(\text{روز} / \text{ساعت} ۷)} - (۲۳۹ - ۱۹)$$

پس در آبان ماه باید ۴۸۰ نفر کارگر داشته باشیم، یعنی ۱۵ نفر باید استخدام کنیم.

قدم ۳

به منظور محاسبه هزینه موجودی کل باید سطح موجودی در هر ماه را محاسبه کنیم. در مهر ماه هزینه موجودی اضافی بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\times [(\text{نفر} - \text{ساعت تقاضا} ۵۲۰۰۰) - (\text{نفر} / \text{ساعت} ۷)]$$

واحد پول قراردادی $= ۲۹۵۳۵ = (\text{ساعت} / \text{ارزش موجودی} ۳۰) \times \text{واحد پول قراردادی}$
جدول ۲ شامل نتایج مربوط به محاسبه هزینه موجودی ۱۲ ماهه در روش سرعت تولید ثابت است.

جدول ۲ - محاسبه هزینه موجودی روش ثبت سرعت تولید

ماه	تعداد کارگران مورد نیاز (واحد پول قراردادی)	سرمایه راکد برای موجودی
۱	۴۶۵	۲۹۵۳۵
۲	۴۸۰	۱۳۶۴۵۵
۳	۴۸۰	۱۴۳۸۹۵
۴	۴۸۰	۱۷۹۶۵۵
۵	۴۸۰	۱۵۴۰۹۵
۶	۴۸۰	۱۵۴۶۹۵
۷	۴۸۰	۱۳۶۲۹۵
۸	۴۸۰	۱۰۳۲۱۵
۹	۴۸۰	۷۷۸۱۵۰
۱۰	۴۸۰	۳۴۳۳۵۰
۱۱	۴۸۰	۲۰۵۳۵۰
۱۲	۴۸۰	۱۳۵۰

میانگین ماهیانه سرمایه راکد برای موجودی

$$\text{واحد پول قراردادی} = ۹۶۷۵۵$$

جدول ۳- ب - محاسبه هزینه در روش ارضاء تقاضا

هزینه (واحد پول قراردادی)		نوع هزینه‌ها:
		هزینه‌های استخدام:
۱۳۰۵۰۰	کارگر / ۵۰۰ واحد پول قراردادی × ۲۶۱ کارگر	
هزینه‌های اخراج:		
۶۶۸۰۰	کارگر / ۴۰۰ واحد پول قراردادی × ۱۶۷ کارگر	
هزینه‌های اضافی کاری:		
۹ تا ۳ دوره‌های		
۳ نفر - ساعت / ۳ واحد پول قراردادی × روز / ساعت ۷ × ماه / روز ۳		
(۲۹۸ + ۳۲۸ + ۳۵۸ + ۳۸۸ + ۴۱۸ + ۴۴۸ + ۴۷۸)		
۱۰ دوره	واحد پول قراردادی = ۱۷۱۱۰۸	
۱۹۲۴۴۴۴	۵۰۸ × نفر - ساعت / ۳ واحد پول قراردادی × روز / ساعت ۷ × ماه / روز ۲	
	= ۲۱۳۶	
هزینه‌های قرارداد جنبی:		
۵۶۰۴۴ ساعت / ۴ واحد پول قراردادی × ساعت ۵۶۰۴۴		
۶۱۳۸۸۰	جمع کل	

روش سوم - روش ترسیمی

اگر تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی کم باشد، این روش در مورد تعیین روند تغییر هزینه بسیار آموزنده است چون نتایج بد راحتی قابل ملاحظه است و در نتیجه ایده بسیار خوبی برای استفاده از روش بعدی یعنی سعی و خطا خواهد بود.

قدم ۱

محور افقی را برای نشان دادن دوره‌های برنامه‌ریزی و محور عمودی را برای نشان دادن تقاضای تجمعی و یا تولید تجمعی تقسیم‌بندی کنید.

قدم ۲

تقاضای تجمعی را رسم کنید. تقاضای تجمعی کارخانه پارچه‌بافی با مربع‌های کوچک (□) در شکل ۱ - الف نشان داده شده است.

قدم ۳

اگر محدودیت در تولید و یا تهیه کالا و مواد باشد، ظرفیت تجمعی را رسم کنید. واضح است که هر منحنی زیرمنحنی ظرفیت یک برنامه‌تولیدی قابل قبول است.

ما بقی تقاضا در آذر ماه (۱۴۰۴ نفر - ساعت) از طریق قرارداد جنبی با هزینه زیر جبران می‌گردیم:

$$\text{واحد پول قراردادی} \times ۵۶۶۱۶ = (\text{نفر - ساعت} / ۴ \times \text{واحد پول قراردادی}) (\text{نفر - ساعت} / ۱۴۰۴)$$

هزینه کل طرح ارضاء تقاضا در دوره برنامه‌ریزی ۱۲ ماهه برابر ۱۳۸۸۰ واحد پول قراردادی است که جزئیات آن در

جدول ۳- ب نشان داده شده است.

جدول ۳- الف - محاسبه نفر - ساعت در روش برآورده نمودن تقاضا

۹	۸- ب	۸- الف	قرارداد جنبی							
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
			ساعت‌های اضافه کاری در روز	ساعت‌های اضافه کاری در ماه	ساعت‌های اضافه کاری در سال	وقت محدودیت	روز	ساعت‌های اضافه کاری در روز	افزایش کارگر در روز	
			ساعت‌های اضافه کاری در نیاز	کارگران محدود نیاز	تفصیل نیازی استثنی			ساعت‌های اضافه کاری در نیاز	افزایش کارگر در ماه	
۱	۳۹۱	۳۹۱	-۴۴	۲۷۳۷	۲۷۳۷			۲۷۳۷	۲۷۳۷	
۲	۲۶۸	۲۶۸	-۱۲۳	۱۸۷۸	۱۸۷۸			۱۸۷۸	۱۸۷۸	
۳	۴۶۰	۴۶۰	+۳۰	۲۲۴۰	۲۰۸۶	۲۰۴۱۲	۹/۸	۳/۰	۳۴۷/۶	۱۴۱۵۶
۴	۴۰۳	۴۰۳	+۳۰	۲۸۲۱	۲۲۹۶	۱۱۵۵۰	۵/۰	۳/۰	۳۱۳/۱	۴۶۶۲
۵	۵۷۷	۵۷۷	+۳۰	۳۸۲۹	۲۵۰۶	۲۲۸۱۴	۹/۵	۳/۰	۴۱۷/۷	۱۶۲۹۶
۶	۴۷۹	۴۷۹	+۳۰	۲۳۵۳	۲۷۱۶	۱۲۷۵۰	۴/۷	۳/۰	۴۰۷/۴	۴۵۹۲
۷	۵۱۴	۵۱۴	+۳۰	۳۵۹۶	۲۹۲۶	۱۶۷۵۰	۵/۷	۳/۰	۳۵۱/۱	۷۹۷۲
۸	۵۶۴	۵۶۴	+۳۰	۳۹۴۸	۳۱۳۶	۱۵۴۷۸	۴/۹	۳/۰	۴۹۵/۲	۶۰۴۰
۹	۵۶۴	۵۶۴	+۳۰	۳۹۴۸	۳۲۴۶	۱۲۰۴۰	۳/۶	۳/۰	۵۰۱/۹	۲۰۰۲
۱۰	۵۶۴	۵۶۴	+۳۰	۳۹۴۸	۳۵۵۶	۷۷۴۸	۲/۱	۲/۰	۳۷۷/۳	۳۳۶
۱۱	۵۲۴	۵۲۴	+۱۶	۳۶۶۸	۲۶۶۸	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۵۲۹	۵۲۹	+۵	۳۷۰۳	۳۷۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
										۵۶۰۴۲

روابط زیر را درست راست به چپ بخوانید.

$$\text{سنتون} = \text{ تقاضا بر حسب نفر - ساعت} \div ۷ \text{ ساعت / روز} / \text{کارگر} \div \text{روز / ماه}$$

$$\text{سنتون} = \text{سنتون} \times ۷ \times ۱ \text{ ساعت / روز}$$

$$\text{سنتون} = \text{سنتون} \times ۷ \times ۲ \text{ ساعت / روز}$$

$$\text{سنتون} = (\text{سنتون} - ۶) \times \text{روزهای کاری ماه}$$

$$\text{سنتون} = \text{سنتون} \div (\text{سنتون} \times ۷ \times ۲ \text{ ساعت / روز})$$

$$\text{سنتون} = \text{سنتون} \div ۳ \text{ روز برابر هر کارگر در ماه}$$

$$\text{سنتون} = \text{سنتون} \times \text{الف} \times \text{سنتون} \times ۷ \times ۲ \text{ ساعت / روز} \div \text{روزهای کاری ماه}$$

$$\text{سنتون} = \text{سنتون} \times \text{الف} \times \text{سنتون} \times ۷ \times ۲ \text{ ساعت / روز} \times \text{کارگر} \times ۷ \text{ ساعت / روز}$$

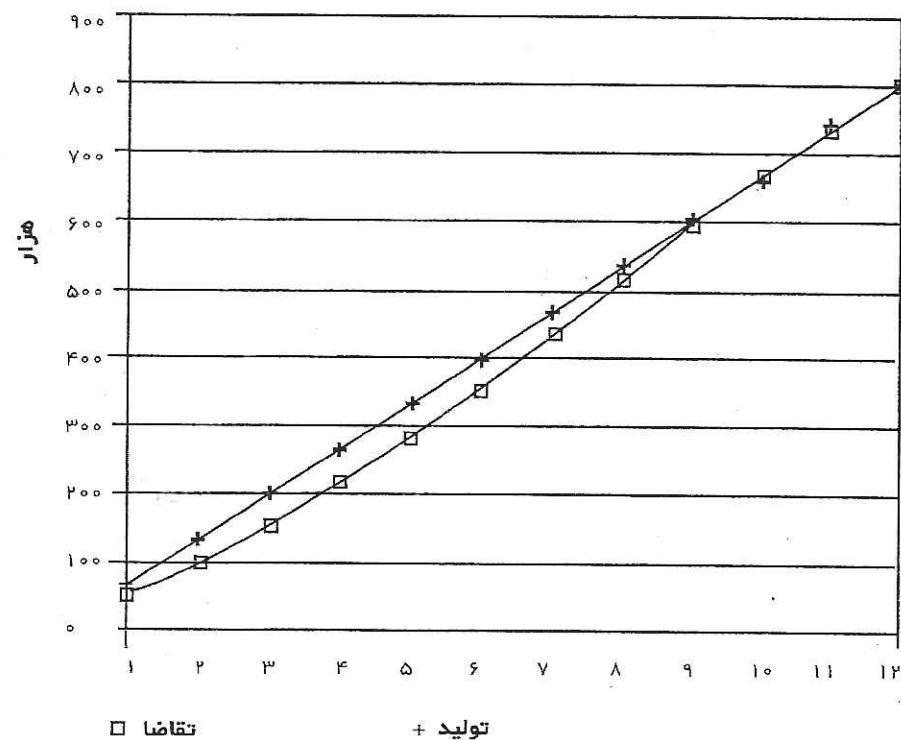
^۴ یک برنامه تولید قابل قبول (روش ترسیمی و میانگین متحرک ۱۱ دوره)

وش چهارم - روش میانگین متحرک

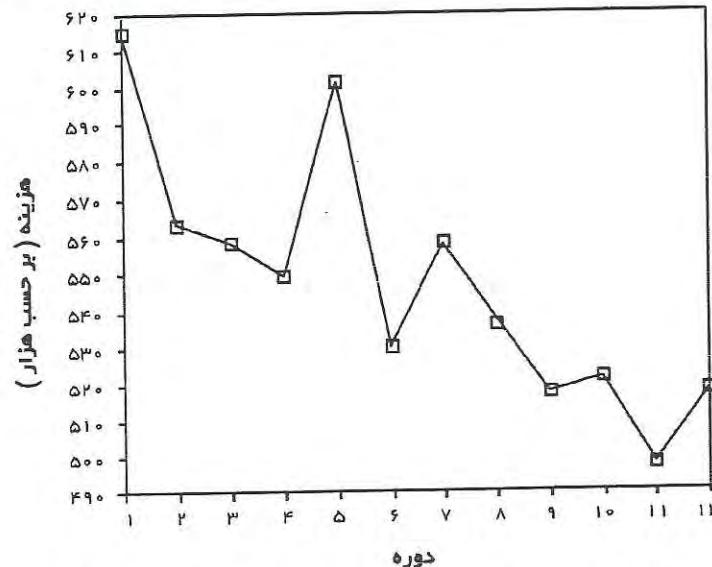
ر روش ترسیمی دیدیم که هر منحنی زیر منحنی ظرفیت یک برنامه تولید قابل قبول را عرضه می‌دارد. ولی واضح است که تعداد این منحنی‌ها بی‌نهایت است. لذا برای اینکه یک راه حل اصولی جهت انتخاب یک منحنی قابل قبول اشتهای باشیم از روش میانگین متغیر استفاده می‌کنیم، در روش میانگین متغیر همان طوری که از ناشم پیداست میانگین تقاضایی چند دوره آینده را که تعداد آن هم در اختیار خودمان است، محاسبه نموده و آن را به عنوان برنامه تولیدی دوره آینده انتخاب می‌کنند و این عمل را برای دوره‌های بعد ادامه می‌دهند، ولی تعداد دوره‌های آینده مورد نظر را عوض نمی‌کنند. برای استفاده از این روش، اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- تعداد دوره برنامه ریزی.
 - تعداد روزهای کاری هر دوره.
 - تقاضای هر دوره.
 - هزینه های استخدام، اخراج، اضافه کاری و قرارداد جنبی.

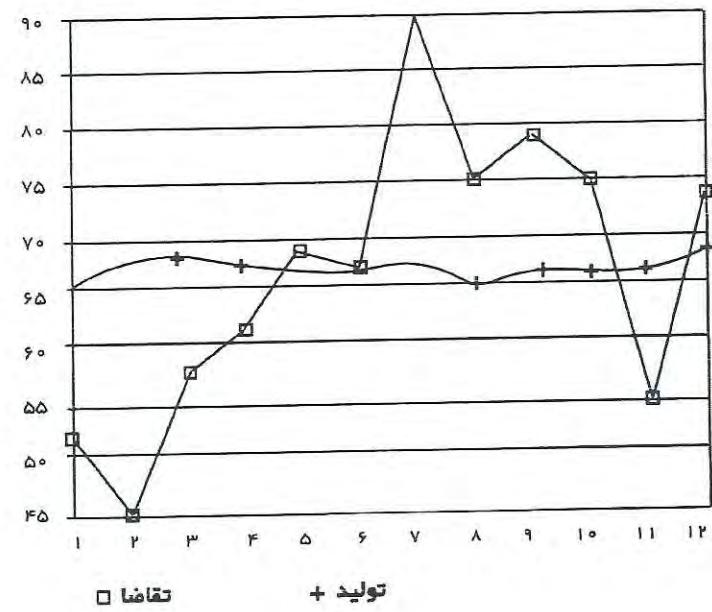
در مسئله برنامه‌ریزی تولید کارخانه پارچه‌بافی چون هیچ گونه محدودیتی در تهیه کالا از طریق قرارداد جتبی نیست، لذا منحنی در صفحه شکل ۱ - الگ می‌تواند خود به عنوان یک برنامه تولیدی ممکن تلقی گردد. ولی اگر منحنی تولید تجمعی در بالای منحنی تقاضای تجمعی قرار گیرد باعث پرداخت هزینه نگهداری، و هر میزان تولید تجمعی در زیر منحنی تقاضای تجمعی قرار گیرد باعث پرداخت جریمه کسری کالا می‌گردد. واضح است که هر چه سطح واقع شده بین دو منحنی پیشتر باشد هزینه برنامه تولیدی داده شده بیشتر خواهد بود. یک نمونه از جواب قابل قبول با هزینه کل 49763° واحد پول قراردادی با علامت (+) در شکل ۱ - الگ نشان داده شده است. جدول ۴ جزئیات مربوط به این برنامه تولیدی را ارایه می‌دهد. کوشش در کم کردن سطح واقع شده بین دو منحنی تقاضای تجمعی و برنامه تولیدی تجمعی در فوق منجر به روش سعی و خطأ خواهد شد که در همین قسمت مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.



شكل ۱ - الف - روش ترسیمی



شکل ۲ - مقایسه هزینه کل روش میانگین متغیر برای دوره‌های متغیر



شکل ۳ - نمایش نوسانات تقاضا (□) و برنامه تولیدی میانگین متغیر (+)

- تعداد کارگران در ابتدای دوره برنامه‌ریزی.
- حداقل تعداد کارگران که در هر دوره می‌توان استخدام نمود، سپس میانگین متغیر تقاضا برای چند دوره قابل محاسبه است.
- از این روش برای به دست آوردن یک برنامه قابل قبول جهت حل مسئله کارخانه پارچه‌بافی استفاده کردیم. در این برنامه طول دوره میانگین متغیر را از ۱ تا ۱۲ به کامپیوتر دادیم که هزینه کل آنها را در شکل ۲ نشان داده‌ایم. چنانکه در این شکل ملاحظه می‌شود میانگین متغیر با طول دوره میانگین ۱۱ دوره دارای کمترین هزینه است. جزئیات این برنامه در جدول ۴ آمده است. شکل ۳ نوسانات تقاضا را با علامت مربع کوچک (□) و روند برنامه به دست آمده از طریق میانگین متغیر را با علامت بعلاوه کوچک (+) نشان می‌دهد.

روش پنجم - روش آزمایش و خطای

با مقایسه کل هزینه در روش‌های ثبت سرعت تولید، ارضاء تقاضا، روش ترسیمی و میانگین متغیر فوراً درخواهیم یافت که کل هزینه در روش ثبت سرعت تولید به مراتب کمتر از کل هزینه در روش‌های دیگر است. بنابراین باید انتظار داشته باشیم که حل بهینه مسئله با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی (فصل بعد) می‌تواند به روش ثبت سرعت تولید نزدیکتر باشد. این نتیجه گیری می‌تواند منبعث از منطق زیر باشد که از مقایسه هزینه‌های اضافه کاری و قرارداد جنبی و هزینه‌های استخدامی و اخراج به دست آمده است:

- ۱ - هزینه نگهداری هر واحد پول در ماه $1/5$ درصد ($1/12 \times 1/18$) است و حال آنکه هزینه متغیر تولید برای هر نفر - ساعت 30 واحد پول قراردادی است. لذا هزینه نگهداری ماهیانه هر واحد کالا $45 \times 30 \times 12 = 180$ واحد پول قراردادی است، یعنی $(12 \times 180) / 18 = 30$. هزینه اضافی هر ساعت اضافه کاری 3 واحد پول قراردادی است. بنابراین اگر هر واحد کالا $6,67$ ماه $(45 \div 3)$ نگهداری شود بهتر است تا اینکه این واحد کالا از طریق اضافه کاری تولید گردد.

- ۲ - هزینه اضافی تهیه هر واحد کالا از طریق قرارداد جنبی 4 واحد پول قراردادی است و حال آنکه تولید این واحد از طریق اضافه کاری 3 واحد پول قراردادی است. پس تولید در وقت اضافی کارخانه برقرارداد جنبی ارجحیت دارد.

- ۳ - با مقایسه هزینه نگهداری ماهیانه 45 واحد پول قراردادی برای هر واحد کالا در مقابل 500 واحد پول قراردادی برای استخدام و 400 واحد پول قراردادی برای اخراج هر کارگر فوراً متوجه خواهیم شد که در این برنامه، نگهداری کالا بر تغییر سطح نیروی انسانی به مراتب ارجحیت دارد. بنابراین انتظار خواهیم داشت روش آزمایش و خطای که از منطق سه گانه فوق استفاده کرده و از روش ترسیمی آنچنان استفاده کنند که سطح بین دو منحنی تقاضای تجمعی و برنامه پیشنهادی را تا حد قابل قبول کوچک کند ما را به راه حل‌های قابل قبول تر از روش‌های قبلی هدایت خواهد کرد. جدول ۵ شامل دو حل (الف) و (ب) است که از روش آزمایش و خطای و منطق فوق به دست آمده‌اند. در حل (الف) محدودیت 2 و یا حداقل 3 تغییر در سطح نیروی انسانی قابل شده‌ایم و حال آنکه در حل (ب) چنین محدودیتی را در نظر نگرفته‌ایم. در جدول (۵) کل هزینه‌های مربوط به این دو روش نشان داده شده است.

روش ششم - تعدیل سطح نیروی انسانی
 در این قسمت می‌خواهیم یک متداول‌وزی دیگری جهت ارزیابی سطح نیروی انسانی در برنامه‌بیزی تولید ادغامی ارایه دهیم که به نام "تعدیل سطح نیروی انسانی" معروف است. این روش از تحقیقات Shearon در سال ۱۹۷۴ برخاسته است که او سعی کرد یک متداول‌وزی جدیدی جهت ارزیابی سطح نیروی انسانی در طول دوره برنامه‌بیزی میان مدت به طور سیستماتیک آن چنان ارایه دهد که مدیر تولید به کمک آن بتواند به یک سطح نیروی انسانی معقولی بدون توصل به محاسبات کمی پیچیده دست یابد.

الف - شاخص اقدام

در برخورده منطقی با مسئله برنامه‌بیزی تولید ادغامی، مدیر باید شاخص اقدامی جهت ارزیابی سطح نیروی انسانی مورد نیاز و منابع انسانی موجود در کوتاه مدت و بلند مدت داشته باشد. شاخص اقدام کوتاه مدت با موقعیت‌های نزدیک نظری هفته آینده و یا ماه آینده که در آن سطح تولید باید تصمیم‌گیری شود سر و کار دارد. وقتی که ظرفیت فعلی نیروی انسانی از سطح مورد نیاز تولید در کوتاه مدت متفاوت باشد، یک تعدیلی در سطح نیروی انسانی ممکن است ضروری باشد. قبل از اعمال این تصمیم برای کوتاه مدت مدیر باید کمی فراتر از حال را نیز بشنگرد. جهت ارزیابی نیروی انسانی مورد نیاز در طول المدت، مدیر احتیاج به پیش‌بینی تقاضا در طول یک دوره آینده تحت عنوان افق برنامه‌بیزی دارد. در اینجا واحدی که نیروی انسانی پیش‌بینی شده را با ظرفیت نیروی انسانی فعلی مقایسه کند مورد نظر خواهد بود. در صنایعی که مردم در لیست انتظار هستند، شاخص دقیقت برای تقاضا در سه ماه یا شش ماه آینده همان سفارشات عقب افتاده است که هنوز به واحد تولید ابلاغ شده است. این بیان‌گری تقاضا به انضمام هجوم تقاضای فصلی خود می‌تواند به عنوان تخمین میزان نیروی انسانی مورد نیاز در آینده تلقی گردد. بنابراین چارچوب تصمیم‌گیری مدیر براساس شاخص تعیین کننده سطح نیروی انسانی مورد نیاز به ظرفیت موجود در دوره متفاوت به شرح زیر خواهد بود:

- ۱ - دوره چاری که در آن سرعت تولید باید تصمیم‌گیری شود و
- ۲ - افق برنامه‌بیزی منفک از دوره چاری که در آن سفارشات عقب افتاده ممکن است به عنوان معیار تعیین کننده وضعیت آینده تولید باشد. افق برنامه‌بیزی اخیر می‌تواند از یکماه تا یکشال بستگی به شرایط کارخانه مربوطه تغییر کند.

جهت مقایسه میزان تقاضا به موجودی فعلی و قدرت تولید کارخانه می‌توان نفر - ساعت را به عنوان واحد مشترک تلقی نمود. بعضی از کارخانجات ممکن است قادر باشند که برنامه تولید ادغامی خود را براساس واحد مشترک دیگری چون واحد پول قراردادی، متر، کیلوگرم یا تعداد محصول پایه گذاری کنند. دو نسبت زمانی تعیین کننده تعدیل سطح نیروی انسانی براساس نفر - ساعت را به شرح زیر تعریف می‌کنیم.
 نسبت دوره چاری به عنوان محک کوتاه مدت به صورت زیر تعریف می‌گردد:^(۱)

جدول ۵ الف - دو حل برای کارخانه پارچه بافی از طریق آزمایش و خطای

ماه	حل - الف		حل - ب	
	۱ نیروی موجودی راکد	۲ نیروی انسانی	۳ نیروی موجودی	۴ نیروی انسانی
۱	۴۲۵	۱۷۵۶۰	۴۲۱	۱۱۹۷۹۰
۲	۴۲۵	۱۰۱۸۰۵۰	۴۲۱	۸۹۱۶۳۰
۳	۴۲۵	۹۲۲۳۵۰	۴۲۱	۷۴۳۰۱۰
۴	۴۲۵	۱۰۷۲۰۵۰	۴۲۱	۸۲۸۰۳۰
۵	۴۲۵	۶۴۶۳۵۰	۴۰۱	۴۶۲۸۱۰
۶	۴۶۵	۵۸۹۴۵۰	۴۸۱	۴۷۳۰۱۰
۷	۴۹۵	۴۸۸۱۰۰	۵۱۱	۴۵۵۷۶۰
۸	۵۲۵	۳۳۲۸۵۰	۵۲۸	۳۱۲۴۸۰
۹	۵۲۵	۱۶۷۸۵۰	۵۲۸	۱۶۰۱۸۰
۱۰	۵۲۵	۱۲۶۰۰	۵۲۸	۱۶۸۰۰
۱۱	۵۲۵	۱۶۳۵۰	۵۲۸	۳۰۰۰۰
۱۲	۵۲۵	۱۲۵۰	۵۲۸	۲۷۶۰۰

واحد پول قراردادی ۴۵۳۵۷۵ متوسط سرمایه راکد موجودی ماهیانه ۴۷۶۷۶۰ واحد پول قراردادی

جدول ۵ ب - هزینه‌های مربوط در روش‌های آزمایش و خطای

حل - الف	واحد پول قراردادی		حل - ب	
	هزینه‌های استخدام:	هزینه‌ها (کارگر/۵۰۰ واحد پول قراردادی) (۹۰ کارگر)	هزینه موجودی:	هزینه مربوط (۴۵۳۵۷۵)/۱۸ واحد پول قراردادی)
۴۵۰۰				جمع کل هزینه حل - الف
۸۱۶۴۴				
۱۲۶۴۴				
				هزینه اخراج
				(کارگر/۴۰۰ واحد پول قراردادی) (۱۴ کارگر)
۵۶۰۰				هزینه استخدام
۵۳۵۰۰				(کارگر/۵۰۰ واحد پول قراردادی) (۱۷) (۳۰ + ۳۰ + ۳۰ + ۱۷)
۶۷۸۱۷				هزینه تکه‌داری
۱۲۶۹۱۷				(کل هزینه حل - ب) (۳۷۶۷۶۰)/۱۸ واحد پول قراردادی)

نسبت پریود جاری (CPR)				
	< 1	= 1	> 1	
PPR برنامه‌ویزی تولید	< 1	CPR - کم PPR - کم وضعیت ۱	CPR - نرمال PPR - کم وضعیت ۲	CPR - زیاد PPR - کم وضعیت ۳
	= 1	CPR - کم نرمال - نرمال وضعیت ۴	CPR - نرمال PPR - نرمال وضعیت ۵	CPR - زیاد نرمال - نرمال وضعیت ۶
	> 1	CPR - کم PPR - زیاد وضعیت ۷	CPR - نرمال PPR - زیاد وضعیت ۸	CPR - زیاد PPR - زیاد وضعیت ۹

شکل ۴ - چارچوب تصمیم‌گیری سطح نیروی انسانی

وضعیت ۱ : زیاد بودن نیروی انسانی در کوتاه مدت و طویل المدت
در وضعیت ۱، مدیر با مازاد ظرفیت در کوتاه مدت و بلند مدت مواجه است. تحت این شرایط، گزینه انتباشتن موجودی جهت توفیق بر رونق بازار در آینده خالی از مخاطره نیست. راکد ماندن سرمایه برای موجودی و عدم تعديل آن به منابع مالی در گردش ممکن است خسارات سختی به موقعیت مالی کارخانه برآورد. اگر مدیر برای فرارداد جنبی نظر خوبی داشته باشد می‌تواند با ایجاد ارتباط با کارخانه‌های دیگر توان مازاد کارخانه را در این راه بکار گیرد.

یک گزینه دیگر در این مرحله کم کردن نیروی انسانی در هفته مثل تعطیل پنجشنبه است، ولی اغلب اوقات مسئله جدی‌تری از این اقدام است، لذا ترس کارگران از اخراج آنی خود باعث نقصان بهره‌وری می‌شود. در نتیجه مدیران غالباً در چنین وضعیتی دست به اخراج می‌زنند. حداکثر تعداد اخراج باید طوری باشد که کارگران باقیمانده قادر به برآورده نمودن بیشترین تقاضا در دوره جاری و یا در افق برنامه‌ریزی باشد.

وضعیت ۲ : متعادل بودن نیروی انسانی در کوتاه مدت و مازاد بودن آن در طویل المدت
در چنین موقعیتی یک مدیر سیاستمدار آن چنان رفتار می‌کند که برنامه‌اینده، برنامه متعادل فعلی را تحت الشعاع قرار ندهد و در نتیجه ترس اخراج در آینده از بازدهی فعلی نکاهد. مدیر ممکن است کارهایی را به صورت فرارداد جنبی پذیرد که انجام آنها به زودی میسر باشد و در این حالت تصمیم به اخراج باید اول متوجه کارگران تحت آموزش و نیز آن‌هایی که هنوز مشمول قانون باز خرید وزارت کار نشده‌اند بشود. در هر صورت پیشنهاد می‌شود که سطح اخراج منطقی بوده و شاید تا حد متوسط سطح نیروی انسانی مورد نیاز جهت برآورده نمودن تقاضای فعلی و تقاضای پیش‌بینی شده در آینده باشد، به طوری که تقاضای فعلی کماکان برآورده شود.

$$\text{موجودی اضافی} - \text{سطح نیروی انسانی مورد نیاز در دوره جاری} \\ \text{ظرفیت نیروی انسانی فعلی در اوقات معمولی} = \frac{\text{CPR}}{\text{CPR} + 1}$$

سطح نیروی انسانی مورد نیاز در دوره جاری غالباً از پیش‌بینی تقاضای دوره جاری بحسب نفر - ساعت به دست می‌آید. وقتی که CPR در عبارت فوق تقریباً برابر یک می‌شود معنی آن این است که سطح نیروی انسانی فعلی جوابگوی تقاضا در دوره جاری است. به عبارت بهتر مدیر در کوتاه مدت احتیاجی به تغییر سطح نیروی انسانی برای ۱ \equiv CPR ندارد.

نسبت افق برنامه‌ریزی به عنوان محک بلند مدت به صورت زیر تعریف می‌گردد: (۱)

$$\text{میانگین سطح نیروی انسانی مورد نیاز در افق برنامه‌ریزی بعد از دوره جاری} \\ \text{میانگین ظرفیت اوقات معمولی} = \frac{\text{CPR}}{\text{CPR} + 1}$$

دوباره مقدار ۱ \equiv CPR میان وضعیت تعادل سیستم از نظر نیروی انسانی در مایه‌ی دوره برنامه‌ریزی است. به عبارت بهتر انتظار خواهد رفت که میانگین ظرفیت تولید در اوقات معمولی جوابگوی نیاز تولید در آینده باشد. ولی اگر CPR به مقدار قابل توجهی دور از عدد ۱ باشد، شاخص نیاز به اقدام در کم کردن نیروی انسانی (وقتی که $\text{A} < 1$ است) و افزایش نیروی انسانی (وقتی که $\text{A} > 1$ است) در دوره فعلی خواهد بود.

شاخص‌های CPR و PPR ابزارهای تصمیم‌گیری خوبی برای مدیر کارخانه هستند. از آنجایی که CPR مسئله فوری تری را مورد توجه قرار می‌دهد، مدیران غالباً به آن بهای بیشتری می‌دهند. ولی مدیران دوراندیش و با تجربه صرف برای CPR غیرمعادل اقدام عجلانه‌ای نمی‌کنند و CPR و PPR را تواناً به عنوان ابزارهای تصمیم‌گیری در تعديل نیروی انسانی بکار می‌گیرند. در زیر حالات مختلف آنرا به طور مفصل تشریح خواهیم نمود.

ب - نحوه اقدام

ماتریس ۳×۳ در شکل ۴ نه ترکیب مختلف از دامنه تغییرات CPR و PPR را نشان می‌هد. سطر و ستون ماتریس متناظر با گزینه‌های سه گانه CPR و PPR است که کوچکتر از ۱، تقریباً مساوی ۱ و بالاخره بزرگتر از ۱ نشان می‌دهند.

ubarat "تقریباً مساوی" پراکندگی کوچک (مثلاً حدود ۵ درصد) را دربر می‌گیرد. سایر پراکندگی‌های مجاز باید در حالات نه گانه زیر مشخص شود. مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی از نظر تعديل سطح نیروی انسانی در محدوده یکی از مسئله‌های فرعی ۹ گانه قرار می‌گیرد. بقیه مطالب این فصل در رابطه با اقدامات پیشنهادی مربوط به حالات ۹ گانه است.

وضعیت ۸: تعادل نیروی انسانی در کوتاه مدت و کمبود آن در طویل المدت در این وضعیت تولید با ظرفیت فعلی هیچ گونه موجودی ذخیره‌ای برای دوره آینده به بار نخواهد آورد. لذا چون به اضافه کاری بیش از حد در دوره‌های بعدی نیاز خواهد بود در نتیجه بهتر است که اقدامی در این دوره صورت پذیرد. یک اقدام مدیر، استخدام است ولی از آنجایی که دوره آموزش در پیشتر کارخانجات ۵ هفته و یا بیشتر به طول می‌انجامد و در این فاصله اگر مشخص شود که پیش‌بینی تقاضا خیلی خوش‌بینانه بوده در آن صورت اخراج افراد خود مسئله جدی تری خواهد بود.

سیاست محتاطانه دیگر آن است که بین سیاست "بینیم چه می‌شود" و "استخدام کنیم" متوسط بگیریم و نصف کارگران مورد نیاز آنی را استخدام کنیم.

وضعیت ۹: کمبود نیروی انسانی در کوتاه مدت و بلندمدت در این حالت چون هم در کوتاه مدت و هم در بلند مدت کمبود نیروی انسانی داریم، لذا سیاست اضافه کاری در بلند مدت به علت کم شدن بهره‌وری به صرفه نخواهد بود. گزینه‌های مدیر استفاده از قرارداد جنبی و استخدام نیروی جدید است که غالباً مدیران سیاست استخدام را ترجیح می‌دهند.

سؤالی که در اینجا برای مدیران پاکی می‌ماند سطح استخدام نیروی جدید در دوره جاری است، سطح استخدام می‌تواند از متوسط دو محک کوتاه و بلند مدت تا ماکزیمم آن‌ها برحسب مورد تغییر کند.

ج - کاربرد روش تعدیل سطح نیروی انسانی در کارخانه پارچه‌بافی

روش تعدیل سطح نیروی انسانی که در قسمت‌های قبلی مورد بحث قرار گرفت، مسئله موردی برنامه‌ریزی را به ۹ مسئله فرعی تقسیم می‌نماید. مسائل فرعی هر یک، یک وضعیت تعریف شده توسط محک CPR و PPR هستند. به منظور کاربرد این روش ما دوباره مسئله کارخانه پارچه‌بافی مورد بحث در این فصل را با این روش حل می‌کنیم. شکل ۵ اقداماتی که مدیریت می‌تواند در کارخانه پارچه‌بافی در رابطه با هر وضعیت اتخاذ کند خلاصه می‌نماید.

CPR < ۰/۹۵	۰/۹۵ < CPR < ۱/۰۵	CPR > ۱/۰۵
PPR < ۰/۹۵	۱	۲
< ۱/۰۵	۴	۵
> ۰/۹۵	۷	۸
PPR > ۱/۰۵		۹

شکل ۵ - قوانین بکارگیری اعداد جدول ۶

اقدام مدیر در وضعیت‌های نه گانه

وضعیت ۱: سطح تولید روزانه فعلی را به حاصل ضرب سطح تولید روزانه ماه قبلی در ماکزیمم CPR و PPR برسانید - از سیاست اخراج استفاده کنید - از سیاست کم کردن ساعات کار در هفتگه استفاده نکنید.

وضعیت ۳: کمبود نیروی انسانی در حالت فعلی و مازاد بودن آن در طویل المدت در چنین حالتی مدیر دو گزینه مختلف دارد که بر حسب مورد می‌تواند یکی از آن‌ها را اختیار نماید:

- ۱ - از طریق اضافه کاری و قرارداد جنبی مشکل موقتی کمبود نیروی انسانی را رفع کند و در طویل المدت به اخراج پردازد.

- ۲ - با سیاست "کاهش جلب رضایت‌مشتری" بر طرف نمودن تقاضای فعلی را کمی به تعویق بیندازد و در دوره آینده چبران کند. ولی بر اثر این عمل تعديل در سطح نیروی انسانی به وجود آورد و آن را پایدار نگهدارد.

وضعیت ۴: متعدد ممکن است یکی از سه گزینه زیر را انتخاب کند و یا با انتخاب توازن آن‌ها بر حسب مورد جرح و تعديل به وجود آورد:

- ۱ - اضافی تولید کند.
- ۲ - اخراج کند.
- ۳ - زمان کاری را در هفته کم کند.

غالباً هزینه نگهداری کمتر از هزینه کسری است. لذا تولید اضافی و داشتن موجودی در این مرحله چندان هم مخاطر آمیز نخواهد بود. فقط مشکل آن موقعی جدی خواهد شد که تقاضای آنی کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده بشود. در نتیجه سیاست موفق تر آن خواهد بود که هم تولید اضافی داشته باشد و هم زمان کاری کوتاه گردد.

وضعیت ۵: حالت ایده‌آل در این حالت چون سطح نیروی انسانی در کوتاه مدت و نیز در طویل المدت در حالت تعادل است لذا احتیاجی به هیچ گونه تغییر نخواهد بود.

وضعیت ۶: متعدد بودن سطح نیروی انسانی در طویل المدت و کمبود آن در کوتاه مدت در این حالت تقاضای نیروی انسانی در کوتاه مدت بیش از ظرفیت موجود است و حال آنکه در طویل المدت این ارتباط متعادل است، از آنجایی که این کمبود موقتی است لذا استخدام نیروی جدید به هیچ وجه صلاح نبوده بلکه رفع این نیاز از طریق اضافه کاری و سپس از قرارداد جنبی تجویز می‌گردد. گزینه‌های دیگر برای این حالت افزودن شیفت اضافی و یا تعویق تحويل قسمتی از تقاضا به دوره بعدی است. ضمناً باید توجه داشته باشیم که بیش از ۴۰ درصد اضافه کاری و یا ۵۶ ساعت کار در هفته بنا به تجربیات گذشته بهره‌ور نیست.

وضعیت ۷: مازاد نیروی انسانی در کوتاه مدت و کمبود آن در طویل المدت عکس العمل منطقی مدیر در این حالت این است که تولید در سطح فعلی با بهره‌وری خوب آن ادامه پیدا کند و تعادلی از اقلام را نیز تولید و ابزار کند. با این وجود ممکن است برای مدیر این سؤال پیش آید که آیا نیروی انسانی استخدام بنماید و یا خیر؟ هزینه بالای استخدام و اخراج مدیر را بر آن خواهد داشت که از سیاست "بینیم چه می‌شود" پیروی نموده و یک دوره هم صبر کند و اقدام نکند.

جدول ۶-۱: محاسبات روش تعدیل نیروی انسانی در کارخانه پارچه بافی

ماه	کاروی	روزهای تacula	(نفر- ساعت)	CPR	PPR	دشیت	اقام	توالید	کل تولید	کل تولید	(نفر- ساعت)	(روز/ نفر ساعت)	مهدی تقاضا	بازان ماه	موجودی
۱۴	مهر	۵۲۰۰۰	۰/۹۰	۰/۸۱	-	۰/۰۴	(۰/۹۱) = ۷۷۳۱	۵۲۰۷۹	۷۹	۷۹	۰/۰۷۸۴	۰/۰۷۸۴	۰/۰۸۱۳	۰/۰۸۱۳	۰/۰۸۱۳
۲۴	آبان	۴۵۰۰۰	۰/۶۸	۰/۷۱	-	۰/۰۴	(۱/۱۸ + ۱/۱۹) = ۳۲۴۸	۶۵۷۸۴	۵۳۱۷۲	۵۳۱۷۲	(۴/۸۲۸)	(۴/۸۲۸)	۱/۶۰۳۵	۱/۶۰۳۵	۱/۶۰۳۵
۱۸	آذر	۵۸۰۰۰	۱/۱۸	۱/۱۸	-	۰/۰۴	(۱/۱۸ + ۱/۱۹) = ۳۲۴۸	۷۱۵۵	۱۶۸۸۳	۱۶۸۸۳	۱/۱۸۸	۱/۱۸۸	۱/۱۰۲۳	۱/۱۰۲۳	۱/۱۰۲۳
۲۲	دی	۱۲۰۰۰	۰/۹۵	۰/۹۵	-	۰/۰۴	(۱/۳۰ + ۱/۳۱) = ۳۱۱۳	۱۱۱۲	۵۱۶۵۲	۵۱۶۵۲	(۱/۱۴۸)	(۱/۱۴۸)	۰/۱۴۷۵	۰/۱۴۷۵	۰/۱۴۷۵
۱۸	بهمن	۱۴۰۰۰	۱/۳۰	۱/۳۰	-	۰/۰۴	(۱/۳۰ + ۱/۳۱) = ۳۱۱۳	۳۲۳۷۵	۶۱۷۸۰	۶۱۷۸۰	۰/۱۸۰	۰/۱۸۰	۰/۷۵۵	۰/۷۵۵	۰/۷۵۵
۲۰	اسفند	۱۷۰۰۰	۰/۰۷	۰/۰۷	-	۰/۰۷	(۱/۰۷ + ۱/۱۰) = ۳۵۵۲	۳۵۸۴۲	۸۹۱۰۰	۸۹۱۰۰	(۰/۰۰)	(۰/۰۰)	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵
۲۵	فروردین	۸۰۰۰	۰/۰۷	۰/۰۷	-	۰/۰۷	(۱/۰۷ + ۱/۱۰) = ۳۵۵۲	۷۱۷۸۰	۷۱۷۸۰	۷۱۷۸۰	(۰/۱۰)	(۰/۱۰)	۰/۲۸۷۵	۰/۲۸۷۵	۰/۲۸۷۵
۱۹	اردیبهشت	۷۵۰۰۰	۰/۱۰	۰/۱۰	-	۰/۰۴	(۱/۱۰ + ۱/۱۱) = ۳۷۴۱	۷۲۷۸۰	۷۵۱۰۰	۷۵۱۰۰	(۰/۰۰)	(۰/۰۰)	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۷۵	۰/۱۰۷۵
۲۰	خرداد	۷۱۰۰۰	۰/۰۴	۰/۰۴	-	۰/۰۴	(۱/۰۴ + ۱/۱۰) = ۳۷۴۱	۷۲۸۷۰	۷۵۱۰۰	۷۵۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۱۹	تیر	۷۵۰۰۰	۰/۰۴	۰/۰۴	-	۰/۰۴	(۱/۰۴ + ۱/۱۰) = ۳۷۴۱	۷۲۸۷۰	۷۵۱۰۰	۷۵۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۱۵	مرداد	۵۵۰۰۰	۰/۰۷	۰/۰۷	-	۰/۰۷	(۱/۰۷ + ۱/۱۰) = ۳۷۴۱	۷۲۸۷۰	۷۵۱۰۰	۷۵۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۲۰	شهریور	۷۸۰۰۰	۰/۰۸	۰/۰۸	-	۰/۰۸	(۱/۰۸ + ۱/۱۰) = ۳۷۴۱	۷۲۸۷۰	۷۵۱۰۰	۷۵۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰

۰ = موجودی پایان شهریور

۰ = تقدیم پایان شهریور

۰ = تولید روزانه در شهریور

۰ = تقدیم روزانه در شهریور

قبل از ذکر شدیم که برای سادگی محاسبات در این مسئله موجودی و تقدیم را برحسب نفر- ساعت در نظر می‌گیریم. لذا CPR در کارخانه پارچه بافی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{CPR} = \frac{\text{تعداد روزهای کاری در ماه } t}{\text{تولید روزانه ماه } ۱ - t}$$

ضریب ثابت α که همواره بین صفر و ۱ تغییر می‌کند با استفاده از تجربیات گذشته قابل تعیین است که در این مسئله می‌تواند برابر ۰/۳۳ باشد. این ضریب نشان دهنده درصد تقدیم ماه فعلی است که توسط موجودی ماه قبل از ارضاء می‌گردد.

به عنوان مثال در مهر ماه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{CPR} = \frac{\text{تعداد روزهای کاری مهر ماه}}{\text{تولید روزانه شهریور}} \times \frac{\text{موجودی ماه شهریور}}{\text{تقدیم در مهر ماه}}$$

$$\text{CPR} = \frac{۵۲۰۰۰ - ۰/۳۳(۰)}{۱۹} = ۰/۹۰ \quad \text{در مهر ماه}$$

وضعیت ۲: در سطح تولید ماه قبلی تولید کرد.

وضعیت ۳: به مقدار حاصل ضرب سطح تولید در ماه قبلی در CPR با اضافه کاری سه روز در ماه، استخدام و قرارداد جنبی تولید کرد.

وضعیت ۴: تغییر ندهید و موجودی ایاشته کرد.

وضعیت ۵: تغییر ندهید.

وضعیت ۶: مانند وضعیت ۳ عمل کرد.

وضعیت ۷: تغییر ندهید و موجودی ایاشته کرد.

وضعیت ۸: تغییر ندهید.

وضعیت ۹: توسط اضافه کاری سه روز در ماه، استخدام و قرارداد جنبی سطح تولید را به $\frac{\text{CPR} + \text{PPR}}{\text{برسانید}}$ برسانید (در صورتی که تقاضای همان ماه با استخدام بر طرف شود از اضافه کاری استفاده نمی‌کنیم. همین طور اگر استخدام و اضافه کاری کافی باشد از قرارداد جنبی استفاده نمی‌کنیم).

جدول ۶ نشان دهنده تابع حاصل از محاسبات است. تعداد روزهای کاری در ستون ۲ نشان داده شده است.

تقاضا برحسب نفر- ساعت در ستون ۳ نشان داده شده است. اعداد حاصل در ستون‌های بعدی به شرح زیر محاسبه گردیده‌اند:

ستون ۴

قبل از ذکر شدیم که برای سادگی محاسبات در این مسئله موجودی و تقدیم را برحسب نفر- ساعت در نظر می‌گیریم. لذا CPR در کارخانه پارچه بافی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{CPR} = \frac{\text{تعداد روزهای کاری در ماه } t}{\text{تولید روزانه ماه } ۱ - t}$$

ضریب ثابت α که همواره بین صفر و ۱ تغییر می‌کند با استفاده از تجربیات گذشته قابل تعیین است که در این مسئله می‌تواند برابر ۰/۳۳ باشد. این ضریب نشان دهنده درصد تقدیم ماه فعلی است که توسط موجودی ماه قبل از ارضاء می‌گردد.

به عنوان مثال در مهر ماه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{CPR} = \frac{\text{تعداد روزهای کاری مهر ماه}}{\text{تولید روزانه شهریور}} \times \frac{\text{موجودی ماه شهریور}}{\text{تقدیم در مهر ماه}}$$

$$\text{CPR} = \frac{۵۲۰۰۰ - ۰/۳۳(۰)}{۱۹} = ۰/۹۰ \quad \text{در مهر ماه}$$

$$\text{ستون ۱۰} = \text{کل تولید منهای تقاضا} \\ \text{ستون ۳} - \text{ستون ۹} = \text{ستون ۱۰}$$

$$\text{ستون ۱۱} = \text{موجودی پایان ماه} \\ \text{موجودی پایانی ماه قبلی} + \text{ستون ۱۰} = \text{ستون ۱۱}$$

کل هزینه

وقتی که برنامه تولید ادغامی سالیانه کارخانه پارچه بافی به روش تعديل نیروی انسانی محاسبه گردید کل هزینه به صورت زیر قابل استخراج خواهد بود. این هزینه شامل هزینه تغییر سطح تولید، هزینه موجودی و جریمه کسری است. این محاسبات با استفاده از جداول ۶ و ۷ در جدول ۸ خلاصه شده است.

جدول ۷ - تعداد کارکنان در روش تعديل نیروی انسانی

ماه	ساعت کاری	تعداد کارگران*	استخدام ماهیانه	خروج ماهیانه
	ستون ۸	ستون ۵	ستون ۴	ستون ۳
مهر	۲۷۴۱	۳۹۲	۴۳	
آبان	۲۷۴۱	۳۹۲		
آذر	۲۹۵۴	۴۲۲	۳۰	
دی	۲۹۵۴	۴۲۲		
بهمن	۳۱۶۴	۴۵۲	۳۰	
اسفند	۳۳۷۴	۴۸۲	۳۰	
فروردین	۳۵۸۴	۵۱۲	۳۰	
اردیبهشت	۳۷۸۰	۵۴۰	۲۸	
خرداد	۳۷۸۰			
تیر	۳۷۸۰			
مرداد	۳۷۸۰			
شهریور	۳۷۸۰			
کل		۱۴۸	۴۳	

* تعداد کارگران = (کارگر / ساعت) × تعداد ساعت کاری

در این مسأله چون $t = ۰$ هزینه کمتری را عاید خواهد ساخت، لذا ما در بقیه محاسبات t را برابر صفر اختیار کرده‌ایم.

ستون ۵ برای مسئله کارخانه پارچه‌بافی اتفاق برنامه‌ریزی را دو ماه بعد از دوره CPR در نظر گرفته‌ایم، ولی این دوره کاملاً قراردادی است و برحسب مورد و با داشتن اطلاعات کافی می‌تواند طولانی‌تر اختیار گردد. لذا فرمول محاسبه PPR در ماه ۱ بصورت زیر خواهد بود:

$$PPR = \frac{\frac{\text{تقاضای ماههای } ۱ + ۲ + ۳}{\text{مجموع روزهای کاری ماه } ۱ + ۲ + \text{ماه } t}}{\text{تولید روزانه ماه } ۱ - t}$$

به عنوان مثال، در مهرماه خواهیم داشت:

$$PPR = \frac{\frac{\text{تقاضای ماههای آبان و آذر}}{\text{تعداد روزهای کاری ماههای آبان و آذر}}}{\frac{\text{تولید روزانه ماه شهریور}}{۲۰۴۵}} = \frac{\frac{۴۵۰۰۰ + ۵۸۰۰۰}{۲۲ + ۱۸}}{۰,۸۱} = ۰,۸۱$$

ستون‌های ۶ و ۷ - وضعیت و اقدام

وضعیت روش تعديل نیروی انسانی بعد از محاسبه CPR و PPR در شکل ۵ مشخص می‌شود. اقدام مربوط به هر وضعیت نیز در پایین شکل ۵ توضیح داده شده است.

ستون ۸ - سرعت تولید (روز / نفر - ساعت)

این ستون با توجه به ستون ۷ یعنی اقدام محاسبه می‌گردد. به عنوان مثال در آذر ماه چون وضعیت ۹ است، ستون اقدام تجویز می‌کند که سطح نیروی انسانی را به $\frac{CPR + PPR}{2}$ برسانیم. که این مقدار برابر $\frac{۱}{۲}(۱/۱۸ + ۱/۱۹) = ۱/۱۸۵$ است. تولید روزانه در این ماه باید برابر $۳۲۴۸ = ۳۲۴۸ \times ۱/۱۸۵ = ۲۷۴۱$ باشد. اما این مقدار ایجاب می‌کند که ۷۲ کارگر استخدام کنیم، از آنجاییکه در کارخانه پارچه‌بافی به علت محدودیت در آموزش فقط ۳۰ نفر می‌توانیم استخدام کنیم، پس سطح تولید روزانه اوقات معمولی در این ماه به صورت زیر خواهد بود.

$$\text{نفر} - \text{ساعت} = ۲۹۵۴ \times ۷ = (۳۹۲ + ۳۰) \times ۷$$

که این عدد در سطر سوم ستون هشتم جدول ۶ مشهود است.

ستون ۹ - کل تولید (نفر - ساعت)

$$\text{ستون ۲} \times \text{ستون ۸} = \text{ستون ۹}$$

۱۹۱ = ۴۸ - ۲۳۹ واحد محصول ارسال شده است که با مقدار پیش‌بینی ۲۰۰ واحد محصول متفاوت است. بنابراین برنامه‌ریز باید تقاضای پیش‌بینی شده را برای تعیین تعداد محصولی که باید تولید شود، استفاده کند حتی اگر تقاضای واقعی با پیش‌بینی متفاوت باشد. ستون ماقبل آخر نمایشگر I_{-1} - I^* یعنی اختلاف بین سطح موجودی مورد نظر (در ایتگا ۵۰ در نظر گرفته شده است) و موجودی واقعی است. ستون آخر نمایشگر جمع وزنی تقاضای پیش‌بینی شده سه دوره بعدی است که در روش‌های دیگر این بخش (روش تجربی) موردنیاز است.

اگر حد اضافه کاری ۱۶ ساعت در هفته تصور شود، در آن صورت ظرفیت تولید اضافه کاری همواره ۴۰٪ اوقات معمولی یعنی ۸۰ ساعت در دوره ۱ خواهد بود. برای اینکه راه حل قابل اجرا باشد، $P_{R,t}$ و $P_{0,t}$ یعنی مقادیر طرح ریزی شده برای تولید باید از ظرفیت مربوطه کوچکتر باشد. مقادیر تولید از روابط زیر حاصل می‌شوند، که در آن W_t نمایشگر سطح نیروی انسانی، P_1 حداقل ظرفیت تولید در اوقات معمولی و اضافه کاری، $P_{R,t}$ برنامه تولید اوقات معمولی و $P_{0,t}$ برنامه تولید اوقات اضافه کاری است.

$$P_1 \leq 11/2 W_t$$

$$P_{R,t} = \begin{cases} W_t & \text{اگر } W_t \leq P_1 \\ P_t & \text{در سایر موارد} \end{cases}$$

$$P_{0,t} = \begin{cases} P_t - P_{R,t} & \text{اگر } P_t - P_{R,t} \geq 0 \\ 0 & \text{در سایر موارد} \end{cases}$$

توجه داریم که حداقل ظرفیت تولید فقط از طریق افزایش باکاهش سطح نیروی انسانی قابل تغییر است. تصور کنید که تحابی هزینه فرآیند تولید روابط زیر را حاصل کرده باشد:

- ۱- هزینه نیروی انسانی تولید در اوقات معمولی یک تابع خطی با ضریب ۱۵۳ واحد پول به ازاء هر واحد محصول باشد.

- ۲- هزینه تولید در اوقات اضافه کاری ۱۹۸ واحد پول به ازاء هر واحد از ۲۰ درصد محصول مازاد بر ظرفیت اوقات معمولی تولید شده (در پنجمشنبه‌ها) و ۲۴۳ واحد پول به ازاء هر واحد محصول از ۲۰ درصد بعدی (در چهارم‌ها) است.

- ۳- سهم هر واحد محصول از مواد اولیه و هزینه ثابت، صرف نظر از نیروی انسانی از رابطه زیر بدست می‌آید.
(تعداد محصول) $150 + 50000 =$ هزینه

- ۴- هزینه نگهداری هر واحد محصول در یک دوره از رابطه زیر حاصل می‌شود.

- ۵- هزینه اخراج کارگر از رابطه زیر بدست می‌آید.

- ۶- هزینه استفاده از رابطه زیر تعیت می‌کند.

- ۷- هزینه استخدام از رابطه زیر تعیت می‌کند.

قیمت فروش هر واحد از این محصول ۵۰۰ واحد پول اختیار شده است.

جدول ۸- هزینه روش تعدیل نیروی انسانی در کارخانه پارچه‌بافی

هزینه اخراج	واحد پول فراردادی
هزینه استخدام	(نفر / ۴۰۰ واحد پول فراردادی) (۴۳ نفر)
هزینه نگهداری	۷۴۰۰۰
هزینه اضافه کاری	(نفر - ساعت / ۳ واحد پول فراردادی) (۷۵۰۵ ساعت)
جمع کل هزینه‌ها	۱۱۳۴۰
	۱۴۳۰۶۷

۹- بررسی مورد خاص دوم (کارخانه تلویزیون رنگی)

یک کارخانه تولید کننده تلویزیون رنگی در ۳۲ دوره قبلی تحت نظر مدیریت فعلی مشغول به کار بوده است. هدف ما در این بررسی استفاده از مفروضات داده شده برای دوره‌های ۱ تا ۲۴ جهت برنامه‌ریزی دوره‌های ۲۵ تا ۳۰ است. پس از آن این برنامه را با تصمیم واقعی دست‌اندرکاران در طول دوره‌های ۲۵ تا ۳۰ مقایسه نموده و نتیجه را در جدول ۹ نشان داده‌ایم. اگر مدل‌هایی که ما در این بررسی جدید ارایه می‌دهیم از نتایج کار مدیریت فعلی بهتر باشد

- هر تلویزیون رنگی یک واحد محصول ادغامی نامیده شده است.

- هر هفته به عنوان یک دوره تولید تلقی شده است.

- مقدار I^* یعنی سطح موجودی پایانی هر دوره ۵۰ واحد محصول تعیین شده است.

- هر واحد محصول احتیاج به ۵ نفر - ساعت کار انسانی دارد. بنابراین هر کارگر با ۴۰ ساعت کار در هفته می‌تواند ۸ واحد محصول در هفته تولید کند.

- ساعات کار اوقات معمولی ۸ ساعت در روز است.

- هر کارگر می‌تواند در روزهای پنجمشنبه و جمعه اضافه کاری داشته باشد و در نتیجه در این ۱۶ ساعت اضافه کاری $2/2$ واحد محصول در هفته تولید کند.

- تعداد کارگران در ابتدای دوره ۲۵ نفر بوده است که می‌تواند حداقل ۲۰۰ واحد محصول در اوقات معمولی تولید کند.

جدول ۹ مجموعه عملکرد این مدیریت را در ۳۲ دوره گذشته نشان می‌دهد. ستون F_t میان پیش‌بینی تقاضا برای ۳۲ دوره است. توجه داشته باشید که پیش‌بینی تقاضا ممکن است دقیق نباشد و با تقاضای واقعی فرق داشته باشد. این مورد در جدول ۹ مصدق دارد. ستون I_{-1} نمایشگر موجودی نگهداری شده در پایان دوره ۱ -۱ و آغاز دوره ۲ است. ستون W_t تا $P_{0,t}$ نمایشگر تصمیماتی است که توسط برنامه‌ریز تولید از طریق درک ذهنی گرفته شده است. توجه کنید که بعد از دوره ۱ موجودی انبار ۴۸ واحد محصول بود. این بدان معنی است که

واضح است که هر حل فرضی قابل اجرا، سطح نیروی انسانی و سطح تولید در هر دوره از افق برنامه‌ریزی را مشخص می‌نماید، در عوض این تصمیم بر روی استخدام، اخراج، سطح موجودی و سفارشات عقب افتاده اثر می‌گذارد که برنامه کامپیوتری آزمایش و خطا سریعاً خود برنامه و هزینه کل را محاسبه می‌نماید. اگر یک وجه خاص از هزینه در جدول هزینه خیلی زیاد باشد. برنامه‌ریزی می‌تواند سطح نیروی انسانی و سطح تولید در اوقات اضافه کاری دوره‌های مورد نظر را تنظیم نماید. اگرچه اختیار خرید از طریق قرارداد جنبی در این مسئله داده نشده است ولی در برنامه وجود آن تعییه شده است. بعد از اینکه تحلیل‌گر برنامه‌های فرضی متعددی را بوجود می‌آورد خود به خود در خواهد یافت که چگونه بهترین راه حل را جستجو کند.

یک تذکر در اینجا لازم است. روش پیشنهادی فوق در صورتی مصدق خواهد داشت که تمام تقاضاها در پایان دوره برنامه‌ریزی تأمین گردد. ولی قبول مقداری سفارشات عقب افتاده در پایان آخرین دوره منطقی است. در واقع اگر در پایان دوره تمام افزاد را بالا قاصمه اخراج کرده و چیزی تولید نکنیم، هزینه را می‌نیم ساخته‌ایم. متأسفانه با این عمل درآمد را هم به صفر رسانده‌ایم. لذا حداقل کردن هزینه هدف واقعی این مسئله نبود بلکه حداقل کردن سود نظر بگیریم. مقدار فروش و سود نیز در برنامه ملحوظ شده است. برای درک خروجی برنامه، مسئله قبلی با این برنامه اجراء گردید. شکل ۶ خروجی دو برنامه ادغامی را نشان می‌دهد. علاوه‌الای هر سنتون به صورت زیر تعریف می‌شود.

PER	دوره زمانی (ماه)
FD	تقاضای پیش‌بینی شده
CD	تقاضای تجمعی پیش‌بینی شده
RG	تعداد کارگران اوقات معمولی
OT	تعداد کارگران اوقات اضافه کاری
RGP	تولید اوقات معمولی
OTP	تولید اوقات اضافه کاری
VNP	قرارداد جنبی
CP	تولید تجمعی
INV	سطح موجودی
BKOR	مقدار سفارشات عقب افتاده
OTPC	هزینه اوقات اضافه کاری
INV/BKOC	هزینه موجودی / سفارشات عقب افتاده
VENDC	هزینه قرارداد جنبی
H/LC	هزینه استخدام اخراج
MOHC	هزینه مواد / هزینه ثابت
TC	کل هزینه
PFT	سود

جدول ۹ - عملکرد مدیریت کارخانه تولید کننده تلویزیون ونگی در ۳۲ پریود گذشته

t	F _t	I _{t-1}	W _t	P _t	P _{R,t}	P _{O,t}	I _{t-1}	$\sum_{i=0}^{t-1} \left(\frac{1}{i+1} F_{t+i} \right)$
۱	۲۰۰	۲۰	۲۵	۲۰۰	۲۰۰	۰	۲۰	۲۸۵
۲	۲۱۰	۴۸	۲۵	۲۳۰	۲۰۰	۳۰	۲	۴۳۰
۳	۲۴۰	۶۰	۲۸	۲۵۰	۲۲۴	۲۶	۱۰	۴۷۳
۴	۲۰۰	۲۷	۲۸	۲۷۰	۲۲۴	۴۶	۲۲	۴۹۲
۵	۲۵۰	۵۰	۲۸	۲۷۰	۲۲۴	۵۱	۰	۴۰۲
۶	۲۰۰	۴۹	۲۵	۲۰۰	۲۰۰	۰	۱	۳۲۰
۷	۱۶۰	۶۵	۲۲	۱۷۰	۱۷۵	۰	-۱۵	۲۶۸
۸	۱۵۰	۷۲	۲۰	۱۶۰	۱۶۰	۰	-۲۲	۲۴۰
۹	۱۰۰	۹۵	۱۸	۱۲۰	۱۲۰	۰	-۴۰	۲۱۲
۱۰	۱۲۰	۹۷	۱۸	۱۲۰	۱۲۰	۰	-۴۷	۲۶۷
۱۱	۱۶۰	۵۵	۱۸	۱۲۰	۱۲۰	۰	-۵	۳۳۲
۱۲	۲۰۰	۳۱	۲۰	۱۸۰	۱۶۰	۲۰	۱۹	۳۷۷
۱۳	۲۲۰	۴۷	۲۲	۲۰۰	۱۷۶	۲۶	۳	۴۲۲
۱۴	۲۳۰	۶۸	۲۸	۲۵۰	۲۲۴	۲۶	-۱۸	۴۷۷
۱۵	۲۶۰	۷۷	۳۰	۲۷۰	۲۴۰	۳۰	-۲۷	۵۲۵
۱۶	۲۵۰	۲۷	۳۲	۳۰۰	۲۶۶	۲۶	۲۳	۵۶۲
۱۷	۲۷۰	۵۵	۳۳	۳۰۰	۲۶۶	۲۶	-۵	۴۵۲
۱۸	۲۳۰	۶۵	۳۰	۲۴۰	۲۴۰	۰	-۱۵	۳۹۰
۱۹	۲۰۰	۱۰۲	۳۰	۲۴۰	۲۴۰	۰	-۵۲	۳۴۰
۲۰	۱۸۰	۱۰۰	۲۲	۱۷۶	۱۷۶	۰	-۵۰	۳۱۲
۲۱	۱۵۰	۱۲۹	۲۲	۱۷۶	۱۷۶	۰	-۷۶	۳۰۲
۲۲	۱۷۰	۱۳۴	۲۲	۱۷۶	۱۷۶	۰	-۸۴	۳۵۲
۲۳	۲۰۰	۱۰۸	۲۲	۱۷۶	۱۷۶	۰	-۸۸	۴۱۲
۲۴	۲۵۰	۷۰	۲۲	۱۷۶	۱۷۶	۰	-۴۰	۴۷۰
۲۵	۲۶۰	۴۹	۲۸	۲۵۴	۲۲۴	۳۰	۱	۴۹۷
۲۶	۲۷۰	۵۴	۲۰	۲۷۵	۲۴۰	۲۵	-۴	۵۶۱
۲۷	۳۰۵	۷۹	۲۵	۲۷۰	۲۸۰	۴۰	-۱۹	۵۹۳
۲۸	۳۷۰	۴۹	۴۰	۳۶۰	۳۲۰	۴۰	۱	۶۱۵
۲۹	۳۱۰	۴۹	۴۰	۳۲۰	۳۲۰	۰	۱	۵۲۲
۳۰	۲۷۰	۴۹	۲۴	۲۷۰	۲۷۰	۰	۱	۴۶۲
۳۱	۲۳۰							
۳۲	۲۳۰							

تعاریف نمادها

- F_t = forecasted demand in period t,
- I_{t-1} = actual inventory level at end of period t-1,
- W_t = work – force size in period t,
- P_t = production level in period t,
- P_{R,t} = regular – time production level in period t,
- P_{O,t} = Overtime production level in period t,
- I* = desired inventory level.

خروجی برنامه ۱ برای تقریب هزینه‌های مربوط به تصمیم‌گیری مدیریت در طول دوره‌های ۲۵ تا ۳۰ در جدول ۹ بکار رفت. این تصمیمات در بخش بعدی بحث شده و مجدداً در جدول ۱۰ آمده است.

امتحان ستون‌های INV و BKOR در شکل ۶ در برنامه ۱ پیشنهاد می‌کند که موجودی همراهه از تعداد مورد نظر ۵۰ عدد بالاتر است.

به علاوه، در برنامه ۱ استخدام و اخراج زیادی صورت پذیرفته است که در نتیجه آن ۲۷۱۹۲ واحد پول هزینه اضافه شده است. کل هزینه و سود (شامل موجودی نهایی) به ترتیب ۶۱۷۰۷۱ و ۳۱۷۹۴۹ واحد پول است. یک راه حل دیگر آن است که تغییر سطح نیروی انسانی با ملایمت بیشتری انجام شود و سطح موجودی نزدیک به ۵۰ عدد نگهداشته شود.

برنامه ادغامی ۲ در شکل ۶ این ایده را تحلیل می‌کند. در این طرح توجه کنید که هزینه استخدام و اخراج به مقدار ۱۱۰۰۰ واحد پول تقلیل یافته است ولی هزینه موجودی به مقدار قلیلی کاهش پیدا نمود، تبیجه نهایی منجر به کاهش ۱۸۸۸۳ واحد پول در هزینه و افزایش ۶۸۸۱ واحد پول سود گردید. حال به کارگیرندگان این برنامه می‌تواند به همین طریق راه حل‌های دیگری ارایه دهند تا اینکه به یک راه حل موفقی دست یابند و سپس آن را به کار گیرند.

روش هفتم - روش تجربی

در بین عبارات تعریف شده در ابتدای این فصل هزینه‌های متعددی هستند که در برنامه‌ریزی تولید ادغامی باید ملاحظه گردند. طبیعت این عوامل مدل‌سازی مسئله را پیچیده می‌سازد. معدالک بسیاری از مقالات برنامه‌ریزی تولید ادغامی در این زمینه از مدل استفاده می‌کنند.

در این قسمت می‌خواهیم مدلی را ارایه دهیم که مدیر با توصل به تجربیات تصمیم‌گیری گذشته خود به وجود می‌آورد. این روش اولین بار توسط Bowman تحت عنوان "Management Coefficient Approach" عرضه گردید. فرض این مدل بر آن است که یک مدیر با تجربه دقیقاً به عواملی که در برنامه‌ریزی تولید ادغامی مطرح هستند، عکس العمل نشان می‌دهد. چنان که تقاضای پیش‌بینی شده افزایش می‌یابد، مدیر برای تعداد کارگران بیشتر و در نتیجه تولید زیادتر برنامه می‌ریزد. اگر سطح موجودی زیاد شود، مدیر به فکر کاهش تولید می‌افتد. بر اثر این جرح و تعدیل تولید در طولی‌المدت به سوی یک راه حل "خوب" هدایت می‌شود. با این وجود، چون با این عوامل به طور تک و بر حسب روز مقابله شده است ممکن است به طور یکجا سازگار نباشد. با عنم برای دسترسی سریعتر به سازگاری عوامل موجود در برنامه‌ریزی تولید ادغامی روش تجربی را به جای مدل بهینه‌سازی پیشنهاد می‌کند.

برای ایجاد سازگاری، ابتدا باید عواملی که مدیر در برنامه‌ریزی مد نظر دارد معلوم گردد. عوامل مورد نظر هم باید کمی بوده و مقادیر مسبوق آنها نیز باید در دسترس باشد. به منظور استفاده از روش‌های آماری مثل نظریه برگشت (Regression) عوامل تصادفی باید مستقل از یکدیگر بوده و دارای توزیع نرمال باشند. این محدود شدن به عوامل کمی خود یک مسئله است. مدیر غالباً با عواملی برخورده می‌کند که به راحتی قابل اندازه‌گیری نیست. به عنوان مثال مشکلات کارگری و مشکلات تدارک مواد اولیه از این گونه عوامل هستند.

شکل ۶. یک برنامه قابل قبول برای کارخانه تولیدیون رنگی

ADDREGATE PLAN NUMBER 1												ADDREGATE PLAN NUMBER 2											
(1) PER FD	(2) CD	(3) RG	(4) OT	(5) RGP DTP	(6) VNP	(7) CP	(8) INV	(9) BKRC	(10) PER FD	(11) CD	(12) RG	(13) OT	(14) RGP DTP	(15) VNP	(16) CP	(17) INV	(18) BKRC						
1	260	260	28	10	224	30	0	64	1	260	260	26	10	208	30	0	238	48	0	0	0	0	
2	270	530	30	12	240	36	0	70	2	270	530	30	12	240	36	0	514	54	0	0	0	0	
3	305	835	33	13	280	39	0	849	3	305	835	34	13	272	39	0	825	60	0	0	0	0	
4	370	1205	40	13	320	39	0	1208	4	370	1205	38	13	304	39	0	1168	33	0	0	0	0	
5	310	1515	40	0	320	0	0	1515	5	310	1515	38	0	304	0	0	1472	27	0	0	0	0	
6	270	1785	34	0	272	0	0	1800	6	270	1785	38	0	304	0	0	1776	61	0	0	0	0	

THE FOLLOWING COST FUNCTION APPLIES TO PLAN 1
 $RGP = 0 + 153 * RGP$
 $OTPC = 0 + 221 * OTP$
 $INV = 1000 + .12 * INV + .12 * INV^{*2}$
 $BKRC = 0 + 0 * BKRC$
 $HC = 0 + 200 + H + 200 * H^{*2}$
 $LC = 0 + 710 * L + 37 * L^{*2}$
 $MONC = 5000 + 150 * (RGP+OTP)$
 $VENDC = 0 + 0 * VNP$

PROFIT AND COST ANALYSIS FOR PLAN NUMBER 1 (in \$1000's)																						
(12) PER RGP	(13) OTPC INV+BKRC	(14) VENDC	(15) MONC	(16) HC	(17) LC	(18) PFT	(19) PER RGP	(20) OTPC INV+BKRC	(21) VENDC	(22) MONC	(23) HC	(24) LC	(25) PFT									
1	34,272	6,630	0,735	0,000	8,400	43,100	93,137	36,863	1	31,824	6,630	0,710	0,000	4,000	40,700	83,864	46,116	0	0	0	0	
2	36,720	7,956	0,735	0,000	1,200	46,400	93,011	41,989	2	36,720	7,956	0,706	0,000	4,000	45,300	95,776	39,224	0	0	0	0	
3	42,840	8,619	0,787	0,000	6,000	52,850	111,096	41,404	3	41,616	8,619	0,706	0,000	4,000	51,650	106,591	45,909	0	0	0	0	
4	48,960	8,619	0,797	0,000	6,000	58,850	123,226	61,774	4	46,512	8,619	0,701	0,000	4,000	56,450	116,382	68,718	0	0	0	0	
5	48,960	0,000	0,794	0,000	53,000	102,754	52,246	51,153	5	46,512	0,000	0,748	0,000	0,000	50,660	97,860	57,140	0	0	0	0	
6	41,616	0,000	0,839	0,000	5,592	45,600	93,847	41,153	6	249,696	31,824	4,270	0,000	16,000	26,400	398,189	294,310	324,810	0	0	0	0

THE FOLLOWING COST FUNCTION APPLIES TO PLAN 2
 $RGP = 0 + 153 * RGP$
 $OTPC = 0 + 221 * OTP$
 $INV = 1000 + .12 * INV + .12 * INV^{*2}$
 $BKRC = 0 + 0 * BKRC$
 $HC = 0 + 200 + H + 200 * H^{*2}$
 $LC = 0 + 710 * L + 37 * L^{*2}$
 $MONC = 5000 + 150 * (RGP+OTP)$
 $VENDC = 0 + 0 * VNP$

PROFIT AND COST ANALYSIS FOR PLAN NUMBER 2 (in \$1000's)														
(12) PER RGP	(13) OTPC INV+BKRC	(14) VENDC	(15) MONC	(16) HC	(17) LC	(18) PFT	(19) PER RGP	(20) OTPC INV+BKRC	(21) VENDC	(22) MONC	(23) HC	(24) LC	(25) PFT	
1	31,824	6,630	0,710	0,000	4,000	40,700	83,864	46,116	0	0	0	0	0	
2	36,720	7,956	0,706	0,000	4,000	45,300	95,776	39,224	0	0	0	0	0	
3	41,616	8,619	0,706	0,000	4,000	51,650	106,591	45,909	0	0	0	0	0	
4	46,512	8,619	0,701	0,000	4,000	56,450	116,382	68,718	0	0	0	0	0	
5	46,512	0,000	0,748	0,000	0,000	50,660	97,860	57,140	0	0	0	0	0	
6	249,696	31,824	4,270	0,000	16,000	26,400	398,189	294,310	324,810	0	0	0	0	0

TOTAL PROFIT PLUS MARKET VALUE OF FINAL INVENTORY 317,925

حال مدل دوم را در نظر بگیرید که در آن سرعت تولید در دوره t تابعی از سطح نیروی انسانی در دوره t ، تغییرات موجودی از سطح تعیین شده، و تقاضای پیش‌بینی شده باشد. در این حالت اگر تصور کنید که تقاضای سه دوره قبل مورد توجه باشد تابع تعیین کننده سرعت تولید به صورت زیر خواهد بود.

$$P_t = g(W_t, I^*, I_{t-1}, D_t, D_{t+1}, D_{t+2}) \quad (3)$$

که در آن P_t سرعت تولید در پریود t است.
یکی از فرم‌های ممکن این تابع به صورت زیر است:

$$P_t = \beta_0 + \beta_1 W_t + \beta_2 (I^* - I_{t-1}) + \beta_3 \sum_{i=0}^2 \frac{1}{i+1} D_{t+i} \quad (4)$$

که در آن β ضریب مدیریت است و مانند α در معادله (۲) محاسبه می‌شود. یک سوال بسیار مهم این است که این دو مدل از کجا آمده‌اند؟ این مدل‌ها به خاطر ابتکاری بودن ساختگی هستند. برای ملاحظه شکل‌های دیگر به مقاله Gorden و Bowman مراجعه کنید و یا خودتان یک فرم دیگری بسازید. جدول عملکرد کارخانه تولید کننده تلویزیون رنگی (جدول ۹) یک مجموعه مفروضات لازم را جهت استفاده در فرمول‌های (۲) تا (۴) عرضه می‌دارد. برای راحتی ستون‌های I_{t-1} و I^* و $(\sum_{i=0}^2 \frac{1}{i+1} D_{t+i})$ در جدول داده شده است. در این مسئله فرض بر آنست که $I^* = 1$ واحد محصول است. تصور کنید که مفروضات ۲۴ دوره جهت تعیین پارامترهای α و β با روش برگشت به کار گرفته شده باشد. معادلات برگشت \hat{W}_t و \hat{P}_t و ضرایب همبستگی آن‌ها نسبت به پارامترهای مربوطه یعنی \hat{W}_{t-1} و \hat{P}_{t-1} در زیر آورده می‌شوند.

$$\hat{W}_t = 1.49 + 0.502 W_{t-1} + 0.02(I^* - I_{t-1}) + 0.049 F_t \quad (5)$$

$$\hat{P}_t = 0.9322$$

$$\hat{P}_t = -62.2 + 0.62 W_t + 0.095 \left(\sum_{i=0}^2 \frac{1}{i+1} F_{t+i} \right) \quad (6)$$

$$\hat{P}_t = 0.9757$$

جدول ۱۰ - نتایج مقایسه‌ای روش تجربی با واقعیت

t	D_t	W_t	$P_{R,t}$	$P_{o,t}$	I_{t-1}	\hat{W}_t	$\hat{P}_{R,t}$	$\hat{P}_{o,t}$	\hat{I}_{t-1}
۲۵	۲۶۰	۲۸	۲۲۴	۳۰	۴۹	۲۵	۲۰۰	۲۶	۴۹
۲۶	۲۷۰	۳۰	۲۴۰	۳۵	۵۴	۲۷	۲۱۶	۶۴	۴۹
۲۷	۲۰۵	۳۵	۲۸۰	۴۰	۶۹	۳۰	۲۴۰	۴۷	۴۹
۲۸	۲۷۰	۴۰	۲۲۰	۴۰	۴۹	۲۵	۲۸۰ ^a	۱۱۲ ^a	-۷
۲۹	۲۱۰	۴۰	۲۲۰	۰	۴۹	۳۵	۲۸۰	۷۶	۴۹
۳۰	۲۷۰	۴۴	۲۷۰	۰	۴۹	۳۲	۲۵۶	۱۸	۶۱
۳۱	۲۳۰								
۳۲	۲۲۰								

داشتن این عوامل منجر به طرح ریزی یک یا چند مدل ابتکاری می‌شود. با به کار گیری اطلاعات گذشته و روش‌های آماری هم می‌توان پارامترهای مدل و ضرایب همبستگی آن‌ها را بدست آورد. مدل‌هایی که از ضریب همبستگی بزرگتری استفاده می‌کنند دارای اعتبار بالاتری هستند. اگر ضرایب همبستگی زیاد باشد مدیر و مدل با هم در توافق بیشتری خواهند بود و مدیر بسیاری از نتایج را از قبل می‌تواند پیش‌بینی کند. اگر ضرایب همبستگی کوچک باشد، باید در نظر داشت که عوامل دیگری مطرح‌اند و مدل آن‌ها را بحساب نیاورده است. انتظار ما از مدل این است که آینده را به نحو مطلوب‌تری پیش‌بینی کند. برای انجام این منظور بهتر آنست که مدل مستقل از تصمیمات مدیر و به موازات آن برنامه تولیدی آینده را طرح ریزی کند. این عمل باید برای ۶ ماه تا یک‌سال امتحان شود. پس از آن یک برسی هزینه بین تصمیمات مدیر و مدل صورت پذیرد. مسلم است که مدیر هر کدام از آن‌ها که بهتر بود براي ادامه کار می‌پذیرد.

برای درک بیشتر این روش اجازه بدهید که به مثال زیر متولّش شویم. تصور کنید که از سیاست مدیریت در حال حاضر دریافت به اشیم که دو تصمیم در هر ماه گرفته می‌شود. یک تصمیم سطح نیروی انسانی را مشخص می‌کند و دیگری مقدار محصولی را که باید تولید شود معلوم من نماید. عوامل مورد نظر سطح نیروی انسانی در ماه قبل، تعديل سطح موجودی به حدود ذخیره احتیاطی از قبل تعیین شده و پیش‌بینی تقاضا برای ماه آینده باشد. این تحلیل دو مدل را پیشنهاد می‌کند: مدل تعیین کننده سطح نیروی انسانی و مدل تعیین کننده سطح تولید.

ابتدا مدل تعیین کننده سطح نیروی انسانی را در نظر بگیرید که تابعی از تقاضا، عدم تعادل موجودی، و سطح نیروی انسانی دوره قبل به صورت زیر تصور می‌گردد:

$$W_t = f(D_t, I^*, I_{t-1}, W_{t-1}) \quad (1)$$

که در آن :

W_t : سطح نیروی انسانی در دوره t .

$D_t = F_t$: تقاضای پیش‌بینی شده در دوره t .

I^* : سطح موجودی مورد نظر.

I_{t-1} : موجودی واقعی در پایان دوره t .

یک فرم این تابع که توسط Bowman پیشنهاد شده به صورت زیر است.

$$W_t = \alpha_0 + \alpha_1 W_{t-1} + \alpha_2 [I^* - I_{t-1}] + \alpha_3 F_t \quad (2)$$

که در آن α ضرایب مدیریتی است که باید تعیین شوند.

ضریب α_1 نهایشگر آنست که چه مقدار از تغییرات سطح نیروی انسانی در گذشته توسط سطح نیروی انسانی دوره قبل قابل توجیه است. به عبارت دیگر α_1 نشان می‌دهد که مدیر برای تصمیم‌گیری در تعیین سطح نیروی انسانی در دوره فعلی سطح نیروی انسانی دوره قبل را در نظر می‌گیرد. به همین ترتیب α_2 میان سهم تغییر سطح موجودی از سطح مورد نظر در تصمیم‌گیری است. بالاخره α_3 شاخص سهم تقاضا در تعیین نیروی انسانی است. پارامتر α توسط مدل برگشت به عنوان نقطه آغازی تعیین می‌شود.

روش هشتم - برنامه‌ریزی پارامتری

در این قسمت می‌خواهیم یک روش مکافهه‌ای (ابتكاری) دیگری ارایه دهیم که در آن هیچ گونه محدودیتی بر روی تابع هزینه قائل نیست. این مدل کلی تحت عنوان " برنامه‌ریزی پارامتری در برنامه‌ریزی تولید " نام دارد. این مدل از روش تجسس به کمک کامپیوتر استفاده می‌کند و در نتیجه ممکن است حل بهینه را به دست نیاورد. همانند روش تجربی دو تابع برای محاسبه سطح نیروی انسانی و سرعت تولید برحسب چهار پارامتر در این روش محاسبه می‌گردد. به هر یک از چهار پارامتر می‌تواند مقادیری بین صفر و یک اختصاص یابد. ایده اصلی این روش بر آن است که مقادیر مختلفی را به پارامترها نسبت دهد و هر بار یک تضمینی را بدست آورد. سپس براساس تضمین‌های بدست آمده و تابع هزینه، کل هزینه تضمین‌گیری مربوطه را نیز یادداشت نماید. در پیان با مقایسه هزینه‌ها بهترین تضمین استخراج شده را انتخاب نماید. لذا در این روش چون این امکان وجود ندارد که تمام مقادیر ممکن پارامترها را تست نمود، پس تضمین اتخاذ شده لزوماً بهینه نخواهد بود. ولی باید در نظر داشت که حل بدست آمده در این روش خیلی از حل بهینه دور نخواهد بود. خصوصاً اینکه اگر تابع هزینه دارای مبنی‌مطلق باشد، حل این روش بسیار قابل اعتماد هم خواهد بود.

همان طوری که قبل از اشاره گردید در این روش باید تابعی برای عوامل: سطح نیروی انسانی، سطح تولید و هزینه واقعی بدست آورد. ابتدا تابع تعیین کننده سطح نیروی انسانی را در نظر بگیرید. اصولاً در این مورد انتظار منطقی ما بر این است که سطح نیروی انسانی دوره t برابر سطح نیروی انسانی پایان دوره قبل بعلاوه نسبتی از تغییرات سطح نیروی انسانی ایده‌آل و دوره قبل باشد. یعنی

$$W_t = W_{t-1} + A(W^* - W_{t-1}) \quad (7)$$

که در آن:

$$W_t = \text{سطح نیروی انسانی دوره } t$$

$$W^* = \text{سطح نیروی انسانی ایده‌آل}$$

$$A = \text{پارامتری است که باید مقدار آن معلوم شود (} ۰ \leq A \leq ۱ \text{).}$$

حال سؤال در این است که سطح نیروی انسانی ایده‌آل چگونه باید محاسبه گردد؟ اگر تقاضای پیش‌بینی شده برای دوره بعدی D_t باشد و برای تولید هر واحد محصول نیز K ساعت نیروی انسانی از اوقات معمولی وقت لازم باشد، در آن صورت سطح نیروی انسانی مورد نیاز جهت برآوردن این تقاضا KD_t خواهد بود. حالت منطقی تر این خواهد بود که تقاضای N دوره را در نظر بگیریم. پس سطح نیروی انسانی ایده‌آل از رابطه زیر بدست خواهد آمد.

$$W^* = \sum_{n=1}^N b_n KD_{t+n-1} \quad (8)$$

که در آن:

$$b_n = \text{ضریب وزنی دوره } n$$

$$K = \text{سطح نیروی انسانی استاندارد مورد نیاز جهت تولید هر واحد محصول}$$

$$D_t = F_t = \text{تقاضای پیش‌بینی شده دوره } t$$

$$N = \text{افق برنامه‌ریزی}$$

این ضرایب همبستگی اعداد بزرگی هستند. حال سؤال در این است که این مدل چقدر با آینده در تطبیق است؟ جدول ۱۰ یک مجموعه اعداد مقایسه‌ای را نشان می‌دهد. در جدول اعداد واقعی که توسط مدیر اعمال شده با \hat{W}_t ، $P_{R,t}$ نشان داده شده است. اعدادی که توسط مدل پیش‌بینی شده با \hat{W}_t و $\hat{P}_{R,t}$ نشان داده شده است. با استفاده از تابع هزینه، مقایسه‌ای بین تضمین مدیریت و نتایج مدل تجربی پیشنهادی که در جدول ۱۰ ارایه شده انجام پذیرفته است. مقایسه دو طرح در جدول ۱۱ آمده است. توجه کنید که مدل منجر به هزینه کل ۵۷۵۲۲۳ واحد پول در شش دوره شده است. این رقم معادل ۳۷۸۳۶ واحد پول یعنی ۶۱۶ درصد صرفه‌جویی در هزینه واقعی است. بنابراین سازگاری حاصل از مدل منجر به چنین صرفه‌جویی بارزی شده است.

روش تجربی در عین ساده بودن دارای محدودیت‌های زیادی است. یکی از نکات قابل ذکر این است که این روش فقط عواملی را در نظر می‌گیرد که در زمان جمع‌آوری اطلاعات به نظر مهم رسیده‌اند، حال اگر موقیت عرض شود تکلیف چیست؟ به عنوان مثال تصور کنید که به سبب تغییر شرایط اقتصادی محدودیت نیروی انسانی باید مد نظر قرار گیرد و یا اینکه یک قرارداد جدید تسبیت هزینه نیروی انسانی به موجودی را عوض نماید. در چنین مواقعی به علت اینکه مدیران از مدل استفاده می‌کنند و درک ذهنی خود را نمی‌توانند اعمال نمایند، مدل برای انعکاس شرایط جدید قابل تغییر نیست. بنابراین مفروضاتی هم جهت تعیین ضرایب جدید موجود نخواهد بود.

بنابراین با توجه به این محدودیت‌ها، از روش تجربی نایاب کورکرانه استفاده کرد. شاید عاقلانه تر باشد که از این روش به عنوان یک گزینه در فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت استفاده شود. در چنین مواقعی در عین حال که مدل برای ایجاد سازگاری درگیر است مدیر برای فرموله کردن برنامه ادغامی خود دامنه وسیع‌تری را مورد نظر قرار می‌دهد.

جدول ۱۱ - مقایسه هزینه روش تجربی و عملکرد واقعی مدیریت

Period t	هزینه‌های عملکرد واقعی مدیریت				هزینه‌های روش تجربی				Total Cost	
	C_{labor}	C_{matls}	C_{Inv}	$\hat{C}_{\text{hire}}_{\text{layoff}}$	\hat{C}_{labor}	\hat{C}_{matls}	\hat{C}_{Inv}	$\hat{C}_{\text{hire}}_{\text{layoff}}$		
۱	۴۰,۲۱۲	۴۳,۱۰۰	۷۰۰	۸۴۰۰	۹۲,۴۱۲	۳۶,۱۴۴	۳۹,۲۰۰	۷۰۰	۷۴۰۰	۷۸,۴۴۴
۲	۴۲,۶۵۰	۴۶,۲۵۰	۷۰۲	۱۲۰۰	۹۱,۸۰۲	۴۰,۳۷۴	۴۲,۹۵۰	۷۶۹	۱۲۰۰	۸۵,۲۹۳
۳	۵۰,۷۶۰	۵۳,۰۰۰	۷۴۳	۶۰۰۰	۱۰۱,۵۰۳	۴۶,۸۲۸	۴۷,۹۰۰	۷۰۲	۷۴۰۰	۹۶,۸۴۰
۴	۵۶,۸۸۰	۵۹,۰۰۰	۷۰۰	۶۰۰۰	۱۲۲,۵۸۰	۵۲,۷۳۰	۵۵,۲۵۰	۰	۶۰۰۰	۱۱۶,۹۸۰
۵	۴۸,۶۹۰	۵۳,۰۰۰	۷۰۰	۰	۱۰۲,۶۶۰	۵۲,۹۳۸	۵۶,۷۵۰	۷۷۵	۰	۱۰۴,۳۶۳
۶	۴۱,۳۱۰	۴۵,۵۰۰	۷۰۰	۵۵۹۲	۹۲,۱۰۲	۴۲,۲۲۶	۴۸,۸۰۰	۷۱۴	۲۴۶۳	۹۱,۳۱۳
		Totals		۶۱۲,۰۸۹				۵۷۵,۲۲۴		

مضافاً بر اینکه یک مقدار تنظیمی نیز باید برای عدم تعادل موجودی در نظر بگیریم، پس دستورالعمل تولید به صورت زیر خواهد بود.

$$P_t = \frac{W_t}{K} + C \left[\sum_{n=1}^N \left(\frac{D^n F_{t+n-1}}{\sum_{n=1}^N D^n} \right) - \frac{W_{t-1}}{K} + \frac{D(I^* - I_{t-1})}{\sum_{n=1}^N D^n} \right] \quad (13)$$

باید توجه داشته باشیم که معادله (11) قبل از معادله (13) باید برای تعیین W_t حل گردد. با استفاده از مقادیر داده شده D_1, D_2, \dots, D_N و همچنین مقادیر A, B, C و D ابتدا مقدار W_1 و سپس P_1 معلوم می‌شود. با تعیین P_1 و I^* و تقاضاهای واقعی دوره ۱، برنامه کامپیوتری می‌تواند I_1 را محاسبه کند. پس از آن کامپیوتر D_1 را حذف و D_{n+1} را اضافه می‌کند و مقادیر W_2, P_2 و I_2 را محاسبه می‌کند. با تکرار این عمل برنامه تولیدی بصورت W_1, W_2, P_1, W_2, P_2 و I_2 را عرضه می‌کردد.

از مزیت‌های مهم این روش آنست که محدودیتی برای شکل تابع هزینه وجود ندارد لذا برای مقادیر مختلف انتخابی از A, B, C و D کل هزینه برای توابع واقعی هزینه محاسبه گردد.

مثال عددی (کارخانه تلویزیون رنگی)

برای درک بیشتر روش پارامتری و مقایسه آن با روش‌های قبلی، اجازه بدھید که مسئله مثال ۲ را با استفاده از روش برنامه‌ریزی تولید پارامتری حل کنیم. مدل هزینه قبلاً در مثال ۲ داده شده است که شامل ۶ معادله است. توجه این روش در جدول ۱۲ ارایه گردیده است. برای اینکه با مثال ۲ همانگی داشته باشیم دوره برنامه‌ریزی N برابر ۳ و $K = 1$ ، $I_1 = ۷۰$ و $I_2 = ۲۲$ فرض شده است. هر کدام از پارامترها مقادیر بین صفر و یک را با فاصله سواری $۱/۱۲۵$ واحد می‌نمایند. می‌نیم هزینه این روش برای مفروضات ۲۴ هفتگی داده شده در دوره ۱، $A = ۱$ ، $B = ۱/۱۲۵$ ، $C = ۰/۶۲۵$ و $D = ۰/۸۷۵$ بدست آمد. کل هزینه با این پارامترها ۱۴۴۶۶۴ واحد پول قراردادی است. این نتایج که در جدول ۱۲ نشان داده شده است منجر به دستورالعمل تولیدی زیر گردید.

$$W_t = W_{t-1} + ۰/۱۲۵[۰/۰۴(F_t + F_{t+1} + F_{t+2}) - W_{t-1} + ۰/۰۴(۵۰ - I_{t-1})] \quad (14)$$

$$P_t = ۸W_t + ۰/۶۲۵[۰/۳۷۸F_t + ۰/۳۳F_{t+1} + ۰/۲۸F_{t+2} - ۸W_t + ۰/۳۷۸(۵۰ - I_{t-1})] \quad (15)$$

دستورالعمل بدست آمده برای مفروضات تستی داده شده در جدول ۱۳ امتحان گردید. برنامه تولیدی آن نیز در این جدول آمده است. هزینه این برنامه تولیدی ۵۳۳۵۲۷ واحد پول قراردادی است که از روش اعمال شده مدیریت با هزینه ۱۳۰۵۸ واحد پول قراردادی بهتر است ولی از روش تجربی با هزینه ۵۷۵۲۳ واحد پول قراردادی بهتر نیست، زیرا سود حاصل از روش برنامه‌ریزی پارامتری از سود روش تجربی کمتر است.

آقای Jones بنیان‌گذار این روش مدل زیر را جهت تعیین ضرایب وزنی پیشنهاد می‌دهد.

$$b_n = \frac{B^n}{\sum_{n=1}^N B^n} \quad (9)$$

که در آن B پارامتر وزنی تقاضاهای آینده است که باید تعیین گردد ($1 \leq B \leq ۰$). مضافاً براینکه یک مقدار تنظیمی نیز باید برای پراکنده I_1 موجودی فعلی I_1 و موجودی آینده I^* در نظر گرفت. Jones پیشنهاد می‌کند که ضریب وزنی این مقدار تنظیمی پارامتر b_1 باشد. پس

$$I^* - I_{t-1} = b_1 K(I^* - I_{t-1}) \quad (10)$$

که در آن :

I^* = سطح موجودی مورد نظر

I_{t-1} = موجودی واقعی در پایان دوره ۱

بنابراین دستورالعمل نهایی جهت محاسبه سطح نیروی انسانی شکل زیر خواهد بود.

$$W_t = W_{t-1} + A \left[\sum_{n=1}^N \left(\frac{B^n K D_{t+n-1}}{\sum_{n=1}^N B^n} \right) - W_{t-1} + \frac{BK(I^* - I_{t-1})}{\sum_{n=1}^N B^n} \right] \quad (11)$$

دستورالعمل تعیین سطح تولید نیز بسیار شبیه دستورالعمل سطح نیروی انسانی است. اساساً، این دستورالعمل عبارت از تولید در مراکزیم توان اوقات معمولی با تعداد نیروی انسانی W_t بعلاوه یک نسبتی از اختلاف این مقدار و سرعت تولید آیده‌آل است. پس

$$P_t = \frac{W_t}{K} + C(P_t^* - \frac{W_t}{K}) \quad (12)$$

که در آن :

P_t = سرعت تولید در دوره ۱

W_t = سطح نیروی انسانی تعیین شده توسط رابطه (11)

P_t^* = سرعت تولیدی که تقاضاهای آینده را برآورده سازد.

K = نفر - ساعت مورد نیاز جهت تولید هر واحد محصول

C = پارامتر وزنی که باید تعیین گردد ($1 \leq C \leq ۰$).

همانند قبل، سطح تولید مورد نظر عبارت از جمع وزنی تقاضاهای پیش‌بینی شده N دوره آینده است که ضریب وزنی آن‌ها از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$d_n = \frac{D^n}{\sum_{n=1}^N D^n}$$

تمرین‌های فصل دوم

۱ - جدول زیر میزان تقاضای یک دوربین پر مشتری (قیمت مناسب برای خانواده‌ها) را همراه با ذخیره احتیاطی و تعداد روزهای کاری را نشان می‌دهد. یک نمودار تقاضای تجمعی و ماکریسم تقاضای تجمعی (تقاضای تجمعی بعلاوه ذخیره احتیاطی) در سال به شرح زیر رسم کنید. محور X آنرا تعداد روزهای کار تجمعی و محور Y آنرا تقاضای تجمعی را برای هر واحد نشان می‌دهد. آیا از این شکل می‌توانید یک برنامه تولیدی با میزان مزجردی کم ارایه دهید.

ماه	تقاضا	روزهای کاری	ذخیره احتیاطی
فروردین	۳۰۰۰	۶۰۰	۲۲
اردیبهشت	۲۵۰۰	۵۰۰	۱۸
خرداد	۴۰۰۰	۸۰۰	۲۲
تیر	۶۰۰۰	۱۲۰۰	۲۱
مرداد	۸۰۰۰	۱۶۰۰	۲۲
شهریور	۱۲۰۰۰	۲۴۰۰	۲۱
مهر	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰	۲۱
آبان	۱۲۰۰۰	۲۴۰۰	۱۳
آذر	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰
دی	۸۰۰۰	۱۶۰۰	۲۳
بهمن	۴۰۰۰	۸۰۰	۲۱
اسفند	۳۰۰۰	۶۰۰	۲۰
	۸۷۵۰۰	۱۷۵۰۰	۲۴۴

۲ - تمرین ۱ را با استفاده از روش‌های ثبت سرعت تولید، و ارضاء تقاضا و اطلاعات زیر حل کنید.
 الف) ظرفیت اوقات معمولی کارخانه ۴۰۰ واحد محصول در روز است.

ب) با اضافه کاری می‌توان ۲۰ درصد به تولید کارخانه افزود.

ج) هزینه اضافی تولید هر واحد محصول از طریق اضافه کاری ۱۰ واحد پول قراردادی است.

د) هزینه نگهداری هر دوربین در سال ۳۰ واحد پول قراردادی است.

ه) هزینه تغییر سطح تولید ۵۰۰۰ واحد پول قراردادی برای هر ۱۰ واحد محصول است.

ر) جبران تقاضا از بازار آزاد با هزینه اضافی ۱۵ واحد پول قراردادی برای هر دوربین میسر است.

ز) موجودی آغازی ۶۰۰ دوربین است.

۳ - در تمرین ۲ با استفاده از روش آزمایش و خطاب مطابق است:

الف) تعیین هزینه نگهداری که به ازاء آن در روش ثبت سرعت تولید و ارضاء تقاضا یکسان شوند (از نظر هزینه کل).

جدول ۱۲ - نتایج روش پارامتری

For HISTORICAL DATA, MIN COST = 1642662 MAX PROFIT = 866336.4							
JONES MODEL		A = .125	B = 1	C = .625	D = 0.875	*\$ 1000	
PER	WORK FORCE	PRODUCTION	HIRE COST	LAYOFF COST	INVENT COST	MATLS COST	LABOR COST
1	29	249	400	0	831	42350	36542
2	30	276	400	0	883	46405	41448
3	31	289	400	0	763	48350	43582
4	32	291	400	0	1076	48650	43538
5	33	283	400	0	1527	47450	41514
6	33	272	0	0	1437	45300	39330

MAX PROFIT = \$ 296473 AND MIN COST = \$ 533527

جدول ۱۳ - مفروضات برای تست روش پارامتری

t	F _t	F _{t+1}	F _{t+2}	I _{t-1}	W _t	P _t	P _{R,t}	P _{o,t}
۱	۲۶۰	۲۷۰	۳۰۵	۴۹	۲۹	۲۴۹	۲۳۲	۱۷
۲	۲۷۰	۳۰۵	۳۷۰	۳۹	۳۰	۲۷۶	۲۴۰	۳۶
۳	۳۰۵	۳۷۰	۳۱۰	۴۵	۳۱	۲۸۹	۲۴۸	۴۱
۴	۳۷۰	۳۱۰	۲۷۰	۲۹	۳۲	۲۹۱	۲۵۶	۲۵
۵	۳۱۰	۲۷۰	۲۳۰	-۵۰	۳۳	۲۸۳	۲۶۴	۱۹
۶	۲۷۰	۲۳۰	۲۳۰	-۷۵	۳۲	۲۷۲	۲۶۴	۸

نتیجه

همان طوری که در ابتدای این فصل نیز بیان داشتیم ۸ روش ارایه شده در این فصل راه حل‌های منطقی غیربهینه هستند که هر یک به توجه خود دارای نقاط قوت و ضعفی می‌باشند. مدل‌های مکائش‌های در عین حال که ساده و برآختی قابل حل هستند ولی تعیین یک راه حل برای تمام حالات بسیار غیراستادانه است. زیرا یک راه حل ممکن است برای یک مورد بسیار بجا و نزدیک به بهینه باشد ولی برای موردی دیگر فوق العاده از حل بهینه دور باشد. به عنوان مثال روش برآورده نمودن تقاضا برای کارخانجاتی که به کارگران فصلی دسترسی دارند روش معقولی تشخیص داده شده است ولی برای کارخانه پارچه بافی مورد تحمل ما بدبختی روش شناخته شد. خوشبختانه چون برنامه تولید ادغامی با پیش‌بینی تقاضا انجام می‌شود، لذا آزمایش ۸ روش مکائش‌های پیشگفته و مقایسه آن‌ها نتیجه جالبی را در برخواهد داشت. خصوصاً روش‌های تبدیل نیروی انسانی و همچنین روش برنامه‌ریزی پارامتری چون با تعداد پارامترهای زیادی سر و کار دارد لذا با استفاده از روش سعی و خطاب در این پارامتر می‌توان حالات مختلفی را شبیه‌سازی نمود و در نهایت بهترین برنامه تولید ادغامی را عرضه داشت.

از ۱۷۲ اینین تا ۱۸۲ اینین روز کاری ۳۵۰ واحد محصول در روز تولید کند.
 از ۱۸۳ اینین تا ۲۲۶ اینین روز کاری ۲۳۰ واحد محصول در روز تولید کند (۱۲۰ نفر اخراج کند).
 از ۲۲۷ اینین تا ۲۴۴ اینین روز کاری ۲۵۳ واحد محصول در روز تولید کند (۲۳ نفر از طریق اضافه کاری تولید کند).
 روش (ج) از اولین روز کاری تا ۸۴ اینین روز کاری ۲۵۰ واحد محصول در روز تولید کند.
 از ۸۵ اینین تا ۱۲۸ اینین روز کاری ۳۵۰ واحد محصول در روز تولید کند (۱۰۰ نفر کارگر استخدام کند).
 از ۱۲۹ اینین تا ۱۴۸ اینین روز کاری ۴۱۰ واحد محصول در روز تولید کند. (۶ واحد محصول در روز از طریق اضافه کاری تولید کند، ۱۷۰۰ واحد محصول از بازار آزاد خریداری شود).
 از ۱۴۹ اینین تا ۱۷۱ اینین روز کاری ۳۷۰ واحد محصول در روز تولید کند (۰ واحد محصول در روز از طریق اضافه کاری تولید کند).
 از ۱۷۲ اینین تا ۱۸۲ اینین روز کاری ۴۱۰ واحد محصول در روز تولید کند (۶ واحد محصول در روز از طریق اضافه کاری تولید کند، ۱۳۸۰ واحد محصول از بازار آزاد بخرد).
 از ۱۸۳ اینین تا ۲۰۴ اینین روز کاری ۲۷۳ واحد محصول در روز تولید کند (۲۳ واحد محصول در روز از طریق اضافه کاری تولید کند، ۱۰۰ نفر را اخراج نماید).
 از ۲۰۵ اینین تا ۲۴۴ اینین روز کاری ۲۵۰ واحد محصول در روز تولید کند.

۵ - با حل تعریف ۴ در خواهید یافت که هزینه‌های سه برنامه تولیدی الف و ب و ج در حالت نزولی است. آیا می‌توانید با استفاده از روش آزمایش و خطایک برنامه تولیدی بهتر از سه برنامه الف و ب و ج ارایه دهید؟ آیا می‌توانید خواسته فوق را با استفاده از روش تعدیل سطح نیروی انسانی با $N = 2$ = انجام دهید؟
 ۶ - پیش‌بینی تقاضای ماهیانه سه محصول A و B و C و تعداد روزهای کاری اوقات معمولی و اضافه کاری مطابق جدول زیر در دست است.

پریود	پیش‌بینی تقاضا			روزهای کاری	
	A محصول	B محصول	C محصول	اوقات اضافه کاری	اوقات معمولی
۱	۵۰	۵۰	۱۲۰	۲۲	۳
۲	۶۰	۶۰	۱۵۵	۱۸	۳
۳	۵۵	۷۰	۱۶۵	۲۳	۳
۴	۵۵	۶۵	۲۰۰	۲۱	۳
۵	۵۰	۵۵	۶۵	۲۲	۴
۶	۴۵	۸۰	۵۰	۲۱	۳
۷	۴۰	۲۵۰	۴۰	۲۰	۳
۸	۷۰	۲۵۰	۴۰	۲۰	۳
۹	۹۵	۱۱۰	۴۵	۲۲	۴
۱۰	۲۶۰	۱۰۰	۶۰	۲۲	۴
۱۱	۲۴۰	۸۰	۱۴۰	۲۱	۳
۱۲	۲۱۰	۶۰	۱۵۰	۲۰	۲

- ب) چه هزینه استخدام و اخراجی هزینه دو روش را یکسان می‌کند؟
 ج) چه هزینه قرارداد جنبی هزینه دو روش را مساوی می‌کند؟
 ۴ - یک مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی با اطلاعات زیر را در نظر بگیرید.
 الف) ظرفیت اوقات معمولی کارخانه ۳۵۰ واحد محصول در روز است.
 ب) ماکریزم ظرفیت کارخانه با در نظر گرفتن اضافه کاری ۴۱۰ واحد محصول در روز است.
 ج) هزینه اضافی تولید هر واحد محصول در اوقات اضافه کاری ۱۰ واحد پول قراردادی است.
 د) هزینه نگهداری هر واحد محصول ۵۰ واحد پول قراردادی در سال است. هزینه کسری هر واحد کالا ۲۵ واحد پول قراردادی است.
 ه) هزینه استخدام و اخراج هر کارگر ۲۰۰ واحد پول قراردادی است.
 و) هر کارگر می‌تواند فقط یک واحد محصول در روز تولید کند.
 ز) هزینه اضافی تهیه هر واحد کالا از بازار آزاد ۱۵ واحد پول قراردادی است.
 ح) تعداد روزهای کاری، تقاضای پیش‌بینی شده و موجودی احتیاطی این کارخانه در یکسال آینده در جدول زیر داده شده است.

ماه	تعداد روزهای کاری	تقاضای پیش‌بینی شده (واحد محصول)	ذخیره احتیاطی (واحد محصول)
فوریه	۲۲	۵۰۰۰	۲۸۰۰
اردیبهشت	۲۰	۴۰۰۰	۲۵۰۰
خرداد	۲۳	۴۰۰۰	۲۵۰۰
تیر	۱۹	۵۰۰۰	۲۸۰۰
مرداد	۲۲	۷۰۰۰	۳۲۰۰
شهریور	۲۲	۹۰۰۰	۳۵۰۰
مهر	۲۰	۱۱۰۰۰	۴۱۰۰
آبان	۲۳	۹۰۰۰	۳۵۰۰
آذر	۱۱	۶۵۰۰	۳۰۰۰
دی	۲۲	۶۰۰۰	۳۰۰۰
بهمن	۲۲	۵۰۰۰	۲۷۰۰
اسفند	۱۸	۵۰۰۰	۲۸۰۰

مطلوبست تعیین هزینه کل هر یک از روش‌های تولید زیر:
 روش (الف) تولید ۳۱۴ واحد محصول در هر روز
 روش (ب) از اولین روز کاری تا ۶۵ اینین روز کاری ۲۳۰ واحد محصول در روز تولید کند. از ۶۶ اینین تا ۱۷۱ اینین روز کاری ۴۰۶ واحد محصول در روز تولید کند. (۱۲۰ کارگر استخدام کند و ۵۶ واحد محصول در روز از طریق اضافه کاری تولید کند)

- در ماه است.
- (الف) با فرض اینکه موجودی آغازی صفر و تعداد کارگران در اول فروردین 24 نفر باشد مسئله را با استفاده از روش‌های ثبت سرعت تولید، ارضاء تقاضا و تعديل سطح نیروی انسانی با $2 = N$ حل کنید و نتیجه را تحلیل کنید.
- (ب) آیا تحلیل قسمت (الف) شما را به یک روش آزمایش و خطأ هدایت نمی‌کند؟ اگر چنین است یک برنامه تولیدی بهتر از سه روش مکاشفه‌ای قسمت (الف) ارایه دهد.
- (ج) اگر هزینه هر تغییر در سرعت تولید (افزایش یا کاهش) 3000 واحد پول قراردادی علاوه بر هزینه استخدام و یا اخراج باشد، قسمت‌های الف و ب را دوباره با این تغییر حل کنید.
- ۸ - جدول 6 در متن درس که در رابطه با محاسبات روش تعديل نیروی انسانی در کارخانه پارچه‌بافی است با $\alpha = 0.05$ محاسبه گردیده است. این جدول را برای $0.05 = \alpha$ تصحیح کنید.
- ۹ - عواملی که به توسط برنامه ادغامی جهت تأمین اهداف مدیریت قبل تغییر هستند را لیست کنید. با مدیرکنترل تولید کارخانه‌ای در نزدیک محله خود تماس برقرار کنید و در مورد امکان به کارگری این عوامل و هزینه‌های منتج از آن بحث کنید.
- ۱۰ - تصویر کنید که از شما خواسته باشدند که یک سیستم برنامه ادغامی بوجود آورید و شما بخواهید که از روش‌های ارایه شده در این کتاب راه حلی را انتخاب کنید. تحلیلی را که برای انتخاب روش بخواهید گزید شرح دهید.
- ۱۱ - نقاط قوت و ضعف روش‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی ثبت سرعت تولید، ارضاء تقاضا، تعديل سطح نیروی انسانی، تجربی و پارامتری را برشاراید. یک خلاصه روش سه تا چهار صفحه‌ای آن چنان بنویسید که مدیریت عالی یک شرکت مجازی را به کاربرد این روش‌ها ترغیب نماید.
- ۱۲ - با استفاده از روش جدول‌بندی به صورت دستی یا برنامه کامپیوتری یک برنامه تولید ادغامی جهت محصول A در جدول زیر و سایر اطلاعات داده شده به دست آورید. سعی کنید به سودی بالاتر از سودی که همکلاسی‌های شما به دست آورده‌اند، دست یابید.
- | افق پیش‌بینی شده | ۱۲ ماه | ۲۰ واحد محصول | سرعت تولید اوقات معمولی | ۱ واحد اوقات اضافه کاری | هزینه تولید اوقات معمولی | هزینه تولید اوقات اضافه کاری | هزینه نگهداری | هزینه کسری | هزینه استخدام کارگر جدید | هزینه اخراج هر کارگر | هزینه مواد و راهاندازی | درآمد حاصل از فروش هر واحد محصول | (الف) با استفاده از روش‌های ثبت سرعت تولید، ارضاء تقاضا و تعديل نیروی انسانی با $2 = N$ یک برنامه تولیدی خوب برای محصول A بدست آورید و علت اختلاف روش‌های فوق را مورد بررسی و تحلیل قرار دهید. | |
|------------------|--------|---------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------|------------|--------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|--|--|
| افق پیش‌بینی شده | ۱۲ ماه | ۲۰ واحد محصول | سرعت تولید اوقات معمولی | ۱ واحد اوقات اضافه کاری | هزینه تولید اوقات معمولی | هزینه تولید اوقات اضافه کاری | هزینه نگهداری | هزینه کسری | هزینه استخدام کارگر جدید | هزینه اخراج هر کارگر | هزینه مواد و راهاندازی | درآمد حاصل از فروش هر واحد محصول | (الف) با استفاده از روش‌های ثبت سرعت تولید، ارضاء تقاضا و تعديل نیروی انسانی با $2 = N$ یک برنامه تولیدی خوب برای محصول A بدست آورید و علت اختلاف روش‌های فوق را مورد بررسی و تحلیل قرار دهید. | |
| | | | | | | | | | | | | | | (ب) قسمت (الف) را برای محصول B تکرار کنید. |
| | | | | | | | | | | | | | | (ج) قسمت (الف) را برای محصول C تکرار کنید. |
- ۷ - یک کارخانه تقاضای محصول خود را در سال آینده به صورت زیر پیش‌بینی کرده است:
- | شهریور | ۶۷۵ | اسفند | ۵۰۰ | مهر | ۴۰۰ | فروردین | ۵۸۰ | | | | | |
|--------|-----|-------|-----|-----|-----|---------|-----|----------|-----|-------|-----|--|
| شهریور | ۶۷۵ | اسفند | ۵۰۰ | مهر | ۴۰۰ | فروردین | ۵۸۰ | | | | | |
| | | | | | | | | اردیبهشت | ۵۱۰ | آبان | ۶۰۰ | |
| | | | | | | | | خرداد | ۴۰۰ | آذر | ۳۰۰ | |
| | | | | | | | | تیر | ۴۰۵ | دی | ۲۸۰ | |
| | | | | | | | | مرداد | ۴۶۰ | بهمن | ۴۴۰ | |
| | | | | | | | | شهریور | ۶۷۵ | اسفند | ۵۰۰ | |

سایر اطلاعات این مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی بصورت زیر است:
طول دوره برنامه‌ریزی 12 ماه
موجودی آغازی 20 واحد محصول
سطح نیروی انسان اولیه 20 نفر
حداکثر تعداد نیروی انسانی 40 نفر
سرعت تولید اوقات معمولی 3 واحد محصول توسط هر نفر در ماه
۱ واحد محصول توسط هر نفر در ماه
$1 = \frac{1}{3}$ واحد پول قراردادی
$800 = \frac{1}{3} \times 2400$ واحد پول قراردادی
$25 = \frac{1}{3} \times 75$ واحد پول قراردادی
$100 = \frac{1}{3} \times 300$ واحد پول قراردادی
$900 = \frac{1}{3} \times 270$ واحد پول قراردادی
$800 = \frac{1}{3} \times 240$ واحد پول قراردادی
$2000 = \frac{1}{3} \times 6000$ واحد پول قراردادی برای هر محصول
درآمد حاصل از فروش هر واحد محصول
(الف) با استفاده از روش‌های ثبت سرعت تولید، ارضاء تقاضا و تعديل نیروی انسانی با $2 = N$ یک برنامه تولیدی خوب برای محصول A بدست آورید و علت اختلاف روش‌های فوق را مورد بررسی و تحلیل قرار دهید.
(ب) قسمت (الف) را برای محصول B تکرار کنید.
(ج) قسمت (الف) را برای محصول C تکرار کنید.
۷ - یک کارخانه تقاضای محصول خود را در سال آینده به صورت زیر پیش‌بینی کرده است:
کارگران فعلی کارخانه می‌توانند 480 محصول در ماه تولید کنند وقتی یک کارگر از کارخانه اخراج و یا به کارگران کارخانه اضافه می‌شود، می‌تواند 20 واحد محصول در ماه در تولید کارخانه اثر بگذارد، میانگین حقوق داشته باشد و حداکثر اضافه کاری 10 واحد پول قراردادی در ماه است. کارخانه می‌تواند با پرداخت $1/5$ برابر اوقات معمولی اضافه کاری کارگران 66 واحد پول قراردادی در ماه داشته باشد. کارخانه می‌تواند با پرداخت $1/5$ برابر اوقات معمولی اضافه کاری داشته باشد و حداکثر اضافه کاری 10 واحد اوقات معمولی برای کارگران موجود می‌باشد. بنابراین کارگران با کار کردن حداکثر اوقات اضافه کاری می‌توانند 2 واحد محصول در ماه تولید کنند. استخدام و آموزش هر کارگر 100 واحد پول قراردادی و هزینه سفارشات عقب افتاده 5 واحد پول قراردادی برای هر واحد محصول عقب افتاده

- ۱۵- مسئله ۱۲ را برای محصولات A و B و C تکرار کنید. در مورد اثر نوسانات تقاضا بر روی حل بحث کنید. برای محصول C مقدار W را برابر ۴۰ فرض کنید.
- ۱۶- مسئله ۱۲ را برای محصول B با فرض داشتن موجودی نهایی $100 + 50 + 50$ و صفر، و ۵۰- و ۱۰۰- تکرار کنید. مقدار هزینه کل را به صورت تابعی از موجودی نهایی رسم نموده و در مورد نتیجه بحث کنید.
- ۱۷- مسئله ۱۶ را برای محصول C تکرار کنید.
- ۱۸- مسئله ۱۲ را برای محصول A با محدودیت اضافی زیر حل کنید. موجودی پایانی هر دوره نباید از ۱۰۵۰ با واحد محصول کمتر بشود. در مورد اثر این محدودیت جدید بحث کنید.
- ۱۹- مسئله ۱۲ را برای محصول B با محدودیت زیر حل کنید. تعداد کارگران اولیه و تعداد دفعاتی که تعداد کارگران باید تغییر کند مطابق اطلاعات زیر باشد. مسئله را برای هر یک از حالات زیر حل کنید و در مورد نتایج حاصل بحث کنید.

	تعداد کارگران اولیه	تعداد دفعات استخدام	تعداد دفعات اخراج
*	۳	۲۰	
۱	۲	۲۰	
۲	۱	۲۵	

- ۲۰- مسئله ۱۲ را برای محصول C با تغییر قیمت در خرده فروشی حل کنید. قیمت خرده فروشی ۷۰۰ دلار، ۱۰۰۰ دلار، ۱۳۰۰ دلار و ۱۶۰۰ دلار است. در مورد اثر این تغییرات بر روی سود رسانی و استراتژی تولید بحث کنید.
- ۲۱- معادله (۴) مبنی تصمیم سطح نیروی انسانی به صورت تابعی از تصمیمات قبلی، عدم تعادل موجودی، و پیش‌بینی تقاضای یک دوره است. یک مدل رگرسیون دیگری باسازید که سطح نیروی انسانی مورد نظر در معادله (۸) را دخالت دهد. افق برنامه‌ریزی را ۳ دوره فرض کنید.
- ۲۲- اگر یک برنامه رگرسیون کامپیوتراً در اختیار باشد، مدل ارایه شده در مسئله ۲۱ را ارزشیابی کنید. هزینه کل این مدل را برای مفروضات داده شده در جدول ۱۲ بدست آورید.
- ۲۳- تابع هدف و محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی خطی مربوط به محصول A داده شده در فوق برای تعیین برنامه تولید اdagامی سه ماهه اول تشکیل دهید. علاوه بر مفروضات داده شده در مسئله ۱۲ به مفروضات تکمیلی زیر توجه کنید.

هزینه نیروی انسانی در اوقات معمولی	۲۰۰ دلار به ازاء هر واحد محصول
هزینه نیروی انسانی در اوقات اضافه کاری	۱۰۰ دلار به ازاء هر واحد محصول
ظرفیت اوقات معمولی	۱۷۶ نفر ساعت در ماه
ظرفیت اوقات اضافه کاری	۷۲ نفر ساعت در ماه

- ۲۴- مسئله ۲۳ را برای محصول B حل نموده و نتیجه آن را با حل مسئله ۲۳ مقایسه کنید.
- ۲۵- مسئله ۲۳ را برای محصول C حل نموده و نتیجه آنرا با حل مسئله ۲۴ مقایسه کنید.

Period	تقاضای پیش‌بینی شده			روزهای کاری	
	Set A	Set B	Set C	روزهای اضافه کاری	روزهای معمولی
۱	۵۰	۵۰	۱۲۰	۲۲	۳
۲	۶۰	۶۰	۱۵۵	۱۸	۳
۳	۵۵	۷۰	۱۶۵	۲۲	۳
۴	۵۵	۶۵	۲۰۰	۲۱	۳
۵	۶۰	۵۵	۶۵	۲۲	۴
۶	۴۵	۸۰	۵۰	۲۱	۳
۷	۴۰	۲۵۰	۴۰	۲۰	۳
۸	۷۰	۲۵۰	۴۰	۲۰	۳
۹	۹۵	۱۱۰	۴۵	۲۲	۴
۱۰	۲۶۰	۱۰۰	۶۰	۲۲	۴
۱۱	۲۴۰	۸۰	۱۴۰	۲۱	۳
۱۲	۲۱۰	۶۰	۱۵۰	۲۰	۲

هزینه اخراج هر کارگر ۸۰۰ دلار
هزینه مواد اولیه و بالاسری ۴۵۰ دلار بازه هر واحد محصول
قیمت خرید هر واحد محصول توسط خرده فروشی ۱۵۰۰ دلار
درآمد حاصل از فروش هر واحد محصول ۲۰۰۰ دلار
۱۳- مسئله ۱۲ را برای محصول B تکرار کنید مشروط بر آنکه هزینه نگهداری و کسری هر واحد کالا مطابق اعداد داده شده در جدول زیر باشد. در مورد حساسیت نتایج بحث کنید.

نگهداری	کسری
۱۰۰	۵۰
۵۰	۵۰
۵۰	۱۰۰
۱۰۰	۱۰۰

- ۱۴- مسئله ۱۲ را برای محصول C تکرار کنید مشروط بر آنکه هزینه‌های استخدام و اخراج مطابق اعداد داده شده در جدول زیر باشد. در مورد حساسیت نتایج بحث کنید.

هزینه استخدام	هزینه اخراج
۱۰۰۰	۵۰۰
۱۰۰۰	۱۰۰۰
۵۰۰	۱۰۰۰
۵۰۰	۵۰۰

۳

کاربرد برنامه‌ریزی خطی

۱ - مقدمه

از بین مدل‌های بهینه‌سازی، مدل برنامه‌ریزی خطی از جمله مدل‌هایی است که بیشترین کاربرد را در برنامه‌ریزی تولید ادغامی علی الخصوص در خطوط تولید ادغامی بویژه در خطوط تولید پوسته و خطوط تولید انبوه نشان داده است. با استفاده از روش‌های مکائمه‌ای فصل قبل به سوالاتی از قبیل سوالات زیر به طور جداگانه می‌توان پاسخ داد:

(الف) در چه سطحی باید از موجودی جهت مقابله با نوسان تقاضا در ۱۲ تا ۱۸ ماه آینده استفاده نمود.

(ب) چگونه این نوسان تقاضا را از طریق تغییر در سطح نیروی انسانی جبران کنیم.

(ج) چگونه یک نیروی انسانی متعادل بوجود آورد، و این نوسانات را به توسط تغییر سطح فعالیت‌ها از طریق تغییر ساعات کار جبران کنیم.

(د) چگونه با ایجاد یک سطح نیروی انسانی نسبتاً متعادل نوسانات تقاضا را از طریق قرارداد جنبی جبران کنیم.

(ه) اصلاً تمام تقاضاهای را برآورده نسازیم و فقط قسمتی از آنرا که قادریم در حال حاضر جبران نموده و کسری‌ها را پس از پرداخت جریمه تأمین نماییم.

بسیاری از اوقات به کارگیری هر یک از این استراتژی‌ها به تنها به اندازه ترکیبی از آن‌ها کارساز نیست. مدل برنامه‌ریزی خطی از جمله مدل‌هایی است که نه تنها قادر است ترکیبی از روش‌های فوق را در آن واحد دربر گیرد بلکه این توانایی را هم دارد که محدودیت‌های اضافی زیر را هم در آن واحد در نظر داشته باشد:

(i) حد بالا و پایین برای تولید و موجودی.

(ii) محدودیت‌های مربوط به تعداد کارگرانی که می‌توان در هر دوره استخدام و یا اخراج نمود.

(iii) عدم کارآیی به سبب اضافه کاری.

(iv) عدم کارآیی مربوط به کارگران تازه استخدام در دوره‌های اول و دوم و دوره‌های آن.

(v) هزینه‌های استخدام و اخراج که ممکن است تابعی از تعداد کارگران استخدام شده و یا اخراجی باشد.

(vi) درصد غیبت کارگران.

(vii) ماقزیزم اوقات اضافه کاری.

(viii) کم کردن ساعت کار اوقات معمولی در هفته به علت کمبود تقاضا.

(ix) قرارداد جنبی.

جالب تر از همه این است، که توسط مدل برنامه‌ریزی خط پس از بذست آوردن حل بهینه می‌توان به سوالاتی از قبیل "چه خواهد شد اگر" نیز پاسخ داد. چون غالباً اجرای بی‌چون و چرای یک راه حل برای مدیر مبسر نیست لذا

۲۶ - با استفاده از روش Jones، یک برنامه ادغامی برای مفروضات پیش‌بینی شده در زیر بذست آورید. از مفروضات داده شده در کارخانه تولید کننده تلویزیون رنگی نیز استفاده کنید. این مسئله نباید از روش دستی حل شود.

$$I_t = 40 \text{ و } W_t = 32$$

$$t = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8$$

$$F_t = 300 \quad 290 \quad 260 \quad 250 \quad 270 \quad 280 \quad 320 \quad 340$$



- x_i = مقدار محصول i ($i = 1, 2, \dots, n$) که در دوره برنامه‌ریزی تولید می‌شود.
- b_k = مقدار منبع ($K, 1, 2, \dots, k$) که در دوره برنامه‌ریزی در دسترس است.
- a_{ik} = تعداد واحدی که از منبع k در تولید یک واحد از محصول i نیاز است.
- U_i = حداقل توان فروش محصول i در دوره برنامه‌ریزی
- L_i = حداقل سطح تولیدی مورد تقاضای محصول i در دوره برنامه‌ریزی
- r_i = قیمت فروش هر واحد از محصول i
- c_i = هزینه متغیر تولید هر واحد از محصول i

فرض بر آن است که $x_i - c_i$ عبارت از مشارکت محصول i در هزینه ثابت و سود خالص کارخانه و در نتیجه x_i مقدار محصول آماد است. و تمام U_i واحد تولید شده از محصول i در دوره برنامه‌ریزی به فروش می‌رسد.علاوه تصور داریم که تولید x_i واحد از محصول i مقدار a_{ik} واحد از منبع k مصرف می‌کند. هدف ما عبارت از ماکریزم کردن مشارکت تمام محصولات در هزینه ثابت و سود خالص کارخانه است و آنرا با Z نشان می‌دهیم. از نظر ریاضی می‌خواهیم مقدار x_1, x_2, \dots, x_n را طوری تعیین کنیم که تابع زیر را ماکریزم نماید:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^n (r_i - c_i)x_i \quad (1)$$

به طوریکه

$$\sum_{i=1}^n a_{ik} x_i \leq b_k, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$x_i \leq U_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$x_i \geq L_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

سمت چپ رابطه (2) عبارت از منابع مصرفی از نوع k است که در این برنامه‌ریزی تولید مصرف می‌شود. حد پایین (4) در صورتی اتفاق می‌افتد که کارخانه یک قراردادی برای تحویل کالای آبه مقدار L_i داشته باشد و یا اینکه صرف نظر از نتایج اقتصادی آینده، مدیریت کارخانه تصمیم بر آن دارد که حداقل این مقدار محصول از نوع i تولید نماید.

مثال ۱- مسئله تولید ترکیبی

یک تولید کننده لوازم خانگی محصولات خود را از ورقه‌های فلزی تولید می‌نماید. برای نمایش مسئله برنامه‌ریزی تولید آن فرض کنید تولید کننده فقط ۴ نوع محصول تولید می‌کند و سیستم تولید آن شامل ۵ مرکز تولید می‌باشد. پرسکاری، منته کاری، موتناز، تکمیل (رنگ آمیزی و تقاضی) و بسته‌بندی. برای یک ماه داده شده مدیریت این کارخانه باید بداند که چه مقدار از هر محصول تولید نماید. برای کمک به این تصمیم‌گیری مفروضات جدول ۱ و ۲ را تنظیم می‌نماید.علاوه او می‌داند که فقط ۲۰۰۰ متر مربع از ورق فلزی مورد استفاده در محصولات ۲ و ۴ در این ماه موجود است، محصول ۲ احتیاج به ۲ متر مربع در هر واحد و محصول ۴ احتیاج به مقدار ۱/۲ متر مربع در هر واحد دارد.

مدیر باید قادر باشد که در مقابل تغییراتی که در آینده پیدا خواهد شد عکس العمل نشان دهد. این عمل توسط تجزیه و تحلیل حساسیت پس از بدست آوردن حل بهینه امکان‌پذیر است. فقط ضعفی که برای مدل‌های برنامه‌ریزی خطی می‌توان بیان کرد این است که تقاضاها باید مفروض و داده شده تلقی گردد و هزینه‌ها نیز خطی باشند. عدم خطی بودن هزینه منجر به حل خواهد شد که حتی از جواب‌های مکافهای هم بدتر است و ما این ضعف را در آخرين مثال این فصل نشان داده‌ایم.

لازم به تذکر است که چون برنامه فرعی مدل برنامه‌ریزی خطی حتی برای کامپیوترهای کوچک هم آماده و در دسترس است، لذا مدل برنامه‌ریزی خطی از دو جنبه زیر در حل مسائل برنامه‌ریزی تولید ادامگامی مورد توجه است:

(الف) در مواردی که صفات‌های اشاره شده در فوق جدی نباشد، خود به عنوان قویترین راه حل مورد استفاده خواهد بود.

(ب) به علت سهل الوصول بودن و قدرت عمل آن به عنوان تقریبی از مدل‌های بهینه‌سازی پیچیده تحقیق در عملیات و یا واسطه ساده‌تر کردن آنها و تجزیه آن مدل‌ها به مدل‌های کوچکتر مورد استفاده خواهد بود. در این بخش به ارایه مدل‌های خطی می‌پردازیم که در رابطه با مسائل تولید ترکیبی، انتخاب روش تولید، امتزاج، تولید چند مرحله‌ای، تقلیل ضایعات در برش و بالاخره مدل‌های برنامه‌ریزی خطی در تولید ادامگامی هستند و در مورد هر یک از آن‌ها مثالی همراه با حل کامپیوتری و تحلیل جواب اقدام خواهیم نمود.

۲- مسئله تولید ترکیبی

یکی از مهمترین مسائلی که کارخانجات غالباً با آن مواجه هستند این است که از بین محصولاتی که قادرند تولید کنند، نمی‌دانند کدام محصول را برگزینند. به عبارت بهتر ممکن است چندین محصول باشد که کارخانه بتواند آنرا در یک دوره تولید و بفروشد ولی می‌خواهد بداند که چه مقدار از هر کدام باید تولید نماید. هدف عبارت از تخصیص منابع محدود است به طوری که عایدی خالص بیشتر باشد. واضح است که تولید هر محصول در هزینه ثابت و سود خالص کارخانه به میزان مناسبی شرکت خواهد داشت و بعلاوه در استفاده از منابع مشخصی چون مواد خام، نیروی انسانی، وقت مفید ماشین‌ها در مراکز تولید مختلف کارخانه مشارکت مستقیم دارند، مسئله عبارت از پیدا کردن آن برنامه تولیدی است که کل مشارکت محصولات را در هزینه ثابت و سود خالص کارخانه در یک دوره معین ماکریزم نموده و در عین حال محدودیت‌های حاصل از منابع نادر و همچنین تقاضاها را که برای هر محصول موجود است ارائه نماید. موارد زیر مشخصات مسئله تولید ترکیبی را توجیه می‌نماید:

۱- ماکریزم نمودن مشارکت محصول در سود خالص و هزینه ثابت کارخانه

۲- محدودیت‌های حاصل از منابع نادر

۳- محدودیت‌های حد دار بر روی محصولات مورد برنامه‌ریزی

مدل برنامه‌ریزی خطی

برای فرموله کردن مسئله تولید ترکیبی به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی ترجیح می‌دهیم که ابتدا متغیر و پارامترهای مسئله را به صورت زیر تعریف کنیم:

مسئله فوق با استفاده از روش سیمپلکس حل شده و جواب بهینه آن به صورت زیر بدست آمده است:

$$x_1^* = 550, \quad x_2^* = 500, \quad x_3^* = 3000, \quad x_4^* = 100$$

همان طوری که ملاحظه می‌شود محصولات ۲ و ۳ به اندازه ماکزیمم توان فروش به بازار عرضه می‌شوند. محصول ۴ از این نظر تولید می‌شود که چون مینیمم تقاضا برای آن ۱۰۰ است، لین برنامه تمام ظرفیت دپارتمان‌های پرسکاری و مته‌کاری را به کار می‌گیرد. ظرفیت‌های به کار برد نشده عبارت از ۱۳ ساعت دپارتمان موتاز، ۲۸ ساعت دپارتمان تکمیلی و ۹۵ ساعت در دپارتمان بسته‌بندی است. فقط ۱۱۲۰ متر مربع از ورقه‌های فلزی استفاده شده و ۸۸۰ متر مربع آن بلااستفاده مانده است. سود بهینه این برنامه ۴۲۶۰۰ واحد پول قراردادی است.

با استفاده از متغیرهای مذووج این مسئله درخواهیم یافت که تولید بیشتر محصول ۴ به قیمت کمتر تولید کردن سایر محصولات به صرفه نخواهد بود مگر اینکه سود آن حداقل ۱/۷۸ واحد پول قراردادی افزایش یابد، یعنی به ۷/۷۸ واحد پول قراردادی برسد. ارزش نهایی هر ساعت اضافه ظرفیت پرسکاری ۲۲۲۲ و مته‌کاری ۵۵۵۶ واحد پول قراردادی است. اگر می‌توانستیم یک واحد بیشتر از محصول ۳ را بفروشیم، مبلغ ۳۸۹ واحد پول قراردادی افزایش سود داشتیم (با محاسبه اینکه در نتیجه این عمل سایر محصولات کمتر تولید می‌شدند). قدرت فروش یک واحد بیشتر از محصول ۲ تغییری در سود حاصل نمی‌نمود.

۳- مسئله انتخاب روش تولید

در این نوع مسائل یک تقاضای معینی برای هر نوع محصول وجود دارد. هر محصول ممکن است به روش‌های مختلف تولید گردد. هزینه هر واحد و همچنین میزان منابع مصرفی بستگی به روش انتخابی تولید دارد. هر منبع تولید در دوره برنامه‌ریزی دارای مقدار محدودیست. مسئله عبارت از آن است که از هر روش چند محصول تولید گردد تا اینکه هزینه تولید مینیمم گردد، چون که میزان تقاضاهای هر محصول داده شده است در نتیجه عایدی مربوط به هر محصول ارتفاعه گردد. چون که میزان تقاضاهای هر محصول داده شده است در نتیجه عایدی مورد نظر نبوده بلکه کم کردن هزینه هدف اصلی خواهد بود.

برای فرموله کردن مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی به نشانه‌های زیر احتیاج خواهیم داشت:
 x_{ij} : مقداری که از محصول (i, j) به توسط روش j ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$) در دوره برنامه‌ریزی تولید می‌شود.

D_i : تقاضای محصول i در طول دوره برنامه‌ریزی.

b_k : مقدار منبع موجود k در طول دوره برنامه‌ریزی.

a_{ijk} : تعدادی از منبع k که جهت تولید یک واحد از محصول i توسط روش j مورد نیاز است.

c_{ij} : هزینه متغیر تولید یک واحد از محصول i توسط روش j .

Z : هزینه کل در طول دوره برنامه‌ریزی.

جدول ۱- مفروضات مثال ۱

دپارتمان	زمان تولید هر واحد محصول بر حسب ساعت				ظرفیت موجود (ساعت)
	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۴	
پرسکاری	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱۰	۴۰۰
مته‌کاری	۰/۰۶	۰/۱۲	—	۰/۱۰	۴۰۰
موتاژ	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۱۲	۵۰۰
تکمیلی	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۳	۰/۱۲	۴۵۰
بسته‌بندی	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۵	۴۰۰

جدول ۲- مفروضات مثال ۱

محصول	توان فروش			ماکزیمم
	هزینه‌های متغیر واحد/بول	قیمت فروش واحد/بول	مینیمم	
۱	۱۰	۱	۱۰۰۰	۶۰۰۰
۲	۲۵	۱۵	—	۵۰۰
۳	۱۶	۱۱	۵۰۰	۳۰۰۰
۴	۲۰	۱۴	۱۰۰	۱۰۰۰

برای فرموله کردن این مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرض کنید که عبارت از تمدّد محصولات تولید شده از محصولات آذر ماه داده شده باشد و Z مشارکت کل در سود و هزینه ثابت را نشان دهد. مسئله عبارت از انتخاب مقادیر غیرمنفی x_1, x_2, x_3, x_4 جهت ماکزیمم کردن $Z = 2x_1 + 10x_2 + 5x_3 + 6x_4$ به طوری که

(۱) محدودیت‌های مربوط به ظرفیت زمانی:

(پرسکاری)

(مته‌کاری)

(موتاژ)

(تکمیلی)

(بسته‌بندی)

(۲) محدودیت مربوط به ورقه‌های فلزی موجود:

$$2x_2 + 1/2x_4 \leq 2000$$

$$1000 \leq x_1 \leq 6000$$

$$0 \leq x_2 \leq 500$$

$$500 \leq x_3 \leq 3000$$

$$100 \leq x_4 \leq 1000$$

(۳) محدودیت مربوط به مینیمم تولید و ماکزیمم فروش:



روش آ تولید می‌گردد. مسئله برنامه‌ریزی خطی آن به شکل زیر است:

$$\begin{aligned} \text{MinZ} = & 6x_{11} + 6/2x_{12} + 7/2x_{13} + 7/4x_{14} \\ & + 10x_{21} + 10/4x_{22} + 10x_{23} + 10/4x_{24} \\ & + 11x_{31} + 11/2x_{32} + 13/2x_{33} + 13/4x_{34} \\ & + 14x_{41} + 14/3x_{42} + 16/8x_{43} + 17/10x_{44} \end{aligned}$$

به طوری که

(۱) محدودیت ظرفیت ساعت معمولی:

$$\sum_{j=1}^4 (0.02x_{1j} + 0.15x_{2j} + 0.05x_{3j} + 0.10x_{4j}) \leq 400$$

$$\sum_{j=1}^4 (0.06x_{1j} + 0.12x_{2j} + 0.10x_{3j}) \leq 400$$

$$\sum_{j=1}^4 (0.05x_{1j} + 0.10x_{2j} + 0.05x_{3j} + 0.12x_{4j}) \leq 500$$

$$0.04(x_{11} + x_{12}) + 0.20(x_{21} + x_{22}) + 0.03(x_{31} + x_{32}) + 0.12(x_{41} + x_{42}) \leq 450$$

$$\sum_{j=1}^4 (0.02x_{1j} + 0.06x_{2j} + 0.10x_{3j} + 0.05x_{4j}) \leq 400$$

(۲) محدودیت ساعت اضافه کاری دپارتمان تکمیلی:

$$0.04(x_{12} + x_{14}) + 0.20(x_{22} + x_{24}) + 0.03(x_{32} + x_{34}) + 0.12(x_{42} + x_{44}) \leq 100$$

(۳) محدودیت ورقهای فلزی عبارت است از:

$$2/0(x_{21} + x_{23}) + 1/2(x_{41} + x_{43}) \leq 2000$$

(۴) محدودیت تقاضا عبارت است از:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 2000$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 500$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 1000$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 2000$$

حل بینه فوق عبارت است از $x_{11}^* = 3000$, $x_{21}^* = 300$, $x_{22}^* = 200$, $x_{31}^* = 1000$, $x_{32}^* = 1667$, $x_{41}^* = 1667$, $x_{42}^* = 333$ و سایر متغیرها برابر صفرند. جدول ۳ این نتایج را به نحو ملموس‌تری مرتب نموده و هزینه این برنامه‌ریزی ۱۳۶۷۰ واحد پول قراردادی است. توجه مصرف از ظرفیت‌ها در جدول ۴ داده است.

ما می‌خواهیم z_k را چنان تعیین کنیم که:

$$\text{MinZ} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j_i} c_{ij} X_{ij} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{j_i} X_{ij} = D_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j_i} a_{ijk} X_{ij} \leq b_k \quad ; k = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad ; \text{برای تمام } i \text{ و } j \text{ و } k \quad (8)$$

حال دو مثال عددی ارایه خواهیم داد. مثال اول دقیقاً همانند مدل برنامه‌ریزی خطی فوق است. مثال دوم نشان می‌دهد که پیگونه مسئله انتخاب روش تولید می‌تواند با مسئله تولید تلقین گردد. مثال دوم مشهورترین کاربرد مدل ریاضی در صنعت است.

مثال ۲ - مسئله انتخاب روش تولید

در مثال ۱ - تصویر کنید که تقاضا برای چهار محصول به ترتیب ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ باشد. فرض کنید که دقیقاً همین مقدار محصول باید در ماه تولید شود. زمان عادی موجود جهت ساختن این محصولات مطابق جدول ۱ است. علاوه بر این پرسکاری و مته کاری قطعات هر محصول می‌تواند بجهاهای دیگر و اگذار گردد و لی ۲/۰ به هزینه تولید محصول اضافه می‌گردد. هر دو کار پرسکاری و مته کاری به خارج از کارخانه و اگذار شده و قطعات نیمه ساخته به کارخانه جهت مرتباز، تکمیل و بسته‌بندی فرستاده می‌شود. اگر لازم باشد کارخانه می‌تواند دپارتمان تکمیل خود را تا ۱۰۰ ماشین ساعت در ماه و اداره به اضافه کاری نماید. در نتیجه این عمل هزینه هر محصول ۱ و ۳ به اندازه ۲/۰ و هزینه هر محصول ۲ به اندازه ۴/۰ و هر محصول ۴ به اندازه ۲/۰ و واحد پول قراردادی افزوده خواهد شد. محدودیت ورقهای فلزی به اندازه ۲۰۰۰ متر مربع جهت محصولات ۲ و ۴ فقط برای محصولات پرسکاری و مته کاری داخل کارخانه کاربرد دارد. هدف برآوردن اهداف تولید با حداقل هزینه است. متغیرهای تضمین‌گیری دارد:

- (۱) پرسکاری و مته کاری داخلی، تکمیل در وقت معمولی.
- (۲) پرسکاری و مته کاری داخلی، تکمیل در وقت اضافی.
- (۳) پرسکاری و مته کاری خارجی، تکمیل در وقت معمولی.
- (۴) پرسکاری و مته کاری خارجی، تکمیل در وقت اضافی.

ما باید این روش‌ها را کاملاً از یکدیگر متمایز سازیم، زیرا هزینه تولید هر واحد و میزان منابع مصرفی در آنها کاملاً با یکدیگر تفاوت دارند. به عنوان مثال، هزینه تولید هر واحد از محصول ۱ به توسط ۴ روش مختلف عبارت از ۶، ۶/۲، ۷/۲ و ۷/۴ واحد پول قراردادی است. فرض کنید که z_k عبارت از تعداد محصول نوع k باشد که به توسط

فصل ۳: کاربرد برنامه‌ریزی خطی / ۶۵

محدودیت این مسئله همان محدودیت مثال ۲ است به استثناء ۴ محدودیت آخر که در ارتباط با تقاضا است، بجای محدودیت‌های تقاضا، محدودیت‌های زیر را با استفاده از جدول ۱ در نظر می‌گیریم.

$$1000 \leq \sum_{j=1}^4 x_{1j} \leq 6000$$

$$0 \leq \sum_{j=1}^4 x_{2j} \leq 500$$

$$500 \leq \sum_{j=1}^4 x_{3j} \leq 3000$$

$$100 \leq \sum_{j=1}^4 x_{4j} \leq 1000$$

حل بهینه این مسئله تولید ترکیبی عبارت از $5500 = X^{*}_{11} + X^{*}_{13} = 2600 + 3000$ و $X^{*}_{21} = 500$ و $X^{*}_{31} = 3000$ و $X^{*}_{41} = 100$ و $\text{MaxZ} = 43328$ واحد پول قراردادیست. جدول ۵ و ۶ جواب بهینه را به صورت واضح تری نمایش می‌دهد. فقط ۱۱۲۰ متر مربع ورقه فلزی در این مسئله استفاده شده است.

جدول ۵- برنامه تولید بهینه مثال ۳

مراکز تولید	محصول			
	۱	۲	۳	۴
پرسکاری، داخلی - ۱	5500	500	3000	100
منه کاری، داخلی - ۲	5500	500	3000	100
منه کاری و پرسکاری خارجی - ۳	260	0	0	0
موتناز - ۴	5760	500	300	100
وقت معمولی تکمیلی - ۵ اضافه کاری	5760	500	3000	100
	0	0	0	0
بسته‌بندی - ۶	5760	500	3000	100
جمع کل تولید	5760	500	3000	100

جدول ۶- استفاده بهینه از ظرفیت مثال ۳

دیارتمان	اوقات اضافه کاری (ساعت)			متغیر مزدوج
	صرف نشده	زمان‌بندی	موجود شده	
پرسکاری	400	400	0	0
منه کاری	400	400	0	0
موتناز	500	500	0	56/0
تکمیلی	450	422/4	17/6	0
بسته‌بندی	400	210/2	189/8	0

جدول ۳- حل بهینه برای (مثال ۲)

مراکز تولید	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳	محصول ۴
پرسکاری - داخلی : ۱	3000	0	1000	1667
منه کاری - داخلی : ۲	3000	0	1000	1667
موتناز : ۴	0	500	0	333
تکمیلی : ۵	3000	500	1000	2000
	3000	300	1000	2000
	0	200	0	0
بسته‌بندی : ۶	3000	500	1000	2000

جدول ۴- مصرف بهینه ظرفیت‌ها در مثال ۲

دیارتمان	وقت معمولی (ساعت)		ساعت‌های اضافی	
	صرف نشده برنامه‌ریزی شده	موجود	صرف نشده برنامه‌ریزی شده	موجود
پرسکاری	400	306/7	92/3	0
منه کاری	400	346/7	52/3	0
موتناز	500	490/0	10/0	0
تکمیلی	450	450/0	0	100
بسته‌بندی	100	210/0	190/0	0

نام ۲۰۰۰ متر مربع از ورقه‌های فلزی در تولید محصول ۴ بکار رفته است این نتیجه باعث خواهد شد که تمام محصول ۲ و بعضی از محصول ۴ در خارج از کارخانه ساخته شود. مقادیر متغیرهای مزدوج مربوط به محدودیت ظرفیت دیارتمان تکمیلی در ساعت‌های معمولی و محدودیت ورقه فلزی به ترتیب ۲ و ۲۳۳ هستند. این بدان معنی است که یک ساعت اضافی از ظرفیت وقت معمولی دیارتمان تکمیلی باعث کم شدن در هزینه کل به اندازه ۲ واحد پول قراردادیست و همچنین یک متر مربع زیادی از ورقه فلزی باعث کم کردن هزینه کل به اندازه ۲۳۳ واحد پول قراردادیست.

مثال ۳- مسئله ترکیبی با متابع تولیدی گوناگون

حال مثال‌های ۱ و ۲ را با یکدیگر ادغام می‌نماییم. تصور کنید که تقاضا به صورت ثابت داده شده باشد ولی بجای آن توان فروش مطابق جدول ۲ داده شده باشد. هدف ما تکریم کردن کل سود در مثال ۱ است باید شق‌های مختلف روش تولید مشروطه در مثال ۴ را در نظر بگیریم. متغیرهای تصمیم‌گیری همانند مثال ۲ بوده ولی تابع هدف جدید به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{MaxZ} = & 4x_{11} + 3/8x_{12} + 2/8x_{13} + 2/8x_{14} \\ & + 10x_{21} + 9/8x_{22} + 7x_{23} + 6/6x_{24} \\ & + 5x_{31} + 4/8x_{32} + 2/8x_{33} + 2/8x_{34} \\ & + 6x_{41} + 5/8x_{42} + 3/2x_{43} + 4/9x_{44} \end{aligned}$$

مثال ۴- مسئله امتزاج
 یک تولید کننده آلیاژ سفارشی از یک مشتری برای تولید یک آلیاژ به صورت زیر دریافت می‌نماید.

جدول ۷- مفروضات مثال ۴

معدن	A	B	C	D	ناخالصی	قیمت هر تن (واحد یوول)
۱	% ۲۵	% ۱۰	% ۱۰	% ۲۵	% ۳۰	۲۳
۲	۴۰	۰	۰	۲۰	۳۰	۲۰
۳	۲۰	۱۰	۰	۲۰	۴۰	۱۸
۴	۰	۱۵	۵	۲۰	۶۰	۱۰
۵	۲۰	۲۰	۰	۴۰	۲۰	۲۷
۶	۸	۵	۱۰	۱۷	۶۰	۱۲

- فلز نوع A حداقل % ۲۳
- فلز نوع B حداقل % ۱۵
- فلز نوع C حداقل % ۴
- فلز نوع D بین % ۲۵ تا % ۶۵

در تولید این آلیاژ غیر از ترکیبات فوق، ترکیب دیگری مجاز نیست. تولید کننده به ۶ نوع سنگ معدن دسترسی دارد که درصد ترکیبات و قیمت فروش هر واحد آن در جدول ۷ داده شده است. ناخالصی معادن حین عمل خارج می‌گردد.

فرض کنید که $\sum x_i$ عبارت است از مقدار تنی از معدن j ($j = 1, 2, \dots, 6$) که در هر تن از آلیاژ مصرف می‌گردد. می‌خواهیم کل هزینه هر تن از آلیاژ مورد نظر را مینیمیز سازیم. پس:

$$\text{MinZ} = 23x_1 + 20x_2 + 18x_3 + 10x_4 + 27x_5 + 12x_6$$

به طوری که

(۱) محدودیت مربوط به مشخصات آلیاژ مورد تقاضا:

$$0.20x_1 + 0.40x_4 + 0.20x_3 + \dots + 20x_5 + 0.08x_6 \geq 0.23$$

$$0.10x_1 + \dots + 0.10x_3 + 0.10x_4 + 0.20x_5 + 0.05x_6 \leq 0.15$$

$$0.10x_1 + \dots + 0.10x_4 + 0.10x_6 \leq 0.04$$

$$0.20x_1 + 0.30x_2 + 0.30x_4 + 0.20x_5 + 0.17x_6 \geq 0.35$$

$$0.05x_1 + 0.17x_2 + 0.20x_4 + 0.40x_5 + 0.20x_6 \leq 0.65$$

(۲) معادله تعادل مواد ($\sum x_i$ عبارت از درصد مواد خامی است که در آلیاژ مورد نظر به کار می‌رود به عبارت بهتر درصد ناخالصی)

$$0.70x_1 + 0.70x_2 + 0.60x_3 + 0.40x_4 + 0.80x_5 + 0.40x_6 = 1.00$$

۴- مسئله امتزاج
 این نوع سائل موقعی مطرح می‌شوند که یک محصول با مشخصات معینی مورد نظر باشد و این محصول می‌تواند از مزروج کردن چندین مواد خام به دست آید. برای به دست آوردن مشخصات ترکیبات مختلفی از مواد خام می‌تواند برای به دست آوردن آن مشخصات مورد نظر یا یکدیگر مزروج گردد و در تیجه هزینه‌ای متفاوتی نیز بوجود آورند. پس در اینگونه مسائل هدف به دست آوردن آن ترکیبی است که قیمت کل مواد خام مصرفی آن حداقل باشد یا به عبارت بهتر باید معلوم سازیم که از هر ماده خام چه مقدار مصرف نماییم، تا با وجود به دست آوردن مشخصات مورد نظر هزینه کل مواد مصرف شده مینیم باشد.

مسئله امتزاج غالباً در اختلاط نفت خام، صنعت نفت، اختلاط مواد خام معدنی در تولید آلیاژ، در صنعت نساجی برای بدست آوردن پنبه و پشم، در صنایع غذایی و بالاخره، تولید کود شیمیایی موارد استفاده دارد.

برای فرموله کردن مسائل امتزاج به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی، فرض کنید m ماده و n مشخصه خاص برای محصول نهایی موجود باشد، به علاوه فرض می‌کنیم که سطح مشخصه با مقدار مواد خام مصرفی رابطه خطی داشته باشد، مضافاً بر اینکه هزینه هر واحد از محصول تابع خطی از مقدار هر یک از مواد خام مصرفی است. و نیز فرض کنید:

x_j = مقداری که از ماده خام نوع j در هر واحد از محصول مصرف می‌گردد.

c_j = هزینه هر واحد از ماده خام نوع j .

a_{ij} = سهم هر واحد از ماده خام j در مقدار مشخصه i ام محصول.

b_i = مشخصه i ام محصول.

Z = هزینه کل تمام مواد خام مصرفی.

بنابراین مسئله عبارت است از انتخاب مقادیر غیرمنفی x_1, x_2, \dots, x_n است که :

$$\text{MinZ} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (9)$$

به طوری که

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = 1 \quad (11)$$

اگر مراحل تولید طوری باشد که مقداری از ماده خام j در حین عمل از سیستم خارج گردد. در آن صورت فرض خواهیم نمود که $\sum x_i$ عبارت از مقداری از یک واحد ماده خام j باشد که در هر واحد محصول تمام شده موجود باشد. لذا بجا ای معادله (11) معادله زیر را به کار خواهیم برد.

$$\sum_{j=1}^n d_j x_j = 1 \quad (12)$$

$$\text{Min}Z = \sum_{j=1}^{12} x_j$$

به طوری که

$$x_3 + x_5 + 2x_6 + 3x_7 + x_8 + 2x_9 + 3x_{11} + 4x_{12} \geq 500$$

$$3x_2 + x_4 + 5x_6 + 2x_8 + 8x_9 + 6x_{10} + 2x_{11} \geq 300$$

$$2x_1 + 2x_2 + 2x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq 200$$

$$x_j > 0, j = 1, 2, \dots, 12$$

در واقع $\frac{1}{2}$ یک عدد صحیح بوده و مسئله یک مدل برنامه‌ریزی خطی با متغیرهای صحیح است ولی چون فرض بر آن است که تعداد زیادی از رول‌های استاندارد باید بریده شود، لذا اعداد حاصل از مدل خطی فوق را می‌توانیم به نزدیکترین عدد صحیح آن گرد کنیم. حل این مدل برنامه‌ریزی خطی عبارت است از:

$$x_{1,12} = 125, x_{*,7} = 50, x_{*,1} = 150$$

احتمالاً با گرد کردن تعداد رول‌هایی که باید بریده شود یعنی $x_{1,12}$ به 13 حل نزدیک به بهینه‌ای خواهد داشت. بعضی اوقات بجای مینیمم کردن تعداد رول‌های استاندارد مصرفی، شایعات (دور ریز) را به حداقل می‌رساند برای این کار اگر w_j را برابر عرض دور ریز روش Z ام و S_i برای تعداد رول‌های مازاد بر احتیاج تقاضای Z ام فرض کنیم، تابع هدف جدید به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Min}Z' = \sum_{j=1}^{12} w_j x_j + 45S_1 + 24S_2 + 60S_3$$

واضح است که مینیمم کردن Z' معادل مینیمم نمودن Z است. چون که (Z) از Z' به اندازه کل پهنه‌ی درخواست شده یعنی $500(45) + 300(24) + 200(60) = 41700$ متجاوز خواهد بود.

۶- مسئله تولید چند مرحله‌ای

تاکنون سیستم‌های تولیدی را در نظر گرفته‌ایم که تولید آن‌ها شامل یک مرحله بوده است. بسیاری از اوقات ممکن است تصمیم بر آن باشد که امکانات تولید سیستم را به طور جداگانه مورد بررسی قرار دهند. این وضعیت موقتی واقعیت پیدا می‌کند که هر یک از امکانات تولید سیستم توانند به طور جداگانه زمان‌بندی گردند، با توجه به اینکه بین آن‌ها باید هماهنگی برقرار باشد. زیرا هر امکانات تولیدی ممکن است قطعه‌یدکی و یا رسیله نیم ساخته‌ای از امکانات تولیدی دیگر را مجبور باشد که سرویس دهد. در نتیجه قابلیت انعطاف در زمان‌بندی امکانات تولید مسلماً هزینه تولید را خواهد کاست ولی باید توجه داشته باشیم که به علت اینبارداری محصولات نیمه ساخته بین مراحل مجبور به برداخت هزینه نگهداری اضافی باشیم.

مدل‌های ریاضی برنامه‌ریزی، علی‌الخصوص مدل برنامه‌ریزی خطی جهت تجزیه و تحلیل مسائل تولید چند مرحله‌ای کاربرد دارند. مسائلی که درگیر یک محصول منفرد هستند، نمایش ترسیمی مراحل تولید منجر به مدل‌بندی سیستم و همچنین استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویا خواهد شد. تمام این مدل‌ها در یک مشخصه به نام

حل بهینه این مسئله عبارت است از:

$$x_{*,1} = x_{*,2} = x_{*,3} = x_{*,5} = x_{*,6} = 0, x_{*,4} = 0,8000, x_{*,7} = 0,9714$$

بد عبارت بهتر ما باید $0,9714$ تن از معدن 2 و $0,8$ تن از معدن 4 جهت تولید یک تن آبیار مورد نظر به کار گیریم. هزینه هر تن آبیار سفارش شده $Z^* = 27,43$ واحد پول قراردادی خواهد بود. فقط محدودیت مربوط به ماکزیمم مقدار (4 درصد) از فاز C حائز اهمیت است. مقدار متغیر مزدوج آن هم $28,57$ است.

۵- مسئله برش

مثال ۵

این مسئله در اغلب کتاب‌های تحقیق در عملیات آمده است. یک کارخانه کاغذسازی دارای ماشین‌هایی است که رول‌های بزرگ کاغذ یا یک قطر داده شده به پهنه‌ی 200 اینچ تولید می‌کند. برای برآوردن نیاز مشتری این رول بزرگ باید به عرض‌های کوچکتری بریده شوند. پهنه‌ی مورد سفارش مشتری از یک دوره به دوره دیگر تغییر خواهد نمود. تصور کنید که در یک نقطه زمانی احتیاج به 500 عدد رول 45 اینچی، 300 عدد رول 24 اینچی و 200 اینچی باشد. برنامه‌ای جهت بریدن رول استاندارد برای برآوردن نیاز مشتری باید طرح ریزی گردد. راه‌های منطقی که یک رول استاندارد 200 اینچی می‌تواند به پهنه‌ی مورد تقاضا بریده شود در جدول 8 داده شده است.

جدول ۸- اطلاعات مثال ۵

پهنه‌ی مورد تقاضا	روش‌های برش											
	۱	۲	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
عرض 45 اینچی	۰	۰	۱	۰	۱	۲	۳	۰	۱	۲	۳	۴
عرض 24 اینچی	۰	۳	۱	۵	۲	۰	۸	۶	۴	۲	۰	*
عرض 16 اینچی	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	*
دور ریز (اینج)	۲۰	۸	۱۱	۲۰	۲۳	۲	۵	۸	۱۱	۱۴	۱۷	۲۰

به عنوان مثال راه دوم عبارت است از برش 3 کاغذ 24 اینچی و 2 کاغذ 16 اینچی که در نتیجه از کاغذ استاندارد 8 اینچ باقی خواهد ماند.

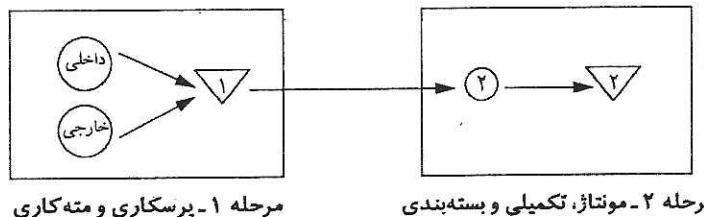
فرض کنید که 5 نمایشگر تعداد رول‌های استاندارد باشد که بد روشن Z بریده می‌شود. اگر فرض کنیم که هر کاغذی غیر از عرض $45, 24$ و 16 باید دور ریخته شود. هدف ما منجر به این خواهد بود که این کاغذهای دور ریز را به حداقل ممکن برسانیم و یا به عبارت بهتر جمع کل تعداد رول‌های استاندارد مصرفی را مینیمم سازیم. در نتیجه مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را خواهیم داشت:

توجه داریم که با این تعریف برای امکان تولید، تمام مسائلی که تاکنون در این پخش در نظر گرفته ایم برای مسائل تک امکانی بوده است. وقتی که مرحله شامل یک سلسله از مرکز تولید موازی می گردد که در آن هر سلسله محصول همان مرحله تولید را می نماید ممکن است مرحله را به صورت یک عدد امکانات تولید موازی درآورد و سپس متغیرهای تقسیم گیری مجزایی برای امکان تولید تعریف نمایم. شکل های (۱-ب) و (۱-ج) میستم را نشان می دهند که مرحله اول آنها شامل در امکان تولید موازی است که هر کدام از آنها یک محصول تولید می نماید. مرحله دوم که محصول اول را استفاده می نماید شامل سه امکان تولید موازی است. در شکل (۱-ب) ایناردو مرحله تولید مشترک در شکل (۱-ج) دو مرحله تولید از اینارهای مجزایی استفاده می نمایند. مطالب فوق سیار کلی بوده و ما معتقدیم برای روشن شدن مفاهیم آن باید به چند مثال متول梭 شویم. در دنباله این قسمت با چند مثال مسئله را روشن تر می سازیم.

مثال ۶- مسئله تولید چند مرحله‌ای

مسئله مثال ۲ را در نظر بگیرید که در آن می خواستیم تولید ۴ محصول را در یک طرح که شامل ۵ مرکز تولید پرسکاری، مته کاری، مونتاژ، تکمیلی و بسته بندی است، زمان بندی کنیم. و اگذاری کار پرسکاری و مته کاری به خارج و همچنین اضافه کاری در کارگاه تکمیلی مجاز بود. ما سیستم را به عنوان یک سیستم تک مرحله‌ای که از یک امکان استفاده می نماید حل کردیم.

حال می خواهیم یک فرموله دیگری برای سیستم در نظر بگیریم که در آن سیستم را از آن دیدگاه یک سیستم دو مرحله‌ای مورد بررسی قرار می دهد. مرحله اول شامل مراکز تولیدی مركب از پرسکاری و مته کاری است حال آنکه مرحله دوم شامل مراکز تولیدی مونتاژ، تکمیلی و بسته بندی است. مرحله اول به دو امکان موازی تقسیم می گردد، پرسکاری و مته کاری داخلی، پرسکاری و مته کاری خارجی. مرحله دوم شامل یک امکان است. این تقسیم بندی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل دو مرحله‌ای برای مثال ۶

فرض کنید W_j مقدار محصول آم پرسکاری و مته کاری شده در طرح و x_j عبارت از مقدار تولید محصول آم پرسکاری و مته کاری شده در خارج از طرح، j مقدار محصول آم تولید شده بوسیله مرحله j در مونتاژ تکمیلی و بسته بندی باشد. فرآیند ۱ ($=j$) فقط در گیر ساعت معمولی تولید است و حال آنکه فرآیند ۲ ($=j$) لازم می بیند که

$$\text{معادلات تعادل مواد}^{\text{مشترک}} \text{ هستند. این معادلات دارای شکل عمومی زیر هستند:} \quad (13)$$

$$I_j = I_j^+ + x_j - \sum_{k \neq j} W_k^j \quad (13)$$

که در آن I_j^+ سطح موجودی آغازی در مرحله j ، I_j^- تولید (ورودی) در مرحله j و W_k^j مقداری که برای تولید x_k واحد در مرحله k کنار گذاشته می شود و I_j^- سطح موجودی در مرحله j است. اگر امکان داشتن امکانات تولیدی مختلف در مرحله j وجود داشته باشد x_k را در رابطه اخیر با $(P_j)_k$ عرض می نماییم که در آن $(P_j)_k$ عبارت از تعداد واحد محصول j است که در نتیجه تولید x_k واحد در مرحله j حاصل گشته است.

رمز مدل بندی یک سیستم چند مرحله‌ای عبارت از تقسیم گیری در دسته بندی عملیات تولید به عنوان یک مرحله است صرف نظر از اینکه هر مسئله شامل چند امکان عملیاتی بصورت موازی باشد و یا نباشد. بعلاوه چندین مکان اینباره ای نیز ممکن است بین مراحل تعریف شده باشد. برای روشن شدن مطالب فوق یک سیستم که در شکل (۱) تعریف شده است در نظر بگیرید. هر نمودار نشان دهنده یک سیستم دو مرحله است. در شکل (۱-الف) دو امکان تولید به صورت سری هستند منظور از عبارت "امکان تولید" یک سیستم جزئی است که خود به تنها می تواند به عنوان یک سیستم مجزا بطور کامل زمان بندی شود. یک امکان تولید می تواند یک ماشین، یک دپارتمان، یک خط تولید، یک طرح کامل یا یک مجموعه ای از طرح ها باشد که بستگی به طبیعت مسئله مورد مطالعه دارد.

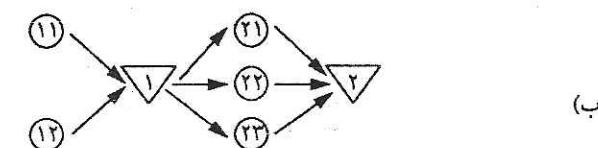
(الف) امکانات تولید به صورت سری هستند.

(ب) امکانات تولید موازی هستند و در اینارهای مشترک می باشند.

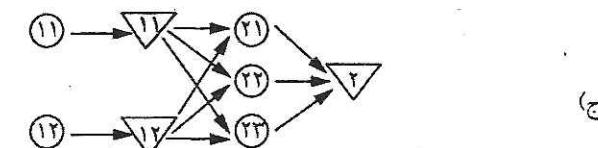
(ج) امکانات تولید موازی هستند ولی اینارهای جداگانه بین مراحل موجود است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- نمایش مختلف تولید دو مرحله‌ای یک محصول

ارتباط بین آنها را در نظر بگیریم (کما یافته در مثال ۲) با خاطر تعریف متغیرها مجبور بودیم که چنین کنیم) دوام آنکه در مسائل چند مرحله‌ای وقتی که هزینه‌ها، سرعت تولید یا فرآیند تولید عوض می‌شود بسیار ساده‌تر قابل اعتماد هستند، زیرا فقط قسمتی از مدل تحت تأثیر واقع خواهد شد.

۷-الف: یک سیستم با M مرحله سری و با چند فرآیند تولید در هر مرحله سیستمی را تصور کنید که شامل M مرحله بطور سری و هر مرحله شامل یک امکان تولید مجرد و یک ابزار باشد. در هر مرحله $\sum_{j=1}^M$ ممکن است منابع تولیدی متعددی (فرآیند تولید مختلف) مانند ساعات معمولی، ساعات اضافی، حاله کار به خارج، روش‌های مختلف در ماشینها و غیره باشد. فرض کنید:

X_{jk} : تعداد محصول در مرحله j که بروش k تولید می‌گردد.

c_{jk} : هزینه متغیر تولید برای هر واحد در مرحله j اگر از روش k استفاده گردد.

b_{jl} : مقداری که از منبع نوع l جهت مرحله j در دسترس است ($L_j = 1, 2, \dots, L$)

a_{jw} : مقدار منبع w که جهت تولید یک واحد در مرحله j بتوسط روش w مصرف می‌گردد.

D : تعداد واحدی که از محصول تکمیل شده باشد در هر دوره تولید گردد.

Z : کل هزینه تولید در هر دوره.

به عبارت بهتر می‌خواهیم مجموعه متغیرهای X_{jk} را آن چنان اختیار کنیم که:

$$Z = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{k_j} c_{jk} X_{jk} \quad (14)$$

را با توجه به محدودیت‌های زیر مینیمیم سازد.

(۱) محدودیت منابع در هر مرحله:

$$\sum_{k=1}^{k_j} a_{jkl} X_{jk} \leq b_{jl}, \quad (j = 1, 2, \dots, M; l = 1, 2, \dots, L_j) \quad (15)$$

(۲) تعادل موجودی ابزار بین مراحل:

$$\sum_{k=1}^{k_j} X_{jk} = \sum_{k=1}^{k_{j+1}} X_{j+1,k} \quad (j = 1, 2, \dots, M - 1) \quad (16)$$

(۳) تقاضای محصول تمام شده:

$$\sum_{k=1}^{K_M} X_{Mk} = D \quad (17)$$

۷-ب: یک سیستم M مرحله‌ای بطور سری با روش و محصولات متعدد در هر مرحله حال مدل مثال ۵ را عمومیت داده و حالتی را در نظر می‌گیریم که تعداد محصولات بیش از یکی باشد. تصور کنید که n نوع محصول مختلف تکمیل شده توسط سیستم تولید می‌گردد. هر مرحله n نوع محصول تولید می‌نماید، به

تمکیلی در ساعت اضافه کاری انجام پذیرد. همچنین فرض کنید که $\sum_{i=1}^n$ هزینه مته کاری و پرسکاری یک واحد از محصول i در داخل همراه با هزینه مواد، $\sum_{i=1}^n$ هزینه بدست آوردن یک محصول i مته کاری و پرسکاری شده از خارج و $\sum_{i=1}^n$ هزینه فرآیند یک واحد از محصول i از مرحله ۲ با بکارگیری فرآیند i باشد.

تابع هدف عبارت از مینیمیم کردن کل هزینه تولید به صورت زیر است:

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^n (a_i w_i + b_i x_i + c_{i1} y_{i1} + c_{i2} y_{i2})$$

به طوریکه محدودیت‌های زیر برقرار باشد:

(۱) ظرفیت مرحله I

$$0.10w_1 + 0.10w_2 + 0.10w_3 + 0.10w_4 \leq 400$$

$$0.12w_1 + 0.10w_2 + 0.10w_3 + 0.10w_4 \leq 400$$

$$0.12w_1 + 0.12w_2 + 0.12w_3 + 0.12w_4 \leq 400$$

(۲) ظرفیت مرحله II

$$\sum_{j=1}^4 (0.05y_{1j} + 0.1y_{2j} + 0.05y_{3j} + 0.12y_{4j}) \leq 500$$

$$0.10y_{11} + 0.20y_{21} + 0.10y_{31} + 0.12y_{41} \leq 400$$

$$0.10y_{12} + 0.20y_{22} + 0.10y_{32} + 0.12y_{42} \leq 100$$

$$\sum_{i=1}^4 (0.10y_{1i} + 0.05y_{2i} + 0.10y_{3i} + 0.05y_{4i}) \leq 400$$

(۳) معادلات تعادل موجودی

$$w_i + x_i = y_{i1} + y_{i2}, \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$y_{11} + y_{12} = 3000$$

$$y_{21} + y_{22} = 500$$

$$y_{31} + y_{32} = 1000$$

$$y_{41} + y_{42} = 2000$$

حل بهینه این مدل برنامه‌ریزی خطی عبارت است از $w_1^* = 3000$, $w_2^* = 1000$, $w_3^* = 500$, $w_4^* = 1667$

$x_1^* = 233$, $x_2^* = 3000$, $x_3^* = 300$, $x_4^* = 2000$, $y_{11}^* = 300$, $y_{12}^* = 200$, $y_{21}^* = 2000$, $y_{22}^* = 1000$ و بتیه متغیرها برابر

صفر هستند. این جواب بهینه همان جواب است که در جدول ۳ قابل ارایه داده بودیم.

با مقایسه مثال ۵ و مثال ۲ فوراً در می‌یابیم که در اینجا تعداد ۱۵ محدودیت و ۱۶ متغیر داریم و حال آنکه در

مثال ۴ تعداد ۱۱ محدودیت و ۱۶ متغیر داشتیم. محدودیت‌های اضافی در اینجا به سبب تعادل موجودی در دو ابزار است. اگرچه ما عموماً سیستم‌های را که دارای محدودیت کمتری هستند، ترجیح می‌دهیم ولی مدل‌های چند مرحله‌ای مزیت‌هایی دارند که به اضافی بودن بعد می‌ازند. اول اینکه لازم نیست که تمام ترکیبات ممکنه، امکان و

$$\begin{aligned} j &= 2, 3 \\ Z &= \text{مشارکت در سود و هزینه بالاسری برای دوره مورد برنامه ریزی.} \end{aligned}$$

این مسئله یک مدل محصول ترکیبی است که در آن فرض می‌نماییم حداقل تمام محصولات نوع ۲ و ۳ به ترتیب با تعداد U_2 و U_3 خواهند رفت. بنابراین مدل برنامه ریزی خطی آن بصورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \text{MaxZ} &= r_2 x_2 + r_3 (x_3 - a_{23} x_3) - c_1 x_1 - c_2 x_2 - c_3 x_3 \\ &= (r_2 - a_{23} r_3 - c_2) x_2 + (r_3 - c_3) x_3 - c_1 x_1 \end{aligned}$$

به طوری که

$$X_j \leq P_j \quad (j = 1, 2, 3)$$

$$X_1 = a_{12} X_2 + a_{13} X_3$$

$$X_2 \geq a_{23} X_3$$

$$L_2 \leq X_2 - a_{23} X_3 \leq U_2$$

$$L_3 \leq X_3 \leq U_3$$

یک مدل برنامه ریزی خطی دیگر برای این مسئله با تعریف متغیرهای اضافی S_2 و S_3 که به ترتیب نمایشگر فروش محصولات ۲ و ۳ هستند بدست می‌آید. این مدل عبارت است از:

$$\text{MaxZ} = r_2 s_2 + r_3 s_3 - c_1 x_1 - c_2 x_2 - c_3 x_3$$

به طوری که

$$X_j \leq P_j \quad (j = 1, 2, 3)$$

$$X_1 = a_{12} X_2 + a_{13} X_3$$

$$X_2 = a_{23} X_3 + S_2$$

$$X_3 = S_3$$

$$L_2 \leq S_2 \leq U_2$$

$$L_3 \leq S_3 \leq U_3$$

این مدل معادله تعادل مواد در مرحله دوم را تکمیل نموده و یک معادله تعادل موجودی به مرحله سوم می‌افزاید که در حالات تک پریودی مزبته بر این مدل نیست. ولی این تنها راه برای مدل‌بندی مسائل تولید ترکیبی خاص در موقعیت‌های چند دوره بوده است.

۸- مدل عمومی برنامه ریزی خطی

در این قسمت مدل عمومی برنامه ریزی خطی برای تعیین برنامه تولید ادغامی مورد بحث قرار می‌گیرد. برای بدست آوردن این حل باید فرضیاتی در مورد ساختمن هزینه بناییم. از آنجایی که این پیش فرض‌ها محدود کننده بوده و از واقعیت به دور می‌شویم، این روش منجر به حل بهینه مسئله ساده شده من شود. لذا قبل از استفاده از این روش تحلیل‌گر باید مطمئن باشد که این دور شدن از واقعیت به سبب پیش‌فرض‌ها به بهای بدست آوردن حل بهینه و

طوری که آمین محصول از زامن مرحله فقط احتیاج دارد که آمین محصول از $(j+1)$ امین مرحله تولید گردد. فرض کنید که k_{ijl} تعداد واحد از محصول j باشد که در مرحله l توسط روش i باشد. k_{ijl} تولید می‌گردد و D_i تعداد محصول تکمیل شده مورد نیاز از نوع j باشد.

بنابراین مسئله برنامه ریزی خطی به صورت زیر خواهد بود:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{k_{ij}} c_{ijk} X_{ijk} \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{k_{ij}} a_{ijkl} X_{ijk} \leq b_{jl} \quad (j = 1, 2, \dots, M; l = 1, 2, \dots, L_j) \quad (19)$$

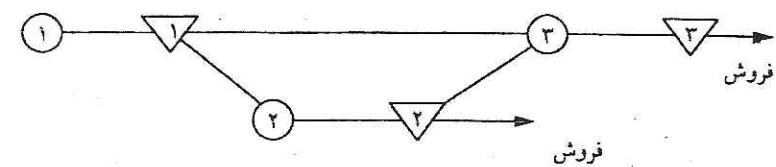
$$\sum_{k=1}^{k_{ij}} X_{ijk} = \sum_{k=1}^{k_{ij+1}} X_{ij+1,k} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, M-1) \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^{k_{iM}} X_{iMk} = D_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (21)$$

که در آن محدودیت میانی در ارتباط با معادله تعادل مواد بین مرحله j و $j+1$ است.

مثال ۷- مسئله چند مرحله‌ای به طور سری

یک سیستم سه مرحله‌ای نظر شکل ۳ را در نظر بگیرید. یک محصول توسط هر مرحله تولید می‌گردد. محصول مرحله ۱ جهت تولید محصولات در مرحله ۲ و ۳ به کار می‌رود. محصول مرحله ۲ جهت تولید محصول در مرحله ۳ به کار رفته و همچنین می‌تواند پس از آن تحویل مشتری داده شود. محصول مرحله ۳ فروخته می‌شود.



شکل ۳- سیستم تولید مثال ۶

حل: فرض کنید:

x_j = تعداد محصول در مرحله j باشد.

p_j = ظرفیت مرحله j بر حسب تعداد محصول.

a_{ij} = تعداد واحد از محصول مرحله i که برای تولید یک واحد محصول در مرحله j لازم است.

b_j = هزینه متغیر تولید که برای هر واحد باید در مرحله j متحمل گردید.

r_j = عایدی حاصل از فروش محصول j

Z_j = حداقل تقاضا برای محصول j

$A_{p,t}$ = هزینه نگهداری هر واحد محصول.
 S_t = میزان کسری در پایان دوره t .
 $A_{h,t}$ = هزینه هر واحد کسری در دوره t .
 H_t = استخدام جدید بر حسب ساعت در دوره t .
 $A_{a,t}$ = هزینه افزایش کار به میزان یک ساعت در دوره t .
 L_t = اخراج بر حسب ساعت در دوره t .
 $A_{k,t}$ = هزینه کاهش کار به میزان یک ساعت در دوره t .
 U_t = میزان کارکرد زیر ظرفیت نیروی انسانی در دوره t .
 F_t = تقاضای پیش‌بینی شده برای دوره t .
 k = ضریب تبدیل هر واحد محصول به نفر - ساعت.
 T = افق برنامه‌ریزی یا تعداد دوره‌هایی که باید مورد توجه قرار گیرند.

در مواقعي که هزینه تولید صرف نظر از هزینه نیروی انسانی یعنی $A_{p,t}$ در تمام دوره‌ها ثابت است، این هزینه می‌تواند از تابع هدف حذف شود. به همین ترتیب اگر سطح نیروی انسانی ثابت باشد، هزینه اوقات معمولی، استخدام و اخراج همراه با محدودیت (۲۴) حذف خواهد شد. اگر می‌خواستیم برنامه تولید ادغامی را از دیدگاه حداکثر کردن سود مورده توجه قرار دهیم، کافی بود که معادله (۲۲) را از کل فروش در طول دوره برنامه‌ریزی کم کنیم و سپس ارزش موجودی نهایی را به آن بیفزاییم، یعنی:

$$\text{MaxZ} = VI_t + \sum_{t=1}^T (VP_t - A_{p,t} P_t - \dots)$$

اگر مقاصد هر دسته از محدودیتها را مورد بررسی قرار دهیم، آموزنده خواهد بود. معادله (۲۳) لازم می‌بیند که سطح موجودی به صورت دوره به دوره سازگار باقی بماند. یعنی موجودی پایانی دوره t یا میزان کسری S_t برابر است با آنچه که از دوره $t-1$ باقی مانده بود. بعلاوه مقداری که در دوره t تولید می‌شود (P_t) (منهای تقاضای پیش‌بینی شده F_t). در این محدودیت فرض بر آن است که تمام کسری کالا به جلو برد شده و در آینده تحویل داده می‌شود و در نتیجه کسری کالا هیچ وقت منجر به از دست دادن قدرت فروش آن نمی‌شود. اگر متغیرهای S_{t+1} ، S_t را از معادلات (۱) و (۲) و (۵) حذف می‌کردیم مسئله به حالت دیگری محدود می‌شد که در آن کسری کالا مجاز نبود. به همین ترتیب اگر می‌خواستیم یک موجودی احتیاطی I_B واحد هم داشته باشیم، متغیرهای S_t و S_{t+1} را از مدل حذف و مجموعه محدودیتهای زیر را اضافه می‌کردیم.

$$I_t \geq I_B \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

اگر محدودیت حداکثر موجودی I_{\max} داشتیم، مجموعه محدودیتهای زیر را هم اضافه می‌کردیم.

$$I_t \leq I_{\max} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

محدودیت (۳) نمایشگر یک مجموعه محدودیت است که سازگاری دوره به دوره سطح نیروی انسانی را ایجاب می‌کند. یعنی سطح نیروی انسانی دوره t برابر است با سطح نیروی انسانی دوره $t-1$ بعلاوه استخدام جدید H_t منهای اخراج L_t . همانند قبل می‌توانستیم مسئله را به عدم اخراج و یا استخدام محدود سازیم و این متغیرها را

تابع آن می‌ارزد. زحمات زیادی برای فرموله کردن مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی از طریق برنامه‌ریزی خطی کشیده شده است. در سال ۱۹۵۶، Bowman یک مدل حمل و نقل ارایه داد که در آن ظرفیت تولید ماهیانه به عنوان چشم و تقاضای ماهیانه به عنوان چاه بود که ما این روش را به تفصیل در فصل بعدی این کتاب تحت عنوان کاربرد مدل حمل و نقل در برنامه‌ریزی تولید ادغامی مورد مطالعه قرار خواهیم داد. بوفاومیلر در سال ۱۹۷۹ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عمومیت یافته آنچنان عرضه داشتند که شامل سطح تولید، سطح نیروی انسانی، موجودی مازاد بر تقاضا، کسری کالا، استخدام و اخراج به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری می‌شد. پس فرض‌های اولیه این مدل عبارت از خطی بودن هزینه‌ها بر حسب این متغیرها و همچنین اعداد حقیقی بودن آن‌ها بود. به عنوان مثال، هزینه کسری کالا متناسب با میزان کسری از درجه اول بود. این فرض غیر واقعی است. اگر میزان کسری خیلی کم باشد، مشتری با اندکی گلایه صبر خواهد کرد، بنابراین هزینه آن هم ناچیز خواهد بود. اگر میزان کسری زیاد باشد مشتری به سراغ تولید کننده دیگری خواهد رفت و در نتیجه هزینه خطی غیرقابل پذیرش خواهد بود. به عنوان مثال دوم، مسئله عدد حقیقی بودن میزان تولید را در نظر بگیرید. غالباً میزان تولید یک عدد صحیح است. در بعضی موارد خطای حاصل از فرض هدف مدل برنامه‌ریزی خطی حداقل کردن هزینه به شکل داده شده در فرمول (۲۲) است به طوری که محدودیت‌های (۲۳) تا (۲۶) برقرار باشد.

$$\text{MinZ} = \sum_{t=1}^T [A_{p,t} P_t + A_{T,t} R_t + A_{o,t} O_t + A_{i,t} I_t + A_{h,t} S_t + A_{h,t} H_t + A_{k,t} L_t] \quad (22)$$

به طوری که

$$I_t - S_t = I_{t-1} - S_{t-1} + P_t - F_t \quad \text{for } t = 1, 2, \dots, T \quad (23)$$

$$R_t = R_{t-1} + H_t - L_t \quad \text{for } t = 1, 2, \dots, T \quad (24)$$

$$O_t - U_t = kP_t - R_t \quad \text{for } t = 1, 2, \dots, T \quad (25)$$

$$R_o O_o I_o S_o H_o L_o U_o \geq 0 \quad \text{for } t = 1, 2, \dots, T \quad (26)$$

$$P_t \geq 0$$

که در آن :

$$P_t = \text{سرعت تولید در زمان } t$$

$$A_{p,t} = \text{هزینه تولید هر واحد محصول صرف نظر از نیروی انسانی در دوره } t$$

R_t = تعداد نفر - ساعت موجود در اوقات معمولی دوره t (اگر بر حسب تعداد کارگران مورد نظر باشد ترجیح داده می‌شود که با W_t نشان داده شود).

$$A_{r,t} = \text{هزینه هر نفر - ساعت در اوقات معمولی دوره } t$$

$$O_t = \text{تعداد ساعات اضافه کاری دوره } t$$

$$A_{o,t} = \text{هزینه هر نفر - ساعت در اوقات اضافه کاری در دوره } t$$

$$I_t = \text{موجودی در ابیار در پایان دوره } t$$

$$\text{MinZ} = \sum [175P_t + 30,6R_t + 22,0O_t + 12I_t + 20L_t + 15H_t] \quad (1)$$

به طوری که:

$$I_t = I_{t-1} + P_t - F_t \quad t = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (11)$$

$$R_t = R_{t-1} + H_t - L_t \quad t = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (12)$$

$$O_t - U_t = 5P_t - R_t \quad t = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (13)$$

$$P_t, R_t, O_t, I_t, H_t, L_t, U_t \geq 0 \quad t = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (14)$$

و

$$R_0 = 22 \times 40 = 880$$

$$I_0 = 0$$

$$F_1 = 260, F_2 = 270, F_3 = 300, F_4 = 310, F_5 = 270$$

یک برنامه کامپیوتری که قادر به حل این مسئله در ۲۸ مرحله تکرار بود تابیخ زیر را تولید کرده است:

$$Z = 576,922,50$$

$$P_1 = 283,75$$

$$P_2 = 283,75$$

$$P_3 = 283,75$$

$$P_4 = 283,75$$

$$P_5 = 310,00$$

$$P_6 = 270,0$$

$$R_1 = 141,875$$

$$R_2 = 141,875$$

$$R_3 = 141,875$$

$$R_4 = 141,875$$

$$R_5 = 141,875$$

$$R_6 = 125,00$$

$$O_0 = 131,25$$

$$I_1 = 92,75$$

$$I_2 = 107,00$$

$$I_3 = 86,25$$

$$H_1 = 53,875$$

$$L_1 = 67,75$$

رقم هزینه ۵۷۶,۹۲۲,۵۰ با ۵۷۶,۹۲۳ واحد پول، کمی از هزینه بدست آمده در روش تجربی بیشتر است. این

واحد پول	تعداد محصول	نفر - ساعت در اوقات معمولی				
						نفر - ساعت در اوقات معمولی
						نفر - ساعت در اوقات معمولی
						نفر - ساعت در اوقات معمولی
						نفر - ساعت در اوقات معمولی
						نفر - ساعت در اوقات معمولی
						نفر - ساعت در اوقات معمولی
						نفر - ساعت در وقت اضافه کاری
						موجودی بر حسب تعداد محصول
						موجودی بر حسب تعداد محصول
						موجودی بر حسب تعداد محصول
						نفر - ساعت استخدام شده
						نفر - ساعت اخراج شده

از معادلات (۱) و (۳) و (۵) حذف کنیم. بعلاوه می‌توانیم سطح نیروی انسانی را در دامنه مشخص نگه داریم. به عنوان مثال بزرگتر از R_{\min} و کوچکتر از R_{\max} یعنی محدودیت‌های زیر:

$$R_t \geq R_{\min} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

$$R_t \leq R_{\max} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (9)$$

معادله (۴) نشان دهنده یک مجموعه از محدودیت‌هایی است که میزان اضافه کاری O_t یا زیر ظرفی U_t برای داشتن سرعت تولید P_t است. چونکه O_t بر حسب ساعت بیان شده‌اند، سرعت تولید P_t به توسط ضریب تبدیل k ساعت کار برای هر واحد محصول به زمان تبدیل P_t است. با کسر کردن ساعت‌ها از مجموع معمولی موجود R_t از زمان لازم kP_t میزان اضافه کاری و یا زیر ظرفی کار کردن تنظیم می‌گردد. همچنین می‌توانستیم مسئله را به حالت دیگری که در آن کار کردن زیر ظرفی قدرنباشد، با حذف U_t از معادلات (۴) و (۵) محدود سازیم.

یک حالت دیگر را هم می‌توانستیم با این فرموله کردن در نظر بگیریم. به عنوان مثال اگر قرارداد جنبی مجاز بود، یک متغیر جدید C_t هم وارد مدل می‌شود. در آن صورت C_t به تابع هدف (۱)، C_t به معادلات (۲) و (۵) اضافه می‌شود و KC_t از معادله (۴) کم می‌شود. واضح است که این مدل برنامه‌ریزی خطی کاملاً انعطاف‌پذیر است.

مثال عددی ۱ - کارخانه تلویزیون رنگی

برای درک بیشتر این روش ابتدا حل مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را برای آخرین مسئله ارایه شده در فصل قبل در نظر بگیرید. به خاطر بیارید که هزینه تولید هر واحد محصول در اوقات معمولی ۱۵۳ واحد پول بود. در معادله (۱) این رقم مربوط به A_{ij} است و باید بر حسب واحد پول برای هر نفر - ساعت بیان شود. با تقسیم ۱۵۳ به زمان استاندارد ۵ ساعت برای هر محصول خواهیم داشت، یعنی $A_{ij} = 30,600$. واحد پول برای هر نفر - ساعت به همین ترتیب در بررسی هزینه اضافه کاری داشتمیم که هزینه تولید هر محصول در روزهای پنجشنبه و جمعه به ترتیب ۱۹۸ واحد پول و ۲۴۳ واحد پول بود. تقریب خطی این هزینه‌ها برابر ۲۱۰ واحد پول است که با تقسیم به زمان استاندارد، هزینه A_{ij} برابر ۴۲ واحد پول خواهد بود. قبل از هزینه مواد و سربار با رابطه $P_t = 15,000 + 5,000 A_{ij}$ داده شد. این رابطه هم باید با یک تقریب خطی تخمین زده شود. لذا عدد انتخاب شده برای A_{ij} برابر ۱۷۵ واحد پول است. هزینه نگهداری با رابطه $A_{ij} = 12,100 + 1,000 A_{ij}$ داده شده بود. این رابطه هم باید تقریب خطی زده می‌شود و در نتیجه ضریب A_{ij} برابر ۱۲ واحد پول انتخاب گردید. قبل از هزینه اخراج توسط چند جمله‌ای $71L_t + 37L_t^2$ تخمین زده شده بود و حالا به توسط 800 واحد پول برای هر فرد اخراجی تقریب زده می‌شود. چونکه A_{ij} بر حسب واحد پول به ازاء هر ساعت کار آزاد است بدهد متنج از اخراج بیان می‌گردد، بنابراین با تقسیم 800 بر 40 خواهیم داشت: $A_{ij} = 20$.

بالاخره هزینه استخدام و آموخته که قبل از توسط مدل $H_t = 200H_t + 200H_t^2$ تخمین زده شده بود، در اینجا با 60 واحد پول برای هر فرد و یا $A_{ij} = 15$ واحد پول برای هر ساعت تقریب زده شد.

در این مسئله نمونه، کسری کالا مجاز نبود و در نتیجه متغیرهای S_t و ضریب A_{ij} از معادلات (۱) و (۲) حذف گردیدند. بنابراین مدل برنامه‌ریزی خطی حاصله برای ۶ دوره آزمایشی به شرح زیر است:

جدول ۸ - پیش‌بینی تقاضا، موجودی احتیاطی و روزهای کاری کارخانه تولید کننده لوازم یدکی

فصل	پیش‌بینی تقاضا (نفر- ساعت)	ذخیره احتیاطی (نفر- ساعت)	تعداد روزهای کاری
۱	۲۷۳۷۳	۵۴۷۵	۶۶
۲	۷۶۱۶۰	۱۵۲۲۲	۶۰
۳	۳۸۰۸۰	۷۶۱۶	۵۴
۴	۵۷۱۲۰	۱۱۴۲۴	۵۸

جدول ۹ - هزینه‌ها و سایر اطلاعات لازم کارخانه تولید کننده لوازم یدکی

هزینه استخدام	۱۲۰۰ واحد پول فراردادی برای هر نفر
هزینه اخراج	۱۰۰۰ واحد پول فراردادی برای هر نفر
مزد کارگران در اوقات معمولی	۱۰ واحد پول فراردادی برای هر نفر - ساعت
هزینه نگهداری کالا	۰/۹۰ واحد پول فراردادی برای هر نفر - ساعت در یک فصل
موجودی اولیه	۱۰۰۰ واحد کالا
تعداد کارگران اولیه	۷۵ نفر
ظرفیت ساعت اوقات معمولی	۸۹۰ نفر - ساعت در روز
حداکثر اضافه کاری	۸ ساعت برای هر کارگر در هفته
مزد کارگران در اوقات اضافه کاری	۱۵ واحد پول فراردادی برای هر نفر - ساعت
تعداد روزهای کاری در هفته	۵ روز
ساعت کار عادی روزانه	۸ ساعت

در این مسئله هدف مینیم کردن مجموع هزینه‌های تولید در وقت معمولی و اضافه کاری و همچنین هزینه‌های نگهداری، استخدام و اخراج است. متغیرهای تصمیم‌گیری این مسئله به صورت زیر است:

H_t سطح موجودی در پایان فصل t (بر حسب نفر - ساعت)

O_t تعداد نفر - ساعت کار اضافه کاری در فصل t (بر حسب نفر - ساعت در روز)

W_t تعداد کارگران فصل t

H_{t+1} تعداد کارگرانی که در ابتدای فصل t استخدام می‌شوند.

L_t تعداد کارگرانی که در ابتدای فصل t اخراج می‌شوند.

با استفاده از این متغیرهای تصمیم‌گیری و اطلاعات داده شده در جداول ۸ و ۹ تابع هدف مسئله فوق به صورت زیر خواهد بود.

نتیجه بدان معنی نیست که مدیریت از حل بهینه هم بهتر عمل کرده است، بلکه معنی آن این است که تقریب خطی آنقدر از واقعیت دور شد که روش مدیریت برای مسئله واقعی بهتر از مسئله ساده شده عمل کرد. اگر طرح داده شده در جدول (۱۰) روش تجربی فصل قبل را با استفاده از تابع هدف (۱۰) ارزیابی می‌کردیم، تصمیم مدیریت باعث ۶۲۰۴۷۱ واحد پول هزینه و روش تجربی ۵۸۶۰۲۶ واحد پول هزینه می‌شد. اگر می‌خواستیم حل مدل برنامه‌ریزی خطی را برای معادلات هزینه واقعی بدست آوریم، هزینه کل ۷۵۹۲۵۵ واحد پول می‌شد که باز هم از تصمیم فعلی مدیریت به مراتب بدتر بود. این نتیجه میان آن است که تقریب خطی باعث این همه خطای است.

با این وجود روش برنامه‌ریزی خطی از بسیاری از محدودیت‌های روش تجربی مبربی است. در برنامه‌ریزی خطی از عدم سازگاری روش مدیریت خوبی نیست. مدل آن با تغییر هزینه قابل تغییر است. اگر نیروی انسانی کمیاب شود، مدل با افزایش هزینه ای استفاده از تغییر در سطح نیروی انسانی اجتناب خواهد کرد. با اینکه اگر عوامل دیگر تغییر یابند، مدل با تغییر هزینه‌های دیگر قابل تنظیم است. حال سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا افزایش هزینه کل به خاطر ساده کردن مسئله به قیمت سازگاری و قابلیت انعطاف می‌ارزد؟

یک مدل کلاسیک برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی توسط Simon, Holt و Muth ارایه شده است. آن‌ها خاطر نشان ساختند که در فرموله کردن مسائل توابع هزینه درجه دوم حل بهتری را عاید خواهد ساخت. مدل آن‌ها شامل هزینه‌های حقوقی ماهیانه، استخدام و اخراج، اضافه کاری و کار کدن زیر ظرفیت، موجودی و سفارشات عقب افتاده است. با مشتق‌گیری جزئی از تابع هزینه نسبت به هر یک از متغیرهای تصمیم‌گیری یک مجموعه معادلات خطی حاصل خواهد شد. تنها محدودیت مورد نیاز در این مدل همان رابطه معروف تغییر موجودی و غیرمخفی بودن حل نهایی است. با استفاده از روش لاگرانژ دستورالعمل بهینه تعیین سطح نیروی انسانی و سرعت تولید به دست خواهد آمد.

این روش دارای محدودیت جدی است. روش پیچیده‌ای برای تخمین ضرایب هزینه درجه دوم مورد نیاز است. برای دوره برنامه‌ریزی طولانی تر تعداد معادلات خطی به مراتب زیادتر شده و در نتیجه خطای زیادی حاصل خواهد شد. شاید هم قویترین عقب‌نشینی در این زمینه مشکل درک این روش برای مدیریت باشد. در هر حال ما این روش را تحت عنوان «روش دستورالعمل خطی» به تفصیل در فصل پنجم این کتاب مورد بررسی مجدد قرار خواهیم داد.

حال از آنجایی که تعریف واحد اندازه‌گیری متغیرهای تصمیم‌گیری در مسائل فوق در مسائل مختلف باعث بروز مشکلاتی می‌شود، لذا ترجیح می‌دهیم که این مدل را برای دو مسئله کاربردی دیگر نیز به کار گیریم. مثال اول یک مسئله بررسی مورد جدید است ولی مثال دوم همان مسئله کارخانه پارچه باقی فصل دوم است که با استفاده از مدل‌های مکائسه‌ای حل شده بود. در هر دو مورد حل بهینه آن‌ها توسط کامپیوتر نیز آورده شده است.

مثال عددی ۲ - مورد جدید

یک کارخانه تولید کننده لوازم یدکی را در نظر بگیرید. پیش‌بینی تقاضا، سطح موجودی احتیاطی، تعداد روزهای کاری در هر یک از چهار فصل آینده در جدول ۸ داده شده است. هزینه‌های مربوط به استخدام، اخراج و همچنین مزد کارگران در ساعت معمولی و هزینه نگهداری و بالاخره سایر اطلاعات لازم نیز در جدول ۹ داده شده است.

متغیرهای تصمیمگیری در این مسئله به شرح زیر می‌باشند:
 در تمام موارد زیر $1, 2, \dots, n = 1$ است.
 W_i = تعداد کارگران در ابتدای ماه i .
 H_i = تعداد کارگرانی که در ابتدای ماه i استخدام می‌شوند.
 L_i = تعداد کارگرانی که در ابتدای ماه i اخراج می‌شوند.
 O_i = تعداد ساعات اضافه کاری در ماه i (نفر - ساعت)
 I_i = موجودی پایانی ماه i (نفر - ساعت)
 S_i = تعداد ساعات قرارداد جنبی ماه i (نفر - ساعت)

جدول ۱۳ - اطلاعات لازم برای مدل برنامه‌ریزی خطی کارخانه پارچه‌بافی

نفر	۴۳۵	تعداد کارگران موجود در آغاز برنامه‌ریزی
نفر	۳۰	حداکثر تعداد کارگردانی که در هر ماه می‌توانند استخدام شوند
نفر	۵۶۰	حداکثر تعداد کارگران در هر ماه
ساعت	۷	تعداد ساعات کاری روزانه اوقات معمولی
ساعت	۲۱	حداکثر تعداد ساعاتی که هر کارگر در ماه می‌تواند اضافه کاری کند
واحد پول قراردادی	۳	هزینه اضافی هر ساعت اضافه کاری
واحد پول قراردادی	۵۰۰	هزینه استخدام هر کارگر
واحد پول قراردادی	۴۰۰	هزینه اخراج هر کارگر
واحد پول قراردادی	۴	هزینه اضافی هر ساعت قرارداد جنبی
واحد پول قراردادی	۰,۴۵	هزینه نگهداری هر نفر - ساعت محصول در ماه

اگر تعداد روزهای کاری و تقاضا در ماه i در جدول ۱ فصل ۲ را به ترتیب با P_i و D_i نشان دهیم مدل برنامه‌ریزی خطی کارخانه پارچه‌بافی بصورت زیر خواهد بود:

$$MinZ = \sum_{j=1}^n [3O_i + 500H_i + 400L_i + 0,45I_i]$$

بطوری که برای $1, 2, \dots, n = 1$ داشته باشیم.

$$W_i = W_{i-1} + H_i - L_i$$

$$W_0 = 435$$

$$H_i \leq 30$$

$$W_i \leq 560$$

$$O_i \leq 21 W_i$$

مصرف در دوره i ذخیره گردد. ضمناً باید توجه نمود که حل بهینه مدل برنامه‌ریزی خطی جواب غیر عدد صحیح برای تعداد کارگران می‌دهد که به دو صورت زیر این مشکل قابل حل است.

(الف) از کارگران نیمه وقت استفاده شود.

(ب) اعداد به دست آمده به نزدیکترین عدد صحیح گرد شود.

جدول ۱۱ - حل بهینه کارخانه تولید کننده لوازم یدکی

فصل	تعداد کارگران	تعداد استخدام	تعداد اخراج	موجودی مازاد بر ذخیره احتیاطی	مدت اوقات معمولی (نفر ساعت در روز)	اضافه کاری (نفر ساعت در روز) (نفر ساعت در روز)
۱	۱۱۱/۲۵	۳۶/۲۵	-	۳۲۰۸۴	۸۹۰	-
۲	۱۱۱/۲۵	۰	۰	۰	۸۹۰	۲۵
۳	۱۰۲	۰	۹/۲۵	۱۳۶۰۰	۸۱۶	-
۴	۱۰۲	۰	۰	۰	۸۱۶	-

حل مدل برنامه‌ریزی خطی می‌تواند، اطلاعات ارزنده دیگری نیز در اختیار مدیر قرار دهد. به عنوان مثال قسمتی از جواب‌های مسئله مزدوج که همانا بیانگر ارزش منابع مصرف هستند، در جدول ۱۲ داده شده‌اند. همانطوری که از این جدول برمی‌آید، ارزش جبران هر واحد تقاضای اضافی در دوره ۲ (به توسط اضافه کاری) ۵ واحد پول قراردادیست. همچنین اگر تقاضای دوره ۳ یک واحد اضافه شود هزینه کل مسئله ۱,۲۹ واحد پول قراردادی کاهش خواهد یافت.

جدول ۱۲ - قیمت‌های مجازی مفید در کارخانه تولید کننده لوازم یدکی

فصل	۱	۲	۳	۴
ارزش افزایش ظرفت هر ساعت از اوقات معمولی (واحد پول قراردادی هر ساعت) هزینه تدارک تقاضای اضافی	۴/۱	۰/۴۲	-	-
(واحد پول قراردادی برای هر ساعت)	۴/۱	۵	-۱,۲۹	-۰,۳۹

مثال عددی ۳ - کارخانه پارچه‌بافی

در این قسمت می‌خواهیم برای مسئله کارخانه پارچه‌بافی فصل ۲ که قبل از روشن‌های مکائمه‌ای حل گردیده است مدل برنامه‌ریزی خطی بنویسیم و سپس حل بهینه آن را که به توسط کامپیوتر به دست آورده‌ایم با حل‌های قبلی مقایسه نماییم.

میرین‌های فصل سوم

- تصور کنید که طول دوره برنامه ریزی تولید یک مؤسسه تولیدی سه دوره باشد و در هر دوره دو روش تولید معمولی و اضافه کاری در اختیار باشد. در جدول زیر مفروضات مربوطه ارایه شده است:

پریود	ظرفیت بر حسب واحد محصول		هزینه تولید هر واحد محصول		تقاضای مورد انتظار
	ممولی	اضافه کاری	ممولی	اضافه کاری	
۱	۱۰۰	۲۰	۱۴	۱۸	۶۰
۲	۱۰۰	۱۰	۱۷	۲۲	۸۰
۳	۹۰	۲۰	۱۷	۲۲	۱۴۰

هزینه ابیارهایی جهت انتقال هر واحد کالا از یک دوره به دوره دیگر برابر ۱ واحد پول قراردادی است. سطح موجودی در ابتدای دوره برنامه‌ریزی ۱۵ واحد کالا است. مسئله را به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

- تصور کنید در یک کارگاه تولیدی سه محصول توسط چهار دپارتمان تولید می‌گردد. مفروضات مربوطه به صورت زیر است:

محصول	سطح تولید		ساعت تولید برای هر واحد محصول					سود هر واحد محصول
	میلیم	ماکریم	دیارتمان ۱	دیارتمان ۲	دیارتمان ۳	دیارتمان ۴		
A	۲۰	۲۰۰	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۱۰	
B.	۰	۱۰۰	۰/۱۲	۰/۰۵	—	۰/۱۰	۱۲	
C	۷۰	۱۸۰	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۸	۱۵	
ساعت تولید در دسترس			۳۶	۳۰	۳۷	۳۸		

مسئله را به صورت یک فرمول برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

- یک کارخانه تولید کننده گود شیمیایی که معمولاً کودهای ۵-۱۰-۵ و ۱۰-۸-۶ و ۱۴-۶-۴ تولید می‌نماید، سفارش کود ۸-۷-۵ دریافت می‌دارد (منظور از «۱۰-۸-۶» یعنی کوادی که شامل ۱۰٪ نیترات، ۸٪ نسفات و ۶٪ پتاس و ۷۶٪ مواد خشندی است). این کارخانه قصد دارد که این سفارش را با استفاده از محصولات تولید شده خود برآورده سازد. ارزش هر کیلو از کودهای ۵-۱۰-۵ و ۱۰-۸-۶ و ۱۴-۶-۴ به ترتیب ۰,۰۲، ۰,۰۳ و ۰,۰۴ واحد پول قراردادی است. تصور کنید که کارخانه در مقابل، کود استاندارد را با اندازه کافی در انبار داشته باشد. مطلوب است تعیین درصدی از کودهای استاندارد که برای تولید یک کیلو از کود سفارش شده باید با یکدیگر با حداقل هزینه مخلوط گرددن. آیا مدلی که ارایه می‌دهید دارای جواب قابل قبول هست یا خیر؟ چرا؟

$$L_i = L_{i-1} + \sqrt{P_i}W_i + O_i + S_i - D_i$$

$$I_x = I_{y\bar{x}} = \dots$$

$$W_i, O_i, H_i, L_i, S_i, I_i \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, 11$$

مدل برنامه‌ریزی خطی این مسئله دارای ۶۴ محدودیت و ۷۲ متغیر است که ما برای حل آن ترجیح دادیم که از سیستم MPSX/۳۷۰ سازمان برنامه و بودجه استفاده کنیم که در حال حاضر حل این مدل با نرم‌افزارهای موجود روی کامپیوتر شخصی هم امکان‌پذیر است. حل بهینه روند شده این مسئله در جدول ۱۴ خلاصه شده است. هرینه کل قبل و بعد از روند کردن اعداد به ترتیب $124989, 83$ و $125256, 25$ واحد پول قراردادیست که با حل آزمایش و خطای B تقریباً معادل است. تنها اختلاف این دو حل در تعداد نیروی انسانی در پنج دوره آخر به تعداد یک نفر کارگر است. ضمناً حل بهینه بدست آمده ما را قادر خواهد ساخت که از متغیرهای مسئله مذووج آن که دارای تعبیر اقتصادی هستند استفاده کنیم. قسمتی از این متغیرها در ستون آخر جدول ۱۴ ارایه شده است. این ستون در حقیقت متغیر تغییرات تابع هدف را نسبت به افزایش یک نفر - ساعت تقاضا نشان می‌دهد. به عنوان مثال اگر تقاضای مهر ماه یک نفر - ساعت اضافه شود $2,26$ واحد پول قراردادی از هرینه کل کاسته شده و حال آنکه اگر تقاضای ماه فروردین به اندازه یک نفر - ساعت افزایش باید به اندازه $4,40$ به هرینه کل اضافه خواهد شد.

جدول ۱۴ - جدول بهینه کارخانه پارچه‌بافی

ماه	W _i	H _i	تعداد استخدام	تعداد اخراج	تعداد کارگران	اضافه کاری	قرداد جنبی	موجودی	نفیسات تابع هدف	
									I _i	به ازای هر واحد افزایش تقاضا
مهر	۴۲۱	۰	۱۶	۰	۰	۰	۰	۲۹۹۸	-۲/۲۶	
آبان	۴۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹۷۳۲	-۱/۸۱	
آذر	۴۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴۷۸۲	-۱/۳۶	
دی	۴۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷۶۲۱	-۰/۹۱	
بهمن	۴۵۱	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۸۵۲	-۰/۴۶	
اسفند	۴۸۱	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۷۹۷	-۰/۰۱	
فروردین	۵۱۱	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۲۲۹	+۰/۴۴	
اردیبهشت	۵۴۷	۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۲۵۷	+۰/۸۸۸	
خرداد	۵۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۷۱	+۱/۲۷	
تیر	۵۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	+۱/۷۸۸	
مرداد	۵۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸۶	-۰/۴۲۴۵	
شهریور	۵۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۰۱۵۵	

۷ - یک کارگاه تولیدی دو محصول A و B را تولید می‌کند. این کارگاه دارای ۴ ماشین است. برای تولید هر محصول راههای متفاوتی وجود داشته و سود هر واحد محصول نیز با توجه به ترکیبات مختلفی که از ماشین‌ها استفاده می‌گردد، فرق می‌کند. جدول زیر ترکیبات مختلف، زمان و مقدادیر سود را ارایه می‌دهد.

سود هر واحد	زمان تولید هر واحد برحسب ساعت				محصول	روش
	ماشین ۱	ماشین ۲	ماشین ۳	ماشین ۴		
۲	-	۰/۲	-	۰/۵	۱	A
۲/۵	-	۰/۲	۰/۴	-		۲
۵	-	۰/۳	-	۰/۶	۱	B
۴	۰/۴	-	-	۰/۴		۲
۴	-	۰/۳	۰/۶	-	۳	
۳	-۰/۴	-	۰/۶	-		۴
	ساعت در دسترس	۲۳	۳۴	۳۱	۳۸	

این کارگاه دارای قراردادی است که باید حداقل ۱۰۰ واحد از محصول A و ۵۸ واحد از نوع B در هفته تحویل دهد. مسئله عبارت است از تعیین سودبخش‌ترین برنامه تولید برای کارگاه. این مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

۸ - یک بنگاه حمل و نقل دارای مسئله کمبود کامیون در بعضی نقاط و زیادی کامیون در نقاط دیگر است. این بنگاه با دو نوع کامیون سر و کار دارد. اطلاعات مندرج در جدول زیر وضعيت جاری را نشان می‌دهد:

نوع II	زیادی کامیون		مکان
	نوع I	نوع II	
-	۷	۲	کرج
۱	-	-	قزوین
۲	۶	-	دمавند
۱۰	-	-	قم
-	۵	۴	اراک
-	-	۲	کشاون

هزینه انتقال یک کامیون از یک مکان به مکان دیگر متناسب با فاصله آنها است.

الف) مسئله جابجایی کامیون‌ها را فرموله کنید، فرض بر آنست که نوع کامیون‌ها قابل تعویض نیست.
 ب) مسئله جابجایی کامیون‌ها را فرموله کنید، مشروط بر آنکه کامیون نوع II بتواند بجاگی کامیون نوع I استفاده شود، ولی عکس آن امکان پذیر نباشد. بعلاوه تصور کنید که هزینه جابجایی کامیون نوع II ۲۰ درصد بیش از هزینه جابجایی کامیون نوع I باشد. برای راحتی فرض کنید که هزینه اجاره هر دو نوع کامیون یکی است.
 (مسئله را با استفاده از جداول فاصله بین شهرها حل کنید).

۴ - یک ماشین تولید کننده کاغذ، کاغذها را بر روی قرقه‌های استاندارد ۱۸۰ اینچی تولید می‌نماید. اگر یک مشتری عرضهای متفاوتی به صورت زیر سفارش دهد:

تعداد قرقه	عرض (اینچ)
۸۰	۲۰۰
۹۵	۱۲۰
۱۱۰	۱۳۰

شرکت مجبور خواهد بود که این عرض‌ها را از عرض استاندارد ۱۸۰ اینچی با حداقل ضایعات بوجود آورد.
 مطلوب است مدل برنامه‌ریزی خطی مورد نظر.

۵ - مسئله برنامه‌ریزی تولید زیر را با مشخص نمودن تعداد محصول تولیدی در هر دوره به منظور مینیمم کردن کل هزینه ابزارداری و تولید فرموله کنید.

پریود	ظرفیت اوقات معمولی (واحد)				
	۱	۲	۳	۴	۵
ظرفیت اضافه کاری (واحد)	۱۲۰	۱۰۰	۹۰	۱۴۰	۹۰
نیاز تولید (واحد)	۳۰	۴۰	۲۰	۴۰	۶۰
هزینه اوقات معمولی برای هر واحد	۱۱۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰
هزینه اوقات اضافه کاری برای هر واحد	۱۲	۱۲	۱۱	۱۰	۱۱
هزینه انتقال یک کامیون	۱۵	۱۶	۱۸	۱۴	۱۴

در ابتدا در راه مسحوقی برابر با ۲۰ واحد کالا است. تصور کنید که هزینه ابزارداری جهت انتقال یک واحد کالا از یک دوره به دوره دیگر برابر با یک واحد پول قراردادی است.

۶ - کارخانه‌ای سه نوع محصول A، B و C را تولید می‌نماید. مفروضات زیر مسئله برنامه‌ریزی تولید مربوطه را توجیه می‌نماید.

بسهندی	زمان عملیات (قطعه / ساعت)				
	در هر هفته	هر قطعه	صادرکاری	فرزکاری	حداقل تقاضا
A	۲۰	قطعه	۰/۲	۰/۵	۰/۱
B	۱۸	قطعه	۰/۱	-	۰/۳
C	۲۱	قطعه	۰/۳	۰/۰۷	۰/۱
	ظرفیت دپارتمان در هفته	برحسب ساعت	۱۶۰	۸۰	۸۰

به عنوان مثال محصول A باید از تمام ۵ دپارتمان مختلف بگذرد و حال آنکه محصول B لازم نیست از دپارتمان فرزکاری استفاده نماید. پس از کردن سطح تولید هر محصول در هفته مورد نظر است. مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

هزینه تولید هر واحد در زمان معمولی ۱۰ واحد و در زمان اضافه کاری ۱۴ واحد پول قراردادی است.

هزینه نگهداری هر واحد از یک دوره به دوره بعدی ۲ واحد پول قراردادی است.

سطح موجودی در پایان دوره برنامه‌ریزی باید حداقل ممکن باشد، مشروطه بر آنکه حداقل سطح موجودی مجاز و حداقل سطح تولید را نقض ننماید.

مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

۱۱- یک شرکت دارای سه کارگاه تولیدی است که همه آن‌ها یک نوع محصول تولید می‌نمایند. این محصول براساس سفارش، تولید می‌شود و مسئله تصمیم‌گیری در این است که در کدام کارگاه باید سفارش صورت پذیرد.

هزینه حمل و نقل هر واحد		تعداد سفارش		
کارگاه ۱	کارگاه ۲	کارگاه ۳	مشتری	داده شده
۶	۴	۸	W	۷۰۰
۸	۱۰	۱۱	X	۱۵۰۰
۷	۱۲	۶	Y	۴۰۰
۱۴	۵	۹	Z	۵۰۰

هزینه تولید محصول و همچنین ظرفیت کارگاه‌ها متفاوت بوده و به صورت جدول زیر است:

هزینه تولید هر واحد	ظرفیت موجود	ماشین
۱۰۰۰	۴۵	A
۸۰۰	۴۰	B
۱۵۰۰	۵۰	C

با فرض اینکه سفارشات می‌توانند بین کارگاه‌ها تقسیم گردد، برنامه تولید و توزیع را چنان ارایه دهید که کل هزینه مینیمم گردد.

۱۲- یک شرکت فولادسازی آلیاژهای مورد نظر مشتریان خود را می‌سازد. یک مشتری آلیاژی از ۴ فاز خواسته است که مشخصات آن به شرح زیر است:

مقدار مورد نیاز	قطع
کمتر با مساوی ۱۸٪	A
حداقل % ۳۰	B
بین % ۴۰ و % ۶۰	C
بیشتر از ۲٪ نباشد	D

۹- یک تولید کننده کود شیمیایی ۴ نوع کود ۸-۶-۱۰-۶-۶-۱۲-۴-۵-۱۹-۵-۱۰ برای چمن عرضه می‌دارد. اعداد فوق به ترتیب درصد وزنی نیترات، سففات و پتاس کود را نشان می‌دهند.

کارخانه‌ای دارای یک برنامه امتزاج است بطوریکه اجزاء فعال تحت یک درصد بخصوصی با اجزاء خشی شده ترکیب شده و حاصل بسته‌بندی شده و فروخته گردد. برای دوره برنامه‌ریزی آینده، تولید کننده دارای ۲۳۰۰ تن نیترات، ۱۴۰۰ تن سففات، ۱۸۰۰ تن پتاس است. این کارخانه هر مقدار خشی که لازم داشته باشد در دسترس است.

برای دوره مورد نظر میزان تقاضا به صورت جدول زیر است:

محصول	هر تن	حداکثر	پیش‌بینی فروش (تن)
۶-۸-۶	۶۰	۶۰۰	۸۰۰۰
۴-۶-۱۰	۸۰	۳۰۰۰	نامحدود
۸-۵-۱۲	۱۰۰	-	۱۰۰۰۰
۱۰-۸-۱۹	۱۲۰	۴۰۰۰	نامحدود

تولید کننده باید حداقل مورد اشاره را تولید نموده و از مقدار حداکثر فروش که پیش‌بینی شده است نمی‌خواهد تولید نماید.

هزینه هر تن اجزاء کود به ترتیب نیترات ۲۰۰ واحد، سففات ۶ واحد، پتاس ۹۰ واحد و سایر اجزاء ۱۵ واحد پول قراردادی است. هزینه بسته‌بندی مواد، مخلوط کن و فروش ۲۰ واحد پول قراردادی برای هر تن کود صرف‌نظر از ترکیبات مربوطه تخمین زده می‌شود.

مسئله عبارت است از تعیین میزان تولید هر محصول. مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

۱۰- جدول زیر شامل میزان تقاضا و ظرفیت در ۵ پریود آینده است:

پریود	ظرفیت زمان معمولی	ظرفیت اضافه کاری	تقاضا
۱	۶۰۰	۱۰۰	۴۰۰
۲	۶۰۰	۱۰۰	۵۰۰
۳	۴۰۰	۱۰۰	۶۰۰
۴	۶۰۰	۵۰	۸۰۰
۵	۶۰۰	۱۰۰	۳۰۰

سطح موجودی در ابتدای پریود ۱ برابر با ۱۵۰ واحد است.

حداقل سطح موجودی مجاز ۱۰۰ واحد است.

حداقل سطح تولید باید ۸۰ درصد ظرفیت زمان معمولی باشد.

ساعت در دسترس	هزینه هر ساعت	ماشین
۴۰۰	۲۰	M _۱
۲۴۰	۳۰	M _۲
۴۱۰	۴۰	M _۳
۱۴۰	۵۰	M _۴

اطلاعات مربوط به محصولات نیز به صورت زیر است :

حدودیت تقاضا (واحد)	هزینه هر واحد	قیمت فروش	محصول
حداکثر	حداقل	از مواد خام	
-	۱۰۰	۲۰	A
۲۵۰	۱۵۹	۲۵	B

مسئله عبارت از زمان بندی تولید برای این دپارتمان در دوره بعدی است. مسئله را به صورت یک مدل برنامه ریزی خطی درآورید. فرض کنید که تمام قطعات معیوب آشکار شده و فوراً از تولید خارج می‌شوند.
(راهنمایی : فرض کنید که متغیرهای A و B نایاشگر مقدار هر محصول در ابتدای دوره بعدی باشند).

۱۵- یک دپارتمان سه محصول A، B و C را تولید می‌نماید. تولید چهار دوره بعدی باید برنامه ریزی گردد.

مفروضات زیر در دسترس است:

هزینه هر ساعت تولید در زمان معمولی ۱۰۰ واحد، در ساعات اضافه کاری ۱۵۰ واحد پول قراردادی است. هزینه نگهداری هر واحد از A، B و C به ترتیب ۱، ۲ و ۲ واحد پول قراردادی برای هر دوره است.

نیازمندی در پریود (قطعه)	ساعت برای هر قطعه			
۴	۳	۲	۱	
۲۰۰	۸۰	۱۰۰	۲۰۰	۰/۲
۴۰۰	۲۰۰	۱۲۰	۳۰	۰/۱
۱۰۰۰	۶۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۰/۶

ظرفیت موجود (ساعت)	پریود
اضافه کاری	ساعت معمولی
۵۰	۲۵۰
۴۰	۲۵۰
۴۰	۲۷۰
۴۰	۲۷۰

معدن مختلفی موجودند که از آنها می‌توان فلزهای مختلف فرق را تهیه نمود. این معدن دارای ناخالصی هستند که باید جدا شده و به دور انداخته شود. مفروضات مربوط در جدول زیر داده شده‌اند.

معدن	فلز	B	C	D	فلزه هر تن	ناخالصی	هزینه هر تن
۱	% ۲۰	% ۴۰	% ۲۰	% ۲۰	۲۵	% ۲۰	۶۰
۲	۰	۲۰	۰	۰	۱۰	۶۰	۳۰
۳	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۲۰	۳۰	۳۰
۴	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۸	۴۰	۴۰
۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۲۲	۳۰	۳۰
۶	۵	۵	۵	۵	۱۲	۶۰	۶۰

مسئله عبارت است از تعیین مقداری از هر معدن است که در هر تن آباز باید مصرف گردد. مسئله را به صورت یک مدل قابل حل توسط برنامه ریزی خطی درآورید.

۱۳- در تمرین ۱۲ فرض کنید که سفارش مشتری برای ۳۰۰۰ تن بوده و شرکت دارای مقادیر زیر از معدن مختلف باشد:

معدن	۶	۵	۴	۳	۲	۱
تن	۱۷۰۰	۲۶۰۰	۸۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰۰۰

مسئله عبارت از پیدا کردن برنامه‌ای با حداقل هزینه است که نیاز مشتری را نیز برآورده سازد. مسئله را به صورت یک مدل برنامه ریزی خطی فرموله کنید.

۱۴- یک دپارتمان از یک کارخانه دو قطعه A و B را به ترتیب عملیات جدول زیر می‌سازد.

محصول	عملیات	روی ماشین	زمان تولید (ساعت)	درصد ضایعات
A	۱	M _۱	۰/۰۳	۰/۰۱
A	۲	M _۲	۰/۰۷	۰/۰۵
A	۳	M _۳	۰/۰۵	۰/۰۲
B	۱	M _۱	۰/۱۲	۰/۰۳
B	۲	M _۳	۰/۰۸	۰/۱۰
B	۳	M _۴	۰/۱۷	۰/۰۲
B	۴	M _۱	۰/۰۶	۰/۰۷

اطلاعات مربوط به عملیات ماشین‌ها به صورت زیر است :

۱۷- یک ماشین A و دو ماشین B هر کدام می‌توانند سه محصول X، Y و Z تولید نمایند. این سه ماشین بطور معمولی ۵ روز در هفته و با سه شبکت در روز کار می‌کنند و اگر لازم باشد در پایان هفته نیز می‌توانند اضافه کاری کنند. برنامه تولید سه هفته آینده باید زمان بندی گردد. اطلاعات زیر موجود است:

سطح تولید هر واحد:

محصول	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
X	۱۲۰	۱۰۰	۵۰
Y	۲۰۰	۲۰۰	۱۶۰
Z	۷۰	۱۰۰	۱۴۰

هزینه هر واحد:

منبع	محصول Z	محصول Y	محصول X
ماشین A - زمان معمولی	۲/۱	۴/۲	۲/۶
ماشین A - اضافه کاری	۲/۳	۴/۷	۲/۹
ماشین B - معمولی	۲/۲	۴/۳	۲/۸
ماشین B - اضافه کاری	۲/۴	۴/۸	۲/۲

ظرفیت تولید (ساعت):

منبع	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳
ماشین A - زمان معمولی	۱۲۰	۱۰۰	۱۰۰
ماشین A - اضافه کاری	۴۰	۴۰	۴۰
ماشین B - معمولی	۲۱۰	۲۰۰	۲۳۰
ماشین B - اضافه کاری	۸۰	۶۰	۸۰

هزینه نگهداری هر واحد موجودی در یک پریود:

ماشین	محصول X	محصول Y	محصول Z
A	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۸
B	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۲۰

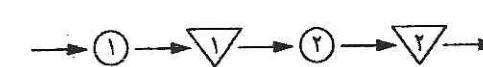
زمان تولید هر واحد (ساعت):

ماشین	محصول X	محصول Y	محصول Z
A	۰/۸۰	۱/۲۰	۱/۰۰
B	۰/۸۰	۱/۳۰	۱/۱۰

(الف) مسئله عبارت از برآوردن نیاز با حداقل هزینه است. مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

(ب) اگر بخواهیم بعد از پایان ۴ دوره، سطح موجودی محصولات A، B و C به ترتیب ۱۵، ۱۰ و ۸ واحد باشد فرموله کردن مسئله و حل آن چه تغییراتی خواهد نمود.

۱۶- یک محصول از دو فرآیند تولید بپ در پی به شکل زیر عبور می‌نماید.



عملیات
انبار

تولید برای سه دوره آینده برنامه‌ریزی می‌گردد. اطلاعات زیر در اختیار است:

مسئله عبارت از تعیین سطح تولید در زمان معمولی و در زمان اضافه کاری برای سه دوره آینده است. هدف مینیمم کردن کل هزینه و هزینه نگهداری است.

جدول A

دوره	(تعداد)	ظرفیت در دسترس	
		عملیات ۱	عملیات ۲
۱	۸۰	۲۵	۳۸
۲	۸۰	۳۰	۲۲
۳	۹۰	۳۰	۲۴

جدول B

عملیات	زمان تولید برای هر قطعه	هزینه تولید هر واحد	محصول اضافه کاری
۱	۴۰ دقیقه	۱۰	۱۳
۲	۳۰	۱۲	۱۶

جدول C

سطح موجودی	موجودی اولیه	هزینه نگهداری در هر دوره
۱	۶	۱
۲	۵	۲

۳

کاربرد مدل‌های حمل و نقل

۱ - مقدمه

در فصل قبل با کاربرد برنامه‌ریزی خطی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی و قدرت عمل آن در این زمینه آشنا شد. در آنجا دیدیم مدل برنامه‌ریزی خطی با وجود آن که بیشترین کاربرد را در برنامه‌ریزی تولید دارد ولی ضعف عده‌ای مدل آن است که تابع هزینه آن باید خطی باشد و حال آن که در بسیاری از موارد کاربردی اینچنان نیست. در این فصل ما از دو دیدگاه متصل به مدل حمل و نقل شده‌ایم. اول این که مسائلی در برنامه‌ریزی تولید وجود دارند که از طریق برنامه‌ریزی خطی قابل حل اند ولی به علت فرم خاص آن‌ها حلشان از طریق برنامه‌ریزی خطی به صرفه نیست. لذا ما با یک تغییر متغیر ساده این مدل را به یک مدل حمل و نقل تبدیل می‌کنیم که حل آغازی آن بهینه است. پس از آن مسائلی را در برنامه‌ریزی تولید ادغامی در نظر خواهیم گرفت که تابع هزینه آن‌ها نه تنها خطی نیستند بلکه دارای یک هزینه ثابت را اندازی نیز هستند. این مسائل قبل از طریق برنامه‌ریزی پویا حل گردیده است ولی با ابتکار جالبی این مسائل را به گونه‌ای درخواهیم آورد که حل آن‌ها از طریق مدل حمل و نقل میسر باشد.

۲ - مدل هزینه خطی

اگر هزینه‌ها تابعی خطی از متغیرهای تعریف کننده برنامه تولید تصور گردد، مسئله برنامه‌ریزی تولید می‌تواند بصورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله گردد. مشروط بر آنکه تمام محدودیت‌ها نیز خطی باشد. همانطوری که در فصل قبل دیدیم به علت وجود یک دستورالعمل حل قوی برای مسائل برنامه‌ریزی خطی، مسائل برنامه‌ریزی تولید خطی با بعد سپار زیاد نیز می‌تواند به صورت یک مدل ریاضی حل‌الاجلی گردد. ولیکن بعضی از مدل‌ها به دلیل شکل خاص شان دارای دستورالعمل سریعتر جهت به دست آوردن حل بهینه هستند. در اینجا ما ساده‌ترین مدل یعنی مدل حمل و نقل را برای رسیدن سریعتر به جواب بهینه انتخاب نموده‌ایم.

یک مدل فقط با هزینه تولید و اینبارداری

این مدل برای موقوعی که روش‌های تولید مختلفی موجود باشد و یا منابع مختلفی برای فراهم کردن یک محصول در هر یک از زمانهای T دوره وجود داشته باشد که در آن برای تولید هر واحد محصول توسعه منبع آن هزینه متغیر معینی تعریف شده باشد مصداق دارد. محصول ممکن است با یک هزینه ثابت اینبارداری از یک دوره برای دوره دیگر نگهداری گردد. کسری کالا مجاز نیست. هزینه ثابت تولیدی وجود ندارد و از هزینه متغیر سرعت تولیدی منابع مختلف خبری نیست. هر منبع دارای یک ظرفیت داده شده‌ای در هر دوره است. برای فرموله کردن مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرض کنید:

مسئله عبارت از تعیین برنامه تولید با حداقل هزینه است که نیاز تولید را نیز برآورده سازد. در ابتدای برنامه‌ریزی سطح موجودی صفر است. مسئله را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی فرموله کنید.

۱۸- تصور کنید که طول برنامه‌ریزی تولید یک موسسه تولیدی سه دوره بوده و در هر دوره دو روش تولید معمولی و اضافه کاری در اختیار داشته باشد. جدول مفروضات مربوطه به صورت زیر است:

دوره	مورد انتظار	هزینه تولید هر واحد محصول		تقاضای
		اضافه کاری	معمولی	
۱	۶۰	۱۸	۱۴	۲۰
۲	۸۰	۲۲	۱۷	۱۰
۳	۱۴۰	۲۲	۱۷	۶۰

هزینه اینبارداری جهت انتقال هر واحد کالا از یک دوره به دوره دیگر برابر صد تومان است. سطح موجودی اولیه در ابتدای دوره برنامه‌ریزی ۱۵ واحد کالاست و به علاوه کسری کالا (Shortage) نیز مجاز نیست. مدل برنامه‌ریزی خطی آن را بنویسید.

۱۹- تمرین ۲ فصل دوم را از طریق برنامه‌ریزی خطی حل کرده و جواب آن را با نتایج روش تثبیت سرعت تولید و همچنین روش ارضاء تقاضا مقایسه کنید.

۲۰- آیا می‌تواند سوالات تمرین ۳ فصل دوم را با استفاده از تجزیه و تحلیل مدل به دست آمده در تمرین ۱۹ پاسخ دهد؟ در صورت مثبت بودن جواب نتایج را به کمک رایانه به دست آورید و بحث کنید.

۲۱- تمرین ۵ فصل دوم را از طریق برنامه‌ریزی خطی حل کرده و نتایج آن را با نتایج به دست آمده در آن تمرین مقایسه و در مورد علل تمایز بحث کنید.

۲۲- تمرین ۶ فصل دوم را از طریق برنامه‌ریزی خطی حل کرده و نتایج آن را با نتایج به دست آمده در قسمت‌های ب و ج آن تمرین مقایسه نموده و دلایل تمایز را روشن سازید.

$$\text{MinZ} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^T \sum_{k=j}^T \gamma_{ijk} y_{ijk} \quad (6)$$

بطوری که

$$\sum_{k=j}^T y_{ijk} \leq P_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, T) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^T y_{ijk} = D_k \quad (k = 1, 2, \dots, T) \quad (8)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad (9)$$

در این مدل فرض بر آن است که یا موجودی اولیه نداریم و یا اینکه موجودی اولیه را به تقاضاها اختصاص داده‌ایم و در شیجه اثر آن در سیستم به طور ضمنی مشهود خواهد بود. حال اگر بخواهیم که وجود موجودی اولیه را به وضوح مشاهده کنیم، فرض می‌کنیم که y_{0k} تعداد محصول از موجودی اولیه باشد که تقاضاهای دوره k را ارضاء می‌نماید. هزینه انتبارداری مربوطه برای هر واحد محصول باشد در آنصورت $\gamma_{0k} = h_1 + h_2 + \dots + h_{k-1}$. (هزینه تولید برای محصولات موجودی اولیه صفر می‌شود) لذا مدل تغییر شکل یافته به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{MinZ} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^T \sum_{k=j}^T \gamma_{ijk} \cdot y_{ijk} + \sum_{k=1}^T \gamma_{0k} y_{0k} \quad (10)$$

بطوری که

$$\sum_{k=j}^T y_{ijk} \leq P_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, T) \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^T y_{0k} \leq I_t \quad (12)$$

$$y_{0k} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k y_{ijk} = D_k \quad (k = 1, 2, \dots, T) \quad (13)$$

$$y_{0k} \geq 0 \quad (k = 1, 2, \dots, T) \quad (14)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad (15)$$

محدودیت (11) ظرفیت تولید را به توسط منبع و زمان بیان می‌دارد و محدودیت (13) ضمانت می‌نماید که تقاضای هر دوره دقیقاً ارضاء می‌گردد واضح است که سیستم معادلات (10) تا (15) یک مدل حمل و نقل را ارائه می‌دهد. برای حل اینگونه مسائل به راحتی می‌توان از روش‌های حل مسائل حمل و نقل استفاده نمود ولی دستورالعمل زیر حل بهینه اینگونه مسائل (بدون کسری) را به طور سریع به دست می‌آوردد:

- ۱- تقاضای اولین دوره را به توسط منابع با حداقل هزینه ارضاء نماید.
- ۲- ظرفیت‌ها را برای نمایش مقادیر باقیمانده آن بعد از قدم ۱ تنظیم نماید.
- ۳- تقاضای دومن دوره را به توسط منابع با حداقل هزینه ارضاء کنید.

D_t : تعداد مورد نیاز در دوره t ($t = 1, 2, \dots, T$)

m : تعداد منابع تولید محصول در هر دوره

P_{it} : ظرفیت بر حسب تعداد محصول از منبع i در دوره t ($i = 1, 2, \dots, m$)

X_{it} : تعداد محصولی که باید توسط منبع i در دوره t تولید شود.

C_{it} : هزینه متغیر هر واحد محصول از منبع i در دوره t

h_{it} : هزینه نگهداری یک واحد محصول از دوره t تا دوره $t+1$

I_t : سطح موجودی در پایان دوره t بعد از ارضاء نیازمندی در دوره t

تصور می‌کنیم تعدادی که در طول یک دوره به دست می‌آید برای ارضاء تقاضا در آن دوره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مسئله عبارت از انتخاب $\{X_{it}\}$ است که کل هزینه را در طول دوره برنامه‌ریزی مینیم سازد. بنابراین:

$$\text{MinZ} = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^m C_{it} X_{it} + h_t I_t \right) \quad (1)$$

بطوری که

$$X_{it} \leq P_{it} \quad (i = 1, 2, \dots, m, t = 1, 2, \dots, T) \quad (2)$$

$$I_t = I_{t-1} + \sum_{i=1}^m X_{it} - D_t \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (3)$$

$$X_{it} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m, t = 1, 2, \dots, T) \quad (4)$$

$$I_t \geq 0 \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (5)$$

تابع هدف (1) عبارت از مجموع هزینه کل تدارک محصولات و هزینه کل نگهداریست. هزینه نگهداری در پایان دوره پرداخت می‌گردد. محدودیت‌های (2) متنج از محدودیت ظرفیت منابع تولیدی است. محدودیت‌های (3) عبارت از معادلات تعادل مواد هستند که متغیرهای سطح موجودی را به متغیرهای تولید ارتباط می‌دهند. این معادلات دوره‌های مختلف را به یکدیگر ربط می‌دهند و این مشخصات مدل‌های برنامه‌ریزی تولید چند دوره‌ای است. سطح تولید غیرمنفی توسط معادلات (4) ضمانت می‌گردد و حال آنکه معادلات (5) بدان معنی است که کسری مجاز نیست. توجه داریم که علاوه بر هزینه‌ها، تقاضاهای و ظرفیت‌ها و سطح موجودی اولیه باید داده شده باشند.

با تعریف مجدد متغیرهای تصمیم‌گیری می‌توانیم ملاحظه کنیم که این مسئله دارای ساختار مدل حمل و نقل در برنامه‌ریزی است پس :

۱- عبارت از تعداد محصولی که از منبع i در پریود j جهت برآوردن تقاضا دوره k تولید می‌گردد.

۲- هزینه متغیر تولید یک واحد محصول از منبع i در دوره k که برای مصرف تا دوره k نگهداری می‌گردد. این ضریب هزینه به صورت زیر است:

$$y_{ijk} = C_{ij} + h_j + h_{j+1} + \dots + h_{k-1} \quad (k \geq j)$$

چون که هزینه کسری مجاز نیست پس $y_{ijk} = 0$ برای $j < k$ خواهد بود. این عمل در کامپیوترا تخصیص یک مقدار بسیار بزرگ برای y_{ijk} در حالت $j < k$ عملی است. لذا مدل برنامه‌ریزی خطی مسأله به صورت زیر است:

جدول ۲ - حل مثال ۱ بدون کسری

دوره	منبع تولید	تقاضا در دوره				ظرفیت صرف نشده	ظرفیت
		۱	۲	۳	۴		
۱	$1 \leq X_1 \leq 8$	۸	۷	۹	۱۰	۰	۸
	$9 \leq X_1 \leq 17$	۹	۸	۱۰	۱۱	۰	۹
	$18 \leq X_1 \leq 25$	۲	۹	۱۱	۱۲	۰	۸
	$26 \leq X_1 \leq 35$	۸	۱۱	۱۳	۱۴	۱۰	۱۰
۲	$1 \leq X_2 \leq 8$	۸	۸	۹	۰	۸	۱
	$9 \leq X_2 \leq 17$	۱۰	۱۲	۱۳	۷	۰	۹
	$18 \leq X_2 \leq 25$	۱۲	۱۴	۱۵	۸	۰	۸
	$26 \leq X_2 \leq 35$	۱۶	۱۶	۱۷	۱۰	۰	۱۰
۳	$1 \leq X_3 \leq 8$	۸	۷	۰	۰	۸	۱
	$9 \leq X_3 \leq 17$	۹	۸	۰	۰	۹	۱
	$18 \leq X_3 \leq 25$	۱۰	۱۱	۰	۰	۸	۱
	$26 \leq X_3 \leq 35$	۱۲	۱۲	۰	۰	۱۰	۱
۴	$1 \leq X_4 \leq 8$	۸	۰	۰	۸	۱	۱
	$9 \leq X_4 \leq 17$	۹	۵	۰	۰	۹	۱
	$18 \leq X_4 \leq 25$	۸	۷	۰	۰	۸	۱
	$26 \leq X_4 \leq 35$	۵	۵	۰	۰	۱۰	۱
تقاضا		۲۰	۱۰	۴۰	۳۰	۴۰	۱۴۰

- ۴ - ظرفیت‌های موجود را تنظیم کنید.
 - ۵ - قدم‌های ۳ و ۴ را برای دوره‌های $3, 4, \dots, T$ تکرار کنید.
- باید توجه نمود که دستورالعمل فوق فقط برای مسائل بدون کسری است. در مسائلی که برای عدم تحويل به موقع کالا (کسری مجاز) جریمه باید پرداخت شود، الگوریتم فوق حل بهینه را عاید نساخته، لذا برای به دست آوردن حل بهینه بهتر است از دستورالعمل «حداقل هزینه» در کل جدول استفاده شود. سپس با استفاده از روش حمل و نقل حل بدست آمده را بهینه نمود. برای روشن شدن مطلب به مثال‌های زیر توجه کنید.

مثال ۱

یک برنامه تولیدی باید برای ۴ دوره تنظیم گردد به طوری که تقاضاهای این ۴ دوره به ترتیب $20, 10, 40$ و 30 واحد است. هزینه انبارداری بصورت I_t^+ است که در آن $I_1 = 1, I_2 = 2, I_3 = 3, I_4 = 4$ و کسری مجاز نیست. هزینه‌های تولید، تابع محدب بوده و در جدول ۱ داده شده است. اعداد داخل جدول هزینه نهایی تولید بوده و برای سرتاسر X_t ثابت فرض می‌گردد، حداکثر تولید در یک دوره برابر 35 است. سطح موجودی خالص اولیه برابر صفر است و موجودی نهایی نیز باید برابر صفر باشد.

جدول ۱ - هزینه‌های تولید برای مثال ۱

دامنه تغییرات تولید	دوره تولید			
	۱	۲	۳	۴
$1 \leq X_1 \leq 8$	۶	۶	۶	۳
$9 \leq X_1 \leq 17$	۵	۱۰	۸	۵
$18 \leq X_1 \leq 25$	۶	۱۲	۱۰	۷
$26 \leq X_1 \leq 35$	۸	۱۶	۱۲	۱۰

حل مثال بدون کسری

برای حل این مسئله تصور می‌کنیم که تمام این چهار منبع تولید در هر دوره آماده است و هر یک از این منابع دارای ظرفیت داده شده و هزینه متناسبی است. چون که هزینه نگهداری خطی است، جدول حمل و نقل را برای حل این مسئله می‌توانیم به کار ببریم. جدول ۱ نتایج را نشان می‌دهد. اعداد داخل مریع کوچک بالای هر سلول هزینه اضافی مربوط به تولید و نگهداری را نشان می‌دهد.

تخصیص اعداد به هر سلول از دوره ۱ آغاز می‌گردد. وقتی که تقاضای دوره ۱ با تخصیص ارزانترین منبع ارضاء گردید، ظرفیت‌ها در ستون راست برای انعکاس ظرفیت یا قیمانده تنظیم شده و به دوره ۲ انتقال می‌یابند. در دوره ۲ نیز تقاضا با استفاده از ارزانترین منبع ارضاء می‌گردد و کار به همین منوال تا ارضاء تمام تقاضاها ادامه می‌باید. برنامه بهینه تخصیص یافته $X_1 = 25, X_2 = 10, X_3 = 35$ و $X_4 = 30$ است. برای این برنامه $I_1^+ = 5, I_2^+ = 0, I_3^+ = I_4^+ = I_1^-$ است و حداقل هزینه کل برابر 713 واحد پولی است.

مثال ۲

حال در مثال ۱ تصور کنید که سفارشات عقب افتاده مجاز باشد و هزینه سفارشات عقب افتاده در دوره t بصورت $I_t^- h_t$ باشد که در آن $2 = I_1^- h_1 = 3$ ، $h_1 = 1$ ، $I_2^- h_2 = \infty$ (چون که $\infty = 0$ باید باشد) جریمه عدم تحويل هر واحد کالا در دوره‌های مربوطه است. جدول حمل و نقل بهینه در جدول ۳ داده شده است. با مقایسه جداول ۲ و ۳ فروآ متوجه می‌شویم که در مسائل باکسری هزینه مربوط به تمام عناصر جدول محاسبه شده است.

با استفاده از روش «حداقل هزینه» در تمام جدول صرفنظر از ستون ظرفیت مصرف نشده یک حل آغازی خوب

حاصل می‌شود که با بهینه کردن آن خواهیم داشت:

$$I_1^+ = 3, I_2^+ = 5, X_1^* = 25, X_2^* = 22, X_3^* = 25$$

در این حل سطوح موجودی عبارت از $5 = I_2^+$ و $0 = I_3^+$ و سفارشات عقب افتاده فقط در دوره ۳ با $5 = I_3^+$ اتفاق می‌افتد. حداقل هزینه مربوطه 708 واحد پولی است.

مثال ۳: دو محصولی

یک کارخانه تولید کننده لوازم صنعتی دو نوع محصول A و B تولید می‌کند. تقاضای زیاد این محصول در گذشته کارخانه را وادار نموده است که از اضافه کاری و قرارداد جنبی استفاده کند. برای برنامه‌ریزی تولید در بهار سال آینده یک قرارداد جنبی تا ۵۰ محدود از A و یا B منعقد گردیده است و کارخانه اجباراً باید از این قرارداد استفاده کند. به علت فشار وزارت صنایع سنگین این کارخانه مجاز نیست که در دوره‌های بعدی دوره برنامه‌ریزی آینده غیر از دوره اول بیش از ۳۰ محدود A و یا B به طور آزاد خریداری نماید. اطلاعات لازم دیگر در جدول ۴ خلاصه شده است. (برای سادگی در محاسبات اعداد گرد شده‌اند).

جدول ۴ - اطلاعات مثال ۳

		تقاضا (واحد محصول)				فصل
B	A	قرارداد جنبی	اضافه کاری	وقات معمولی	ظرفیت تولید (واحد محصول)	
۵۰	۶۰	۵۰	۴۰	۱۳۰		بهار
۱۲۰	۱۱۰	۳۰	۶۰	۱۰۰		تابستان
۱۳۰	۷۰	۳۰	۷۰	۱۲۰		پاییز
۱۲۵	۹۵		۶۰	۱۰۰		زمستان
۱۰	۱۰				هزینه اولیه	
۲۵	۱۵				هزینه پایانی دوره برنامه‌ریزی	
۸	۱۰				هزینه تولید اوقات معمولی (واحد پول قراردادی)	
۱۰	۱۲				هزینه تولید در وقت اضافی .	
۱۲	۱۵				هزینه تهیه کالا از طریق قرارداد جنبی	
۲	۱				هزینه نگهداری کالا برای هر واحد محصول در یک فصل	

جدول ۳ - حل مثال ۲ باکسری

دوره P	منبع تولید	تقاضا در دوره				ظرفیت صرف نشده	ظرفیت
		۱	۲	۳	۴		
۱	$1 \leq X_1 \leq 8$	۴	۷	۹	۱۰	۰	۸
	$9 \leq X_1 \leq 17$	۵	۸	۱۰	۱۱	۰	۹
	$18 \leq X_1 \leq 25$	۶	۹	۱۱	۱۲	۰	۸
	$26 \leq X_1 \leq 35$	۸	۱۱	۱۳	۱۴	۱۰	۱۰
۲	$1 \leq X_2 \leq 8$	۸	۷	۸	۹	۰	۸
	$9 \leq X_2 \leq 17$	۱۲	۱۰	۱۲	۱۳	۹	۹
	$18 \leq X_2 \leq 25$	۱۴	۱۲	۱۴	۱۵	۸	۸
	$26 \leq X_2 \leq 35$	۱۶	۱۲	۱۶	۱۷	۱۰	۱۰
۳	$1 \leq X_3 \leq 8$	۱۱	۹	۶	۷	۰	۸
	$9 \leq X_3 \leq 17$	۱۳	۱۱	۸	۹	۰	۹
	$18 \leq X_3 \leq 25$	۱۵	۱۳	۱۰	۱۱	۰	۸
	$26 \leq X_3 \leq 35$	۱۷	۱۰	۱۲	۱۳	۳	۱۰
۴	$1 \leq X_4 \leq 8$	۹	۷	۴	۲	۰	۸
	$9 \leq X_4 \leq 17$	۱۱	۹	۶	۵	۰	۹
	$18 \leq X_4 \leq 25$	۱۳	۱۱	۸	۷	۰	۸
	$26 \leq X_4 \leq 35$	۱۶	۱۴	۱۱	۱۰	۰	۱۰
تقاضا		۲۰	۱۰	۹۰	۴۰	۱۴۰	

جدول ۶- خلاصه حل بهینه مثال ۳

فصل	۱	۲	۳	۴					
محصول	A	B	A	B					
تولید	اوقات معمولی	۱۳۰	—	۱۰۰	۱۰	۱۱۰	—	۱۰۰	
	اضافه کاری	۴۰	—	۴۰	۲۰	۷۰	—	۴۰	۲۰
	قراردادی	۱۰	۴۰	—	—	۲۰	—	—	۳۰
	جمع	۱۸۰	۴۰	۴۰	۱۲۰	۸۰	۱۳۰	۴۰	۱۵۰
نفاضا		۶۰	۵۰	۱۱۰	۱۲۰	۷۰	۱۳۰	۹۵	۱۲۵
موجودی	آغازی	۱۰	۱۰	۱۳۰	—	۶۰	—	۷۰	—
	پایانی	۱۳۰	—	۶۰	—	۷۰	—	۱۵	۲۵
تولید	اوقات معمولی	۱,۳۹۰	—	—	۸۰۰	۱۱۰	۸۸۰	—	۸۰۰
	اضافه کاری	۶۰۰	—	۵۲۰	۲۰۰	۸۴۰	—	۴۸۰	۲۰۰
	قرارداد جنی	۱۵۰	۴۸۰	—	—	۲۴۰	—	—	۳۶۰
	جمع جزئی	۲,۱۴۰	۴۸۰	۵۲۰	۱,۰۰۰	۹۵۰	۱,۱۲۰	۴۸۰	۱,۳۶۰
	کل هزینه	۸,۰۵۰ واحد پول قراردادی		۸,۰۵۰ واحد پول قراردادی		۸,۰۵۰ واحد پول قراردادی		۸,۰۵۰ واحد پول قراردادی	

متاسفانه جدول حمل و نقل علیرغم ساده و قابل درک بودن آن قادر نیست حل بهینه بدست آمده را تجزیه و تحلیل حساسیت بنماید. اگر این مسئله از طریق برنامه‌ریزی خط حل شود آنالیز حساسیت بعد از حل بهینه اطلاعات ارزنده‌ای را در اختیار مدیر قرار می‌دهد. به عنوان مثال از متغیرهای مزدوج این مسئله براحتی می‌توان دریافت که اگر ظرفیت فصل زمستان را یک واحد افزایش دهیم، پنج واحد پول قراردادی از کل هزینه مسئله می‌کاهیم. این نکته مبین آن است که هر چه از تهیه کالا از بازار آزاد بکاهیم و به ظرفیت تولید اوقات معمولی بیافزاییم به صرفه خواهد بود. همچنین کم کردن هر واحد از ظرفیت قرارداد جنی در دوره اول ۳ واحد پول قراردادی به نفع این کارخانه خواهد بود.

از محدودیت‌های دیگر مدل حمل و نقل این است که اگر تعداد محصولات زیاد شوند حل مدل حمل و نقل به مراتب پیچیده‌تر می‌شود مضافاً بر اینکه ارتباط متقابل محصولات و همچنین هزینه مربوط به از دست دادن نفاضا و با سایر محدودیت‌های دیگر را در نظر نمی‌گیرد.

شایان ذکر است که هزینه کل در این مسأله برابر ۸۰۵۰ واحد پول قراردادی است.

مسئله عبارت از تعیین بهترین برنامه تولید در اوقات معمولی، اضافه کاری و قرارداد جنی است. مطابق مثال‌های ۱ و ۲ جدول حمل و نقل این مسئله نیز می‌تواند ساخته شود. تنها ترق این مسئله با مثال‌های قبلی در این است که در اینجا بجای یک ستون در دوره‌های مصرف باید دو ستون (به دلیل وجود دو محصول) وجود آوریم. ضمناً روش حداقل هزینه روش خوبی برای بدست آوردن اولین حل قابل قبول در این مسئله هست. ولی لزوماً جواب به دست آمده بهینه نیست. حل بهینه این مسئله در جدول ۵ داده شده است. دستورالعمل تولید بهینه آن نیز به منظور استفاده مدیریت در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۵- جدول حمل و نقل و حل بهینه مثال ۳

ظرفیت بکار برده نشده	ظرفیت	۱	۲	۳	۴	تولید		صرف			
		A	B	A	B	A	B				
۱	اوقات معمولی	۱۰	۸	۱۱	۱۰	۱۲	۱۲	۱۳	۱۴	۰	۱۳۰
	اضافه کاری	۱۲	۱۰	۱۲	۱۲	۱۴	۱۴	۱۵	۱۶	۰	۴۰
	قرارداد جنی	۱۵	۱۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰
۲	اوقات معمولی	۱۰	۸	۱۱	۱۰	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۰	۱۰۰
	اضافه کاری	۲۰	۲۰	۱۲	۱۰	۱۳	۱۲	۱۲	۱۴	۰	۶۰
	قرارداد جنی	۱۵	۱۲	۱۶	۱۴	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۰	۳۰
۳	اوقات معمولی	۷۰	۱۲	۱۰	۸	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۰	۱۲۰
	اضافه کاری	۷۰	۱۰	۱۳	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۰	۷۰
	قرارداد جنی	۱۵	۱۲	۱۶	۱۴	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۰	۳۰
۴	اوقات معمولی	۴۰	۲۰	۱۰	۸	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۰	۱۰۰
	اضافه کاری	۴۰	۲۰	۱۲	۱۰	۱۳	۱۲	۱۲	۱۴	۰	۹۰
	قرارداد جنی	۱۵	۲۰	۱۶	۱۴	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۰	۳۰
نفاضا		۵۰	۴۰	۱۱۰	۱۲۰	۷۰	۱۳۰	۱۱۰	۱۵۰	۴۰	۸۲۰

(I) حداقل هزینه تولید و نگهداری در دوره‌های $t = 1, 2, \dots, T$ باشد که در آن موجودی خالص در شروع دوره t برابر I است.

تصمیم‌گیری در دوره t را در نظر بگیرید. اگر سطح موجودی در آغاز دوره t برابر I_{t-1} باشد و متغیر X_t تصمیم‌گیری برابر X_t باشد، در آن صورت هزینه مربوطه در دوره t برابر $K_t(X_t, I_t)$ خواهد بود. علاوه موجودی I_t که به توسط X_t و D_t و I_{t-1} قابل توجیه است بر روی مینیمم هزینه در دوره t موثر است. با فرض اینکه یک رویه بهینه بعد از دوره t اتخاذ گردد، متغیر تصمیم‌گیری X_t باعث خواهد شد که هزینه $f_t(I_t) + f_{t+1}(I_{t+1}) + \dots + f_T(I_T)$ در ابتدای دوره t واحد محصول در دوره t به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$f_t(I_t) = \min_{X_t \geq 0} [K_t(X_t, I_t) + f_{t+1}(I_{t+1})] \quad (18)$$

که در آن $T = 1, 2, \dots, t$ بوده و $I_0 = 0$ است و $I_t = I_{t-1} + X_t - D_t$ است:

حل مسائل برنامه‌ریزی تولید با استفاده از فرمول (18) در حالت کلی و برای تمام مقادیر $X_t \geq 0$ بسیار طولانی است. لذا محققین سعی بر آن داشته‌اند تا خواصی از این مدل استخراج کنند که باعث کاهش محاسبات گردد. برای روشن شدن این تلاش اجازه بدھید که مدل بهینه‌سازی این مسئله را بنویسیم.

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [A_t \delta(X_t) + C_t X_t + h_t I_t] \quad (20)$$

بطوری که

$$\begin{aligned} I_t &= I_{t-1} + X_t - D_t & t = 1, 2, \dots, T \\ I_0 &= 0 \\ X_t &\geq 0 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\delta(X_t) = \begin{cases} 0 & \text{اگر } X_t = 0 \\ 1 & \text{اگر } X_t > 0 \end{cases} \quad \text{که در آن}$$

طبق اثبات قضیه ۳ ضمیمه کتاب، مینیمم یکتابع مقرر بر روی یک مجموعه از محدودیت‌های خطی حتماً بر روی یکی از نقاط غایی آن اتفاق خواهد افتاد. یک نقطه غایی در اینجا حداقل T متغیر غیر صفر خواهد داشت. اگر $0 < X_t$ باشد در آن صورت یکی یا هر دو X_t و X_{t-1} باید بزرگتر از صفر باشد چونکه T محدودیت و فقط T متغیر در یک حل غایی موجود است، لذا دیگر یکی از متغیرهای I_{t-1} و I_t باید دارای مقدار مثبت باشند. بنابراین تمام حل‌های غایی، حتی حل بهینه دارای خاصیت $\delta(X_t) = 1$ است. حال اگر تقاضا در دوره t برابر صفر باشد می‌توانیم داشته باشیم $X_t = 0$ و $I_t = I_{t-1}$ و هم $X_k = 0$ و $I_k = I_{k-1}$ و آن بدن معنی است که در یک حل غایی می‌تواند $X_t > 0$ و $I_t > 0$ باشد ولی چنین حلی نمی‌تواند بهینه باشد. برای ملاحظه آن توجه داریم که اگر $X_k = 0$ باشد می‌توانیم حل مینیمم هزینه را به توسط تجزیه مسئله به دو مسئله مستقل حل نماییم.

۳- مدل‌های تولید با هزینه ثابت راه‌اندازی

همان طوری که در ابتدای این فصل اشاره کردیم توابع هزینه مدل‌های برنامه‌ریزی تولید لزوماً خطی نیستند. در این قسمت ما می‌خواهیم یک مدل بسیار رایجی را در برنامه‌ریزی تولید مورد توجه قرار دهیم که برای شروع تولید استخراج به پرداخت هزینه ثابت راه‌اندازی باشد. نمونه‌های بسیار جالب این مدل کارخانجاتی هستند که تولیدات آن‌ها مثل کارخانجات لاستیک‌سازی پس از پرداخت هزینه ثابت مربوط به آماده‌سازی قالب تولید می‌سرد. این مسئله برای تدارک کالاهایی که از طریق ثبت سفارش با پرداخت هزینه می‌شوند نیز مصدق دارد. بنابراین هزینه تولید X_t واحد محصول در دوره t به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$C_t(X_t) = \begin{cases} 0 & \text{اگر } X_t = 0 \\ A_t + C_t X_t & \text{اگر } X_t > 0 \end{cases} \quad (16)$$

که در آن A_t هزینه ثابت راه‌اندازی و C_t هزینه متغیر تولید هر واحد محصول در دوره t است. این توابع هزینه به علت همین نایپوستگی در نقطه $X_t = 0$ جزء توابع مقرر به حساب می‌آید. در این قسمت این مسئله را در حالت بدون محدودیت در ظرفیت تولید و با محدودیت در ظرفیت تولید در نظر خواهیم گرفت و در هر مورد ابتدا راه حل دینامیکی آنرا که در اغلب کتاب‌های برنامه‌ریزی تولید موجود است عرضه خواهیم داشت. سپس مسئله را با یک راه حل ابتکاری که خاص خود نویسنده است حل خواهیم نمود. در راه حل ابتکاری متوجه خواهیم شد که تعداد محاسبات به نحو چشمگیری کمتر از راه حل‌های موجود است.

۱.۳- بدون محدودیت در ظرفیت تولید

۱.۱.۳- راه حل دینامیکی

فرض کنید که:

X_t : مقدار تولید در دوره t باشد.

D_t : تقاضای انتظاری در دوره t باشد.

$K(X_t, I_t)$: هزینه تولید X_t واحد محصول در دوره t و نگهداری I_t واحد محصول در پایان دوره t باشد.

توجه داشته باشید که $T = 1, 2, \dots, t$ است.

بنابراین در مدل مورد مطالعه داریم:

$$K(X_t, I_t) = \begin{cases} h_t I_t & \text{اگر } X_t = 0 \\ A_t + C_t X_t + h_t I_t & \text{اگر } X_t > 0 \end{cases} \quad (17)$$

که در آن h_t هزینه نگهداری یک واحد محصول در دوره t و C_t هزینه متغیر تولید هر واحد محصول و A_t هزینه ثابت راه‌اندازی در دوره t است.

$$\alpha_{jk} = F_j + M_{jk}$$

$$F_k = \min_{1 \leq j \leq k-1} [\alpha_{jk}]$$

سپس مدل نشان داده شده در شکل ۱ را ایجاد نمایید. برای یک دوره k ، نقطه شروع مجدد بهینه (k) بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha_{j^*(k),k} = \min_{1 \leq j \leq k-1} \alpha_{jk} \quad (28)$$

برای هر نقطه شروع مجدد k داده شده، می‌توان نقطه شروع مجدد بهینه قبلی k یعنی j^* که در آن سطح موجودی برابر صفر است پیدا نمود. با شروع از $T = k$ و استفاده از روش پس‌روی می‌توان نقاط شروع مجدد را در حل بهینه مشخص نمود.

شماره دوره آخرین تولید $(j+1)$	نقطه شروع مجدد قبلی (j)	افق برنامه‌ریزی (k)				
		۱	۲	۳	...	T
۱	*	*	*	*	...	*
۲	۱		۱۲	۱۳	...	۱T
۳	۲			۲۳	...	۲T
:	:				⋮	
T	$T-1$				$t-1, T$	
		$F_k = \min_j \alpha_{jk}$	F_1	F_2	F_3	...
		$[j^*(k)]$	$j^*(1)$	$j^*(2)$	$j^*(3)$...
						$j^*(T)$

شکل ۱ - جدول دستورالعمل پیش‌روی - بدون سفارشات عقب‌افتداد

مثال ۴

می‌خواهیم برای یک دوره‌ای برنامه‌ریزی تولید بنماییم. موجودی اولیه صفر بوده و سطح موجودی نهایی نیز باید صفر باشد. کسری مجاز نیست. هزینه‌های تولید و نگهداری به شکل زیر تعریف شده‌اند:

$$C_t(X_t) = \begin{cases} 0 & X_t = 0 \\ A_t + c_t X_t & X_t > 0 \end{cases}$$

$$H_t(I_t) = b_t I_t$$

تخمین پارامترهای هزینه و تقاضا در جدول داده شده است.

در آن صورت داریم:

$$(26)$$

$$(27)$$

$$(28)$$

برنامه‌ریزی از دوره ۱ تا $-k$ و برنامه‌ریزی از دوره 1 تا T . مسئله اول دارای $-k$ محدودیت بوده و در نتیجه دارای $-k$ متغیر غیر صفر در حل بهینه خواهد بود، دو می‌دارای $T-K$ محدودیت و $T-K$ متغیر غیر صفر هم خواهد بود. در نتیجه فقط $T-1$ متغیر غیر صفر در حل بهینه مسئله ترکیبی موجود خواهد بود و این خود دوباره دلیل بر صحت $= I_{t-1} X_t$ است.

دانستن این چنین خاصیتی از حل بهینه باعث نقصان فضای تصمیم‌گیری در وضعیت سیستم بوده و در نتیجه ما را قادر خواهد ساخت که از برنامه‌ریزی پویا به راحتی استفاده نماییم، فقط لازم خواهد بود که مقادیر زیر را برای X_t در نظر بگیریم:

$$D_t + D_{t+1} + \dots + D_T, \dots, D_t + D_{t+1}, D_{t+1}.$$

نقاطی از زمان که سطح موجودی دوباره صفر می‌شود به نام نقاط شروع مجدد می‌نامند. برای هر دوره زمانی که تولید برنامه‌ریزی شده باشد، شروع آن دوره را به نام زمان شروع مجدد می‌گیریم. براساس این خاصیت دستورالعمل زیر را ارایه می‌دهیم.

دستورالعمل پیش‌روی - بدون کسری

فرض کنید که M_{jk} هزینه تولید در دوره 1 تا j جهت ارضاء تقاضای دوره‌های $1, 2, \dots, j-1$ بوده، به طوری که:

$$(k = j+1, j+2, \dots, T; j=0, 1, \dots, T-1)$$

باشد. M_{jk} شامل هزینه نگهداری نیز است. توجه کنید که فرض ما بر این است که پایان دوره j و پایان دوره k زمانی‌ای شروع مجدد هستند. یعنی $= I_j$ و $= I_k$ است در آن صورت:

$$X_{j+1} = D_{j+1} + D_{j+2} + \dots + D_k \quad (22)$$

$$I_t = X_{j+1} - \sum_{r=j+1}^t D_r = \sum_{r=t+1}^k D_r \quad , \quad (t = j+1, j+2, \dots, k-1) \quad (23)$$

$$M_{jk} = C_{j+1}(X_{j+1}) + \sum_{t=j+1}^{k-1} H_t(I_t)$$

در نتیجه:

$$M_{jk} = C_{j+1}\left(\sum_{r=j+1}^k D_r\right) + \sum_{t=j+1}^{k-1} H_t\left(\sum_{r=t+1}^k D_r\right) \quad (24)$$

فرض کنید که F_k نمایشگر هزینه رویه بهینه برای دوره‌های $1, 2, \dots, k$ به شرط $= I_k$ باشد، پس:

$$F_k = \min_{1 \leq j \leq k-1} [F_j + M_{jk}] \quad (k = 1, 2, \dots, T) \quad (25)$$

و $= F_0$ است.

برای مرتب کردن روش محاسبه، α_{jk} را بعنوان بهترین هزینه برای دوره‌های $1, 2, \dots, k$ تعریف می‌نماییم، که در آن $= I_k$ و $= I_{k-1} + 1$ دوره آخرین تولید است یعنی:

$$X_{j+1} = X_{j+2} = \dots = X_k = 0 \quad \text{و} \quad X_{j+1} > 0$$

$$M_{\gamma\gamma} = A_1 + C_1(D_1 + D_\gamma + D_\gamma + D_\gamma) + h_1(D_\gamma + D_\gamma + D_\gamma) + h_\gamma(D_\gamma + D_\gamma) + h_\gamma D_\gamma = ۷۶۰$$

$$M_{1\gamma} = A_\gamma + C_\gamma(D_\gamma + D_\gamma + D_\gamma) + h_\gamma(D_\gamma + D_\gamma) + h_\gamma D_\gamma = ۵۱۰$$

$$M_{\gamma 1} = A_\gamma + C_\gamma(D_\gamma + D_1) + h_\gamma D_1 = ۳۴۰$$

$$M_{11} = A_1 + C_1 D_1 = ۱۷۰$$

$$F_\gamma = \text{Min} \begin{cases} \alpha_{\gamma\gamma} = F_\gamma + M_{\gamma\gamma} = ۰ + ۷۶۰ = ۷۶۰ \\ \alpha_{1\gamma} = F_1 + M_{1\gamma} = ۹۰ + ۵۱۰ = ۶۰۰ \\ \alpha_{\gamma 1} = F_\gamma + M_{\gamma 1} = ۲۲۰ + ۳۴۰ = ۵۶۰ \\ \alpha_{11} = F_1 + M_{11} = ۱۷۰ + ۱۷۰ = ۳۴۰ \end{cases}$$

حل نهایی: بنابراین $\alpha_{\gamma\gamma} = ۰$, $X_{\gamma\gamma}^* = ۲۰$, $X_{\gamma 1}^* = ۳۰$, $X_{1\gamma}^* = ۷۰$, $X_{11}^* = ۲$ و $j^*(\gamma) = ۵۶۰$. این نتایج در جدول ۸ خلاصه شده است.

جدول ۸- تعیین F_k و $j^*(k)$ از مقادیر j^* مثال ۴

$j \backslash k$	۱	۲	۳	۴
۰	۹۰	۲۴۰	۵۲۰	۷۶۰
۱		۲۲۰	۴۲۰	۶۰۰
۲			۴۱۰	۵۶۰
۳				۵۸۰
F_k	۹۰	۲۲۰	۴۱۰	۵۶۰
$j^*(k)$	۰	۱	۲	۴

توجه داریم که ما مسئله را بصورت پی‌درپی با افق برنامه‌ریزی یک، دو، سه و چهار دوره حل کردیم. برای فهمیدن اینکه برنامه تولید بهینه چگونه تعیین شده است، اطلاعات داده شده در جدول ۸ را مطالعه بفرمایید. برای آنکه $k=۴$ است، من نقطه شروع مجدد ۲ است یعنی:

$$X_{\gamma\gamma}^* = ۰, I_{\gamma\gamma}^* = D_\gamma = ۳۰$$

$$X_{\gamma 1}^* = D_\gamma + D_1 = ۷۰, I_{\gamma 1}^* = ۰$$

چونکه سطح موجودی در پایان دوره ۲ برابر صفر است فرض می‌کنیم $k=۲$ است و نقطه شروع مجدد تبلیغ را که ۱ است بدست می‌آوریم. پس $۰ = X_{11}^* = D_1 = ۳۰$ و $I_{11}^* = ۲۰$ برای $k=1$ داریم. این نتایج خواهد بود.

ابتدا مسئله تک دوره‌ای را در نظر بگیرید.

$$M_{\gamma\gamma} = A_1 + C_1 D_1 = ۳۰ + (۳)(۲۰) = ۹۰$$

$$F_1 = \alpha_{1\gamma} = F_1 + M_{1\gamma} = ۹۰ + ۹۰ = ۹۰$$

$$j^*(1) = ۰, X_1^* = ۲۰$$

حل فرضی یک دوره‌ای:

جدول ۷- مفروضات مثال ۴

دوره t	بیشینی تقاضا D_t	هزینه آماده‌سازی A_t	هزینه متغیر هر واحد محصول C_t	هزینه تک‌داری برای هر دوره b_t
۱	۲۰	۳۰	۳	۲
۲	۳۰	۴۰	۳	۲
۳	۴۰	۳۰	۴	۱
۴	۲۰	۵۰	۵	۱

سپس مسئله دو دوره‌ای را در نظر می‌گیریم: ($k=۲$)

$$M_{\gamma\gamma} = A_1 + C_1(D_1 + D_\gamma) + h_1 D_\gamma = ۳۰ + (۳)(۲۰+۳۰) + (۲)(۳۰) = ۲۴۰$$

$$M_{1\gamma} = A_\gamma + C_\gamma D_\gamma = ۴۰ + (۳)(۳۰) = ۱۳۰$$

$$F_\gamma = \text{Min} \begin{cases} \alpha_{\gamma\gamma} = F_\gamma + M_{\gamma\gamma} = ۰ + ۲۴۰ = ۲۴۰ \\ \alpha_{1\gamma} = F_1 + M_{1\gamma} = ۹۰ + ۱۳۰ = ۲۲۰ \end{cases}$$

حل فرضی دو دوره‌ای:

$$X_{\gamma\gamma}^* = ۲۰, X_{\gamma 1}^* = ۲۰ \text{ و } j^*(2) = ۱, F_\gamma = ۲۲۰$$

برای مسئله سه دوره‌ای داریم ($k=۳$):

$$A_{\gamma\gamma} = A_1 + C_1(D_1 + D_\gamma + D_\gamma) + h_1(D_\gamma + D_\gamma) + h_\gamma D_\gamma = ۵۲۰$$

$$M_{1\gamma} = A_\gamma + C_\gamma(D_\gamma + D_\gamma) + h_\gamma D_\gamma = ۳۳۰$$

$$M_{\gamma 1} = A_\gamma + C_\gamma D_1 = ۱۹۰$$

$$F_\gamma = \text{Min} \begin{cases} \alpha_{\gamma\gamma} = F_\gamma + M_{\gamma\gamma} = ۰ + ۵۲۰ = ۵۲۰ \\ \alpha_{1\gamma} = F_1 + M_{1\gamma} = ۹۰ + ۳۳۰ = ۴۲۰ \\ \alpha_{\gamma 1} = F_\gamma + M_{\gamma 1} = ۲۲۰ + ۱۹۰ = ۴۱۰ \end{cases}$$

حل فرضی سه دوره‌ای:

$$X_{\gamma\gamma}^* = ۴۰, X_{\gamma 1}^* = ۳۰, X_{1\gamma}^* = ۲۰ \text{ و } j^*(3) = ۲, F_\gamma = ۴۱۰$$

و بالاخره برای مسئله چهار دوره‌ای داریم ($k=۴$):

مثال ۵

در مثال ۴ تصور کنید که سفارشات عقب افتاده مجاز باشد و جرمیه سفارش جدید دادن بصورت زیر تعریف گردد:

$$H_t^-(I_t^-) = \pi_t I_t^-$$

همچنین در آن $\pi_1 = 1$, $\pi_2 = 1$, $\pi_3 = 2$, $\pi_4 = 2$ تعریف شوند. قدم اول عبارت از محاسبه M_{jk} برای $k = 1, 2, 3, 4$ است و تمام j است. این مسئله درگیر محاسبه دوره بهینه تولید بین نقاط شروع مجدد j و k است. این دوره را به توسط (j, k) تعریف می‌نماییم.

$$M_{1,1} = C_1(D_1) = 90; t^*(\cdot, 1) = 1$$

$$M_{1,2} = \min \begin{cases} C_1(D_1 + D_2) + H_1^+(D_2) = 240 \\ C_2(D_1 + D_2) + H_1^-(D_1) = 210 \end{cases}$$

$$M_{1,2} = 210; t^*(\cdot, 2) = 2$$

$$C_1(D_1 + D_2 + D_3) + H_1^+(D_2 + D_3) + H_2^+(D_3) = 520$$

$$M_{1,3} = \min \begin{cases} C_2(D_1 + D_2 + D_3) + H_1^-(D_1) + H_2^+(D_3) = 410 \\ C_3(D_1 + D_2 + D_3) + H_1^-(D_1) + H_2^-(D_1 + D_3) = 460 \end{cases}$$

$$M_{1,3} = 410; t^*(\cdot, 3) = 2$$

$$C_1\left(\sum_{r=1}^3 D_r\right) + H_1^+(D_2 + D_3 + D_4) + H_2^+(D_3 + D_4) + H_3^+(D_4) = 760$$

$$C_2\left(\sum_{r=1}^3 D_r\right) + H_1^-(D_1) + H_2^+(D_2 + D_3) + H_3^+(D_4) = 590$$

$$M_{1,4} = \min \begin{cases} C_2\left(\sum_{r=1}^3 D_r\right) + H_1^-(D_1) + H_2^-(D_1 + D_3) + H_3^+(D_4) = 510 \\ C_3\left(\sum_{r=1}^3 D_r\right) + H_1^-(D_1) + H_2^-(D_1 + D_3) + H_3^-(D_1 + D_2 + D_3) = 780 \end{cases}$$

$$M_{1,4} = 590; t^*(\cdot, 4) = 2$$

$$M_{1,2} = C_2(D_2) = 130; t^*(1, 2) = 2$$

$$M_{1,2} = \min \begin{cases} C_2(D_2 + D_3) + H_2^+(D_3) = 330 \\ C_3(D_2 + D_3) + H_2^-(D_2) = 340 \end{cases}$$

$$M_{1,2} = 330; t^*(1, 3) = 2$$

دستورالعمل پیش روی - سفارشات عقب افتاده مجاز است

وقتی کسری مجاز باشد و سفارش برای کالاهای عقب افتاده داده شود موجودی خالص I_t^- ممکن است مقادیر منفی اختیار نماید. حال فرض می‌کنیم که

$$K_t(x_t, I_t) = C_t(x_t) + H_t^+(I_t^+) + H_t^-(I_t^-)$$

که در آن I_t^+ موجودی در دست و I_t^- مقدار کالای دوباره سفارش داده شده در پایان دوره t است. $I_t^- - I_t^+ = I_t$ و $H_t^+ + H_t^-$ مقرر فرض می‌شوند. رویه تولید بهینه دارای این خاصیت است که حداقل دو تا از سه کمیت I_t^+ , I_t^- و x_t صفر است، یعنی تقاضا در مردوره t کاملاً به توسط موجودی ارضاء گردیده (تولید در دوره‌های قبلی بوده است) یا کاملاً متوجه تولید در دوره t خواهد بود. این خاصیت ممکن است به طرقی مشابه

حالت بدون کسری که در آن نشان داده ایم $X_t = 0$ است ولی به مراتب مشکل تر اثبات گردد. این خاصیت حل بهینه بدین معنی است که اگر تولید در دوره t صورت پذیرد t و $t+1$ نزدیکترین نقاط شروع مجدد $(0, I_k)$ قبیل و بعد از t باشد داریم:

$$X_t = \sum_{r=j+1}^k D_r \quad (28)$$

لازم به تذکر است که اگر j و k دو نقطه شروع مجدد پی در پی باشند، دقیقاً یک دوره‌ای مثل t موجود خواهد بود که $t \leq k$ بوده و در آن حتماً تولید صورت می‌پذیرد. ما M_{jk} را دوباره بدین صورت تعریف می‌کنیم که آن مینیمم هزینه تولید دقیقاً در یکی از دوره‌های $1, 2, \dots, j+2, j+3, \dots, k$ است به طوری که تقاضا در فاصله این دوره‌ها را ارضاء می‌نماید و $I_k = I_j = 0$ است. پس

$$M_{jk} = \begin{cases} C_{j+1}(D_{j+1}) \\ \min_{j+1 \leq t \leq k} [C_t(X_t) + \sum_{l=j+1}^{t-1} H_l^-(I_l^-) + \sum_{l=t}^{k-1} H_l^+(I_l^+)] \end{cases} \quad \text{اگر } j+1 > k$$

که در آن X_t به توسط (28) داده شده است و

$$I_l^- = \sum_{r=j+1}^l D_r \quad l = j+1, 2, \dots, t-1 \quad (30)$$

$$I_l^+ = \sum_{r=t+1}^k D_r \quad l = t+1, 1, \dots, k-1 \quad (31)$$

معادله برگشتی پیش رو، بصورت زیر است:

$$F_k = \min_{0 \leq j \leq k-1} [F_j + M_{jk}]$$

$$F_k = \min_{0 \leq j \leq k-1} [\alpha_{jk}] \quad \text{اگر } k = 1, 2, \dots, T \quad (32)$$

که در آن $F_0 = 0$ است. در حالت وجود سفارشات عقب افتاده محاسبات مربوط به مینیمم سازی اولیه M_{jk} خود نیاز به عملیات بیشتری دارد.

جدول ۱۰ - تعیین F_k و $t^*(k)$ باز مقادیر a_{jk} برای مثال ۵

$j \backslash k$	۱	۲	۳	۴
-	۹۰*	۲۱۰*	۴۱۰	۵۹۰
۱		۲۲۰	۴۲۰	۵۸۰
۲			۴۰۰*	۵۵۰*
۳				۵۷۰
F_k	۹۰	۲۱۰	۴۰۰	۵۵۰
$j^*(k)$	*	*	۲	۲

پس $3 = t^*(2, 4)$ و همچنین $2 = t^*(3, 2)$ را به دست می‌آوریم. تمام متغیرهای موجودی و سفارشات عقب افتاده صفراند غیر از $I_1^- = 30$. همینه کل این برنامه بهینه برابر 550 واحد پول قرارداد است.

۲.۱.۳ - راه حل ابتکاری برای مسائل بدون کسری

برای اینکه به یک الگوریتم ساده جهت حل مسائل برنامه‌ریزی تولید با تابع هزینه مقعر و در حالت بدون محدودیت در ظرفیت تولید دسترسی پیدا کنیم باید یک سری عملیات ریاضی به شرح زیر انجام دهیم. ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای این مسئله بوجود می‌آوریم. پس از آن یک شرط کافی برای این مسئله به دست می‌آوریم. چون در این مسئله تقاضای هر دوره باید توسط تولید در همان دوره و یا موجودی دوره‌های قبل برآورده گردد، لذا جدول حمل و نقل را برای حل مسئله تعریف خواهیم نمود. متغیرهای بهینه مدل برنامه‌ریزی خطی، شرط کافی و جدول حمل و نقل فوق ما را قادر خواهد ساخت که یک الگوریتم جدیدی جهت حل این مسئله ارایه دهیم. ضمناً اثبات چند قضیه باعث خواهد شد که تعداد محاسبات این الگوریتم به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.

مدل برنامه‌ریزی خطی

فرض کنید که متغیر $x_{ij} = 1$ و $= 0$ یا به ترتیب مین تولید و عدم تولید در دوره آباد و x_{ij} نمایشگر نسبتی از تقاضای دوره آباد که در دوره آباد تولید می‌گردد. در آن صورت طبق مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط پیشنهادی Bitran و همکاران او مدل P را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$\text{Min } x_i = \sum_{j=1}^T \sum_{j=1}^T C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^T \lambda_i y_i$$

بطوری که

$$\sum_{i=1}^T x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, T$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad i = 1, 2, \dots, T; j \geq 1$$

عدد صحیح

$$\begin{aligned} & C_T(D_T + D_F) + H_T^+(D_T + D_F) + H_F^+(D_F) = 510 \\ M_{12} = \text{Min} \quad & C_T(D_T + D_F + D_F) + H_T^-(D_F) + H_F^+(D_F) = 490 \\ & C_T(D_T + D_F + D_F) + H_T^-(D_F) + H_F^-(D_F) = 620 \end{aligned}$$

$$M_{12} = 490; t^*(1, 2) = 3$$

$$M_{23} = C_T(D_F) = 190; t^*(2, 3) = 3$$

$$M_{23} = \text{Min} \begin{cases} C_T(D_F + D_F) + H_F^+(D_F) = 340 \\ C_T(D_F + D_F) + H_F^-(D_F) = 410 \end{cases}$$

$$M_{23} = 340; t^*(2, 3) = 3$$

$$M_{34} = C_T(D_F) = 170; t^*(3, 4) = 4$$

جدول ۸ شامل خلاصه‌ای از محاسبات است. قدم بعدی عبارت از حل مسئله برای F_k و $t^*(k)$ با استفاده از مقادیر M_{jk} در رابطه برگشتی (۳۲) است. این نتایج در جدول ۱۰ داده شده است.

جدول ۹ - تعیین M_{jk} برای مثال ۵

نقشه شروع مجدد قبلی (j)	نقشه شروع مجدد بعدی (k)	پریود تولید (t)				$t^*(j, k)$	M_{jk}
		۱	۲	۳	۴		
-	۱	۹۰*				۱	۹۰
	۲	۲۴۰	۲۱۰*			۲	۲۱۰
	۳	۵۲۰	۴۱۰*	۴۶۰		۲	۴۱۰
	۴	۷۶۰	۵۹۰*	۶۱۰	۷۸۰	۲	۵۹۰
1	۲		۱۲۰*			۲	۱۲۰
	۳		۳۲۰*	۲۴۰		۲	۳۲۰
	۴		۵۱۰	۴۹۰*	۶۲۰	۲	۴۹۰
	۱			۱۱۰*		۲	۱۱۰
2	۲			۲۲۰*	۴۱۰	۲	۳۴۰
	۴			۳۴۰*	۴۱۰	۲	۳۴۰
3	۴				۱۷۰*	۴	۱۷۰

از جدول ۱۰ ملاحظه می‌کنیم که نقاط شروع مجدد بهینه 2 و 3 هستند. برای نقاط شروع مجدد $j = 2$ و $j = 3$

جدول ۹ عبارت $2 = (2, 0)$ را عاید می‌سازد. پس $x^* = 0$ و $x^* = 2$ است.

مدل‌های تولید

۱ - مقدمه

هدف از تولید حداقل در معنای ایده‌آل آن غنی بازی اجتماع از طریق تولید محصولاتی با عملکرد مطلوب، زیبایی مطلوب، اینم از لحاظ محیط زیست، از نظر اقتصادی قابل تهیه، قابل اطمینان و باکیفیت بالا است. اهداف اصلی همچون صلح جهانی، ایمنی مالی و شهرنشان مسئولیت پذیر، اغلب مضامینی متناقض هستند. تعریف واقع بیانه‌تری از هدف تولید، رسیدن به عملکرد، کیفیت و قابلیت اطمینان موردنظر مشتری با حداقل هزینه است. مسئولیت مدیریت تولید برقراری اولویت‌ها، اهداف و نظارت بر اجرای کار است. مهندسین تولید یا صنایع تعیین می‌کنند که چگونه می‌توان از رودی‌های در دسترس همچون کارگران، تکنولوژی، سرمایه، مواد و اطلاعات برای دستیابی به اهداف فوق بهره جست. نگرش مطرح شده در این کتاب حول استفاده از مدل‌های تحلیلی و تجربی سیستم تولیدی است که به تصمیم‌گیری‌های مهندسی و تولیدی کمک می‌کند.

هدف دیگر تولید فراهم آوردن کارگرانی سودران برای به خرکت درآوردن چرخ‌های اقتصادی است. با این وجود در طول قرن بیستم، درصد استخدام داخلی ایالات متعدد در صنایع تولیدی به سرعت رو به کاهش گذارداده است. این کاهش تدریجی بود و در حدود سال‌های ۱۹۶۰ به ۳۰ درصد رسیده است. سپس نزخ کاهش با تأثیرپذیری پخش خدمات روند عکس طی کرده است. در سال‌های ۱۹۸۰ تنها ۲۱ درصد استخدام داخلی ایالات متعدد در بخش تولید بوده است. کاهش‌های پیشین به میزان زیادی با بهره‌وری افزاینده امروز مورد توجه فوارگرفته است. در سال‌های اخیر کارایی بهبود یافته شرکای تجارت بین‌المللی امریکا، موقعیت رقابتی صنایع تولیدی ایالات متعدد را به فراسایش کشانده است. کافی است نگاهی به برچسب‌های «ساخت» خودروها، ضبط صوت، درریین، لیاس و سایر کالاهای مصرفی یاندازیم تا این وضعیت دشوار را درک نکنیم. روابط‌ها و دستگاه‌های خودکار بجای آنکه موجب از دست رفتن مشاغل گرددند تبدیل به بخش ضروری فعالیت‌های تجاری شده‌اند. بدون مزایای بهره‌وری حاصل از خودکارسازی (اتوماسیون) همچنان مشاغل بیشتری از دست می‌رفتند. اقتصاد رو به رشد دهه ۱۹۶۰ حاکی از آن بود که هر محصولی که تولید می‌شد بطور بالقوه قابلیت فروش و سودآوری را داشت. انگیزه بهبود اندک محصول رو به تحلیل گذاشت و کاهش بهره‌وری نیز کاملاً نادیده گرفته شد. در بازارهای جهانی امروز دیگر کالاهای تجملاتی قابل تهیه نیستند. صنعت به ما آموخت که بهبود مستمر برای تداوم بقا، یک پیش نیاز اجتناب ناپذیر است.

تولید را می‌توان بصورت تولید بخش‌های مجزا و یا فرآوری پیوسته طبقه‌بندی نمود. تولید بخش‌های مجزا با قطعات مجزایی مانند مدارهای چاپی و یا قطعات موتور که به وضوح قابل تشخیص هستند، شناخته می‌شود. صنایع فرآوری بر اساس محصولی کار می‌کنند که بطور مستمر در حال جریان است. واضح ترین مثال‌های این نوع صنعت، پالایشگاه نفت و صنایع شیمیایی است. این کتاب از دیدگاه تولید قطعات مجزا تحریر شده است. با این



برنامه‌ریزی فرآیند، مشخصات توالی عملیات مورد نیاز برای تبدیل مواد خام به قطعات و مونتاژ قطعات به صورت محصول را مشخص می‌نماید. برنامه‌ریزی فرآیند به درک عمیقی از قابلیت دسترسی و قابلیت توانمندی عملیات تولیدی و نیازهای عملیاتی که توسط طراح محصول تعیین شده نیاز دارد. در انتخاب ماشین‌آلات باید عواملی نظیر اندازه قطعه، نیز تقاضا، هزینه‌های ابزار و مصرف انرژی را در نظر گرفت. برای مثال برنامه‌ریز باید بداند که آیا یک ابزار یا ماشین خاص می‌تواند به محدوده انحرافات تعیین شده دست پیدا کند. آیا یک سوراخ باید خوبی ساده ایجاد شود و یا باید یک عملیات برقوزی روی آن انجام گیرد؟ آیا این قطعه را می‌توان قبل از لحیم‌کاری روی یک بد مدار نصب کرد و یا باید ابتدا عملیاتی انجام داد و سپس قطعه را در عملیات لحیم‌کاری نهایی آن اضافه نمود. برنامه فرآیند نهایی مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها است که تعیین می‌کنند چگونه یک قطعه باید ساخته شود، این دستورالعمل‌ها شامل توالی ابزارهای ماشین، ابزارهای موردنبیاز و تنظیمات ماشین است. شکل ۶-۲ یک برنامه عمومی فرآیندی را نشان می‌دهد. هر سطر حاوی اطلاعاتی است که کارگر برای تولید قطعه به آن نیاز دارد. موقعیت (مکان) نقشه‌های تفصیلی قطعه و شماره نواری که برای اجرای برنامه روی دستگاه NC مورد نیاز است نیز ممکن است به آن اضافه گردد.

نام قطعه:	شافت
شماره:	AS34967
برنامه‌ریز:	حسینی
تاریخ:	۱۳۸۰/۱۱/۹
برگه:	۱ از ۱

واحد زمانی	زمان نصب و راهاندازی	شماره ابزار	نام ابزار	شرح عملیات	شماره عملیات	ماشین	بخش
۰/۰۰۲	۰/۱۰ ساعت	D1415 P967	فیکسچر Bit	سوراخکاری با قطر ۲/۸"	۱۰۰	برس سوراخکاری	۱۲۰
۰/۰۰۱	۰/۱۵ ساعت	GC111 S3641	فیکسچر سنگ نهایی	سنگزنانی بنش جلویی	۱۱۰	سنگ عمودی	۱۲۰
۰/۰۱۴	۰/۲۰ ساعت	HS340 LC967	فیکسچر برس	برس با خطر $1,540 \pm 0,001$	۱۲۰	تراش	۱۲۰
:	:	:	:	:	:	:	:

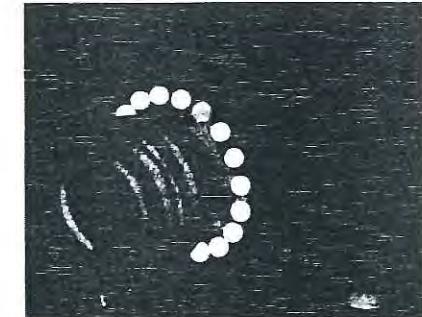
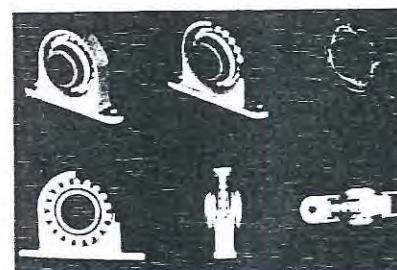
شکل ۶-۲: یک برنامه فرآیند نمونه

حال بسیاری از مدل‌های این کتاب را می‌توان در صنایع فرآوری نیز بکار بست. با این وجود، معمولاً صنایع فرآوری جاذب سرمایه بوده و با ظرفیت سروکار دارند. تولید قطعات مجرأاً عمدتاً با زمانبندی، کنترل مواد و تخصیص نیروی کار سروکار دارد. البته انواع سیستم‌های مختلف با یکدیگر همپوشانی نیز دارند. به عنوان مثال تولید ابوه قطعات مجرأاً، با بسیاری از ویژگی‌های صنایع فرآوری مشترک است.

یک سیستم تولیدی را می‌توان به پنج عملکرد مرتبه تقسیم نمود. این عملکردها عبارتند از طراحی محصول، طراحی فرآیند، عملیات تولیدی، چیدمان مواد، چیدمان تجهیزات و برنامه‌ریزی و کنترل تولید. جریان اطلاعات امری است که این پنج عملکرد را به حرکت درمی‌آورد، بر هماهنگی بین آن‌ها نظارت کرده و تطابق آن‌ها را با اهداف مشترک می‌ستجد. سیستم اطلاعاتی با عملکردهای حسابداری، خرید، بازاریابی، مالی، متابع انسانی و سایر عملیات اداری و پشتیبانی در تعامل است.

وظیفه طراحی محصول، اخذ و روده‌ها از بازاریابی با توجه به خواسته‌های مشتریان و تجربه و تدوین شرحی از محصول است که بتوان آن را بطور سودآوری برای تأمین خواسته‌ها تولید نمود. سابقاً از لیست‌های کنترلی که حاشیه نویسی شده بودند برای تشریح محصول استفاده می‌شد. امروزه سیستم‌های نوین طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) جایگزین آن‌ها شده‌اند. مدل CAD را می‌توان در یک ایستگاه کاری گرافیکی به همراه پادداشت‌های موردنظر نمایش داد. این سیستم‌ها قابلیت نمایش تصاویر سه بعدی از محصول و یا برش‌های آن را از هر زاویه و با هر نورپردازی دارا هستند. مدل ذخیره شده در کامپیوتر به صورت مجموعه‌ای از لبه‌ها تعریف می‌شود که رتوس قرار گرفته در فضا را به یکدیگر پیوند می‌دهند. سطوح همواره که لبه‌ها را به هم پیوند می‌دهند با استفاده از معادلات ریاضی تعریف می‌گردند. نتیجه حاصل یک تصویر سه بعدی است که هندسه و تپولوژی (جانمایی) آن را می‌توان با نقاط، ساختار داده‌های مرتبط با نقاط و پارامترهای مرتبط با عبارت ریاضی نمایش داد. برخی از سیستم‌های CAD بجای این کار شیء را بصورت مجموعه‌ای از اشیای ابتدایی نظیر کره، مکعب و مخروط مقیاس‌بندی شده در فضا نشان می‌دهند. با تلفیق و انتقال شکل‌های اصلی، می‌توان محصول را طراحی نمود و سپس با استفاده از ابزارهای کامپیوترا مبتنی بر ریاضیات نظیر تحلیل عددی برای تعیین خواص نظیر جرم و مقاومت تحلیل نمود.

شکل ۶-۱: نهایی مختلقی از مدل CAD یک قطعه مونتاژی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱: مدل‌های طراحی محصول به کمک کامپیوتر

داده‌هایی قابل اطمینان نیاز دارند که در حالت ایده‌آل بتوان آن‌ها را از طراحی محصول، برنامه‌های تولید و سیستم اطلاعاتی گردآوری نمود. گردآوری ورودی‌های مدل یکی از مشکل‌ترین جنبه‌های هر مدل سازی است. ممکن است نیاز به استفاده از داده‌های مختلف از منابع متعدد باشد و حتی لازم باشد که عدم سازگاری منابع داده‌ها اصلاح گردد. سیستم‌های حسابداری با نگاهی به تنظیم اظهارنامه‌های مالی برای مالیات و اهداف موردنظر شهاده‌ران طراحی شده‌اند. علیرغم اینکه مدیریت سطح بالا با جمع‌آوری داده‌های جامع از سطوح میانی اقدام به برنامه‌ریزی می‌نماید با این وجود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی اغلب جایگاه دوم را به خود اختصاص می‌دهند. در سطوح پایینی سازمان، مهندسین تولید وقتی درخواست هزینه با مقدار بهره‌وری خاصی را می‌کنند. البته ممکن است به علت عدم وجود داده‌های مناسب به جواب مطلوب نرسند. فتدان داده باعث اصلاح و یا تغییر مدل می‌گردد. همچو روش استانداری برای جمع‌آوری ورودی‌های یک مدل وجود ندارد. با اینهمه داشتن ورودی‌های قابل اطمینان برای موقعیت یک مدل امری حیاتی است؛ امروزه نیز همانند همیشه قانون^(۱) "GIGO" صادق است. در نهایت، فردی که مدلسازی می‌کند مستول اعتبار مدل نیز هست. بنابراین درک ورودی‌های مورد نیاز مدل و ورودی‌هایی که در دسترس هستند و یا فراهم خواهند شد برای مدلسازی امری واجب است. تعاریف پارامترها باید و به منظور اجتناب از ارتباط غلط بین تولیدکننده و استفاده کننده داده‌ها، واضح و روشن باشد. مدل‌ها باید برای تضمین صحت ورودی‌ها بررسی شوند. پارامترهای مدل باید به طور تصادفی تغییر کرده و حساسیت مدل نسبت به پارامترها تعیین گردد.

شکل ۶-۳- نقش عملکردهای اصلی فرآیند تولید را نشان می‌دهد. این عملکردها مستقیماً به توالی فعالیت‌های تولیدی مرتبط هستند. اگر چه این عملکردها طوری نشان داده شده‌اند که گریب متواالاً رخ می‌دهند، ولی تجزیات فعلی حاکی از گرایش مهندسی همروند (یا مهندسی همزمان یا موازی) دارند، که در آن گروههای طراحی سعی در یکپارچه‌سازی طراحی و گام‌های توسعه دارند. با در نظر گرفتن ابزارآلات، موتناز و نقل و انتقال در طول طراحی محصول، امید است که با اجتناب از طراحی محصولی که قابل تولید نیست بتوانیم زمان مورد نیاز برای ورود محصول به بازار را کاهش دهیم.

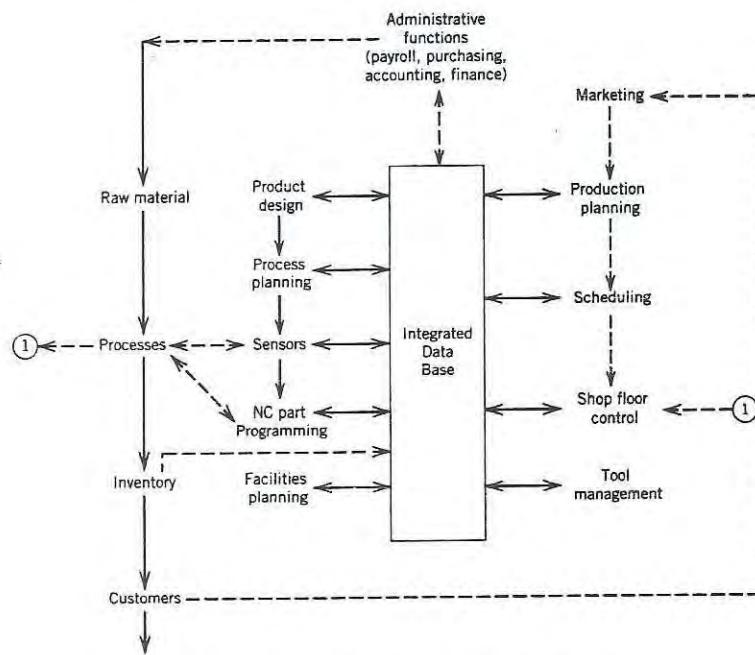
بته عملکردهای اجرایی نظر حسابداری، دریافت سفارش، مالی (اعتبار) و فروش نیز ضروری هستند. کل سیستم تولیدی در شکل ۶-۴ نشان داده شده است. عملکردهای اجرایی بطور خلاصه نشان داده شده‌اند ولی بقدر کافی شامل جزئیات هستند تا سیستم تولیدی و ارتباطات داخلی آن را نشان دهند. تماماً از تضمین کیفیت به عنوان یک عملکرد جداگانه صرفنظر کرده‌ایم. کیفیت بخشی از کار هر یک از افراد است و در هر عملکرد وجود دارد. یکی از اجزاء کلیدی در شکل ۶-۴ استفاده از پایگاه داده‌های یکپارچه است. این شکل پایگاه داده‌های یکپارچه‌ای را پیش‌نمود که برای سیستم‌های تولیدی یکپارچه کامپیوتری (CIMS)^(۲) آینده پیش‌بینی شده است. فایل‌های داده‌ها را می‌توان روی شبکه توزیع نمود به طوری که تمام کاربران قابلیت دستیابی به داده‌ها و اطلاعات بطرور همزمان داشته باشند. یک واحد سازمانی مسئولیت صحت و بهنگام سازی هر داده را به عهده دارد ولی تمام عملکردهایی که این داده‌ها مربوط به آن‌ها می‌شوند، به داده‌ها دسترسی خواهند داشت. چنین سیستم‌هایی به قالب

عملیات تولیدی عموماً یا ماهیت ساختنی دارند و یا موتنازی. ساخت به برداشت مواد از مواد اولیه (خام) و یا تغییر در حالت (فرم) آن به منظور دستیابی به قالب مفیدتر اطلاق می‌گردد. تزریق پلاستیک اکسترورزن الومینیوم، تراش قطری یک قطمه، ایجاد یک سوراخ و یا خم کردن یک لبه مثال‌هایی از این دسته هستند. موتنازی تلفیق مجزا و یا مواد خام اولیه به منظور تولید یک واحد تلفیقی با ارزش‌تر اطلاق می‌گردد. نصب یک برد روی شاسی یک کامپیوتر و یا اضافه کردن پایه به میز مثال‌هایی از این دسته هستند. در عمل ضروری است که تعاریف خود را قادری ساده‌تر کرده و یک سیستم نمونه تولیدی را بصورت سیستمی در نظر بگیریم که ابتدا قطعات را تولید کرده و سپس آن‌ها را در قالب یک محصول نهایی موتناز می‌کند. با این حال، فعالیت‌های ساخت یک برد را تشکیل می‌دهند. علاقه‌ما این است که از سطح فرآوری (فرآیند) منفرد، گامی به عقب گذاشته و در رایسم که چگونه مواد در یک سیستم تولیدی جریان پیدا می‌کنند و چگونه فرآیندها به منظور دستیابی به حجم مطلوب تولید با گفتگوی مورد نظر با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. واضح است که مواردی نظری آماده سازی ابزار و ناقص عملیاتی در تولید اهمیت دارند، ولی این موارد در قلمرو هدف این کتاب نیست.

اگرچه محتوای این کتاب صرفاً به بحث در مورد بجایگاهی مواد و طرح‌ریزی تجهیزات اختصاص داده نشده است (می‌توانید به Tompkins, White [1984] مراجعه کنید) ولی با این موارد مرتبط می‌باشد که در صورت لزوم اشاره‌ای به آن‌ها خواهد شد. با این‌که اغلب به دو مورد اخیر از دیدگاه عمومی طراحی سیستم می‌اندیشیم، ولی در اینجا مایلیم پیکربندی‌های خاص سیستم را مورد ارزیابی قرار دهیم. حمل و نقل مواد با تکنیک‌های مورد استفاده برای حمل قطعات، تجهیزات و ابزارها و ضایعات در کارخانه سر و کار دارد. چیدمان تجهیزات با نحوه قراردادهای فیزیکی فرآیند تولید از طریق تجهیزات، روابط فرآیندهای مرتبط، ارایه خدمات مورد نیاز نظیر هواخواه، روشانی، برق و تهویه مطبوع به محیط کار و حذف محصولات زائد نظیر دود، رنگ، براده‌ها و مواد خنک کننده از محیط سروکار دارد. در این فرآیند، طراح سیستم جریان مواد تباید مورد بین توجه قرار گیرد. طراحی محصول می‌تواند به دلیل توجه ناکافی به چیدمان و انتقال مواد با شکست مواد مواجه شود.

برنامه‌ریزی، زمانبندی و کنترل تولید، اجزاء با اهمیتی از سیستم تولیدی را تشکیل می‌دهند. برنامه‌ریزی تولید مسئول تلفیق اطلاعات مربوط به تقاضای بازار، ظرفیت تولید و سطوح فعلی موجودی به منظور تعیین سطوح تولید برنامه‌ریزی شده بر حسب گروه (خانواده) محصول و برای دوره‌های میان مدت تا بلند مدت است. این برنامه جامع از طریق گام‌های متعددی نهایتاً به برنامه‌های زمانبندی کوتاه مدت تجزیه می‌شوند و اهداف هر مرکز کاری را نشان می‌دهند. سپس کارهایی را که به مرکز کاری اختصاص داده شده‌اند بر حسب توالی و ترتیب پارشدن روی ماشین‌آلات تهیه می‌شوند. هدف این کتاب تعیین چگونگی دستیابی به بهترین برنامه سیستم تولیدی با کارایی مطلوب است. در این کتاب دریاره فرآیند برنامه‌ریزی، زمانبندی و کنترل تولید بحث نخواهیم کرد. خواننده برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به کتب متعددی که در این زمینه وجود دارد و تعدادی از آن‌ها نیز در منابع این کتاب ذکر شده‌اند، رجوع کند.

در بسیاری از این کتاب‌ها فرض بر این است که برنامه‌های طراحی و فرآوری محصول شناخته شده هستند. فرض بر این است که سیستم اطلاعاتی نیز وجود دارد. تمام مدل‌هایی که در این کتاب‌ها ذکر شده‌اند به وجود،

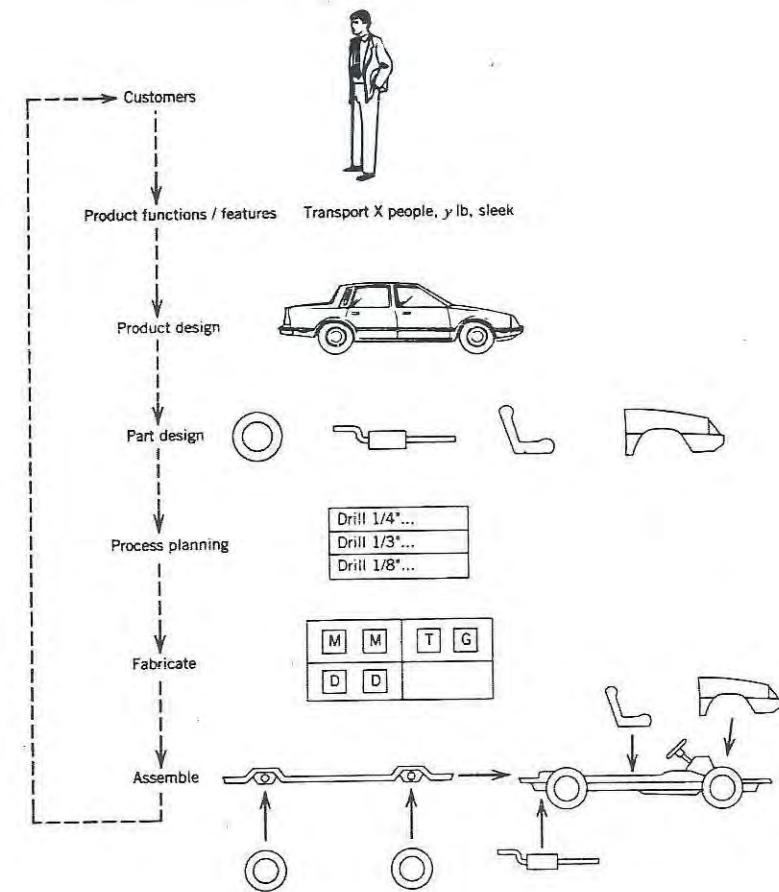


شکل ۶-۴: فعالیت‌های تولید و جریان اطلاعات

۲- انواع سیستم‌های تولیدی

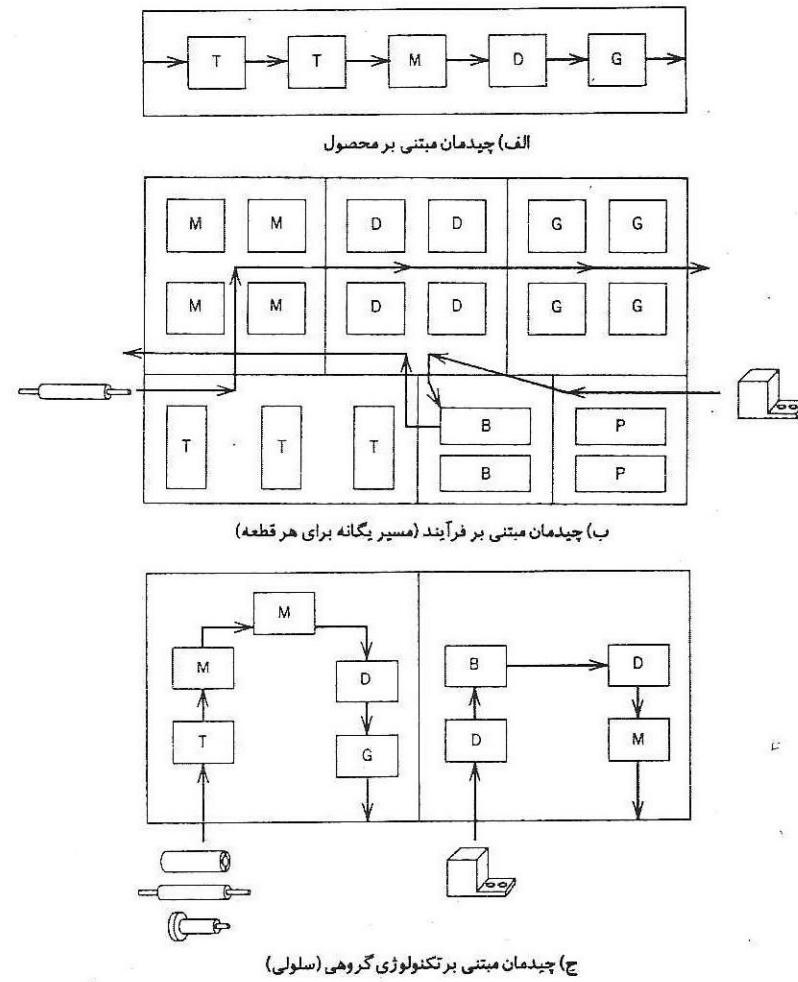
در این بخش هدف ما تشریح انواع مختلف پیکربندی فرآیندها و یا چیدمان تجهیزات است. توجه داشته باشد که سیستم‌های تولیدی ماجهیتاً سلسه مراتبی هستند. در نظرگرفتن چهار سطح در این رابطه می‌تواند برای خوانندگان مناسب باشد. در سطح بالاکل تجهیزات قراردارند. تجهیزات مشتمل از دپارتمان‌ها است. در این کتاب ما با ساماندهی دپارتمان‌ها سروکار خواهیم داشت. یک دپارتمان می‌تواند شامل ۱۰ ماشین سنجک‌زنی در کارگاه بوده و با محوطه‌ای باشد که در آن محصولی ساخته می‌شود و انواع مختلفی از ماشین‌الات در آن قرار دارد. بد انتخاب چگونگی شکل‌دهی دپارتمان‌ها، نوع چیدمان گفته می‌شود.

دپارتمان‌ها شامل مراکز تولیدی هستند. یک مرکز تولیدی نیز شامل یک یا چند ماشین است که نوعاً به صورت یک موجودیت (زمانبندی) می‌شوند. مرکز کاری همچنین شامل کنترل کننده ماشین، حسگرهای آدمواره‌ها (Robot) و یا سایر تجهیزات حمل و نقل است. گزارش زمان و کار صرف شده معمولاً در سطح مرکز کاری انجام تهیه می‌گردد، که برای این منظور هر مرکز کاری یک نفر را در اختیار دارد. پایین ترین سطح در برگیرنده قطعات مختلف تجهیزات نظیر ماشین ایزارها، کنترل کننده‌ها یا آدمواره‌ها می‌باشد.



شکل ۶-۳: نمای طراحی محصول در فرآیند تولید

به منظور ساخت و استفاده بهتر از مدل‌ها، باید به سیستم تولیدی به صورت گروه مرتبطی از فعالیت‌ها، مواد، منابع، محصولات، برنامه‌ها و وقایع نگاه کرد. برنامه‌ها، شامل برنامه‌های فرآیند و برنامه‌های تولیدی هستند. مواد از طریق متابعی نظیر کارگران، سیستم نقل و انتقال و ماشین‌آلات جریان می‌باشد و تبدیل به محصولات می‌شوند. منابع نیز برای اثربخشی روی تبدیلات به فعالیت‌ها تخصیص می‌باشد. غالباً منابع فعالیت‌ها را شروع کرده و خاتمه می‌بخشند. اطلاعات وضعیت منابع و مواد / محصولات نشان دهنده وضعیت سیستم تولیدی در هر لحظه زمانی است.



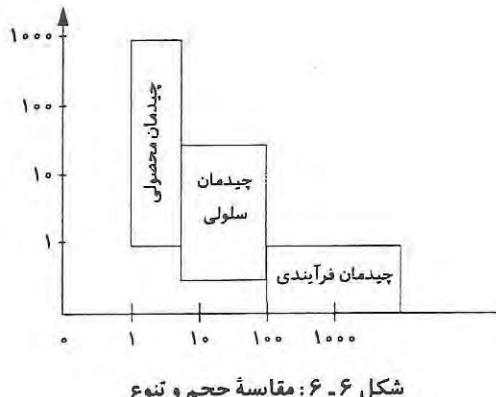
شکل ۶ - ۵: انواع چیدمان تولیدی

برآوردها نشان می‌دهند که بیش از ۷۵ درصد تولید در دسته‌های کمتر از ۵۰ قلم بوقوع می‌پوندد. در چنین محیط‌هایی، ماشین‌الات باید قابلیت انجام عملیات تولیدی متعدد را روی قطعات متعدد داشته باشند. پاسخ قدمی برای این کار استفاده از یک سیستم کارگاهی و یا همان راهکار چیدمان براساس فرآیند بود. دیارتمان‌ها شامل ماشین‌آلاتی با قابلیت‌های مشابهی هستند که عملکردی‌های یکسانی را انجام می‌دهند. از این‌رو، به این راهکار چیدمان عملیاتی نیز اطلاق می‌گردد. برای مثال ممکن است دسته‌های بعدی که به یک مرکز کاری تخصیص می‌یابند به ماشین‌های منگذزی تشکیل شده باشد. ممکن است دسته‌هایی که به یک مرکز کاری تخصیص می‌یابند به

سیستم‌های تولیدی را می‌توان با تعدادی ویژگی طبقه‌بندی نمود. در این کتاب در مورد صنایع تفکیکی و فرآیندی و همینطور صنایع ساخت و مونتاژ به عنوان یک دسته‌بندی بالقوه بحث شده است. مواد خام و اولیه نیز یکی از مشخصه‌های با اهمیت می‌باشد. قطعاً قطعات پلاستیک به فرآیندهایی کاملاً متفاوت از ورقه‌های فلزی نیاز دارند و قطعات آلومینیومی بطریقی متفاوت از قطعات ریخته‌گری شده آهنی فرآوری می‌گردد. از نظر ماتجه اهمیت دارد راهکاری است که برای گروه‌بندی فیزیکی فرآیندها و پیکربندی چیدمان تجهیزات بکار می‌رود. بسیاری از مدل‌هایی را که در این کتاب ارایه شده اند، می‌توان برای مراکز کاری ساخت و مونتاژ و حتی برای بسیاری از انواع مواد خام بکار برد. با این وجود هر مدل برای یک نوع از ساختار (سازمان) تجهیزات طراحی شده است. پیکربندی‌های متداول چیدمان تجهیزات عبارتند از: چیدمان مبتنی بر محصول، فرآیند، تکنولوژی گروهی و مکان ثابت.

تفاوت بین این چهار راهکار در سیستم جریان مواد آن‌ها بسادگی قابل رویت است. شکل ۶ - ۵ جریان مواد را برای چیدمان مبتنی بر محصول، فرآیند و تکنولوژی گروهی نشان می‌دهد. چیدمان مبتنی بر مکان ثابت برای محصولات بزرگ همچون کشتی، ساختمان و هواپیما کاربرد دارد، چرا که اندازه محصول انتقال آن را بین عملیات مختلف تولیدی غیرعملی می‌سازد. تمام قطعات و فرآیندها، نظیر وسائل عملیات جوشکاری در کنار محصول انجام می‌شوند. در چیدمان مبتنی بر محصول، فرآیند و تکنولوژی گروهی، محصول در بین فرآیندها حرکت می‌کند. در این فصل به بررسی سه نوع چیدمان اول خواهیم پرداخت و بیشتر از این در مورد چیدمان مکان ثابت بحث نمی‌کنیم.

چیدمان مبتنی بر محصول برای یک محصول خاص طراحی می‌شود. گاهی به چیدمان مبتنی بر محصول، خطوط جریان نیز اطلاق می‌گردد، چرا که ماشین‌آلات به گونه‌ای قرار می‌گیرند که محصول از اولین ماشین به دو میان و از دو میان به سومی و تا آخر جریان پیدا می‌کند. مواد خام از ابتدای خط وارد فرآیند تولید می‌شود. با تکمیل فرآوری در آخرین دستگاه، مواد خام به محصول تهابی تبدیل شده است. با تغییل پیچیدگی و حجم محصول، خطوط تولید مبتنی بر محصول بدون شک مؤثرترین و کارآترین چیدمان هستند. خطوط مونتاژ و خطوط انتقال مثال‌هایی از چیدمان‌های مبتنی بر محصول می‌باشند. مزیت چیدمان مبتنی بر محصول، زمان عملکرد بسیار پایین و سرمایه کار در جریان پایین است. کار در جریان^(۱) (WIP) دسته‌هایی از مواد است که برای تولید به کف کارگاه ارسال شده‌اند ولی تاکنون تکمیل نشده‌اند. چیدمان مبتنی بر محصول به دلیل جلوگیری از صرف این هزینه‌ها، مؤثرترین راه می‌باشد. شکل ۶-۵ به یک چیدمان مبتنی بر محصول به معنی اختصاص فرآیندهای مورد نیاز تولیدی به محصول است. تقاضای بسیاری از محصولات آنچنان نیست که وجود خود تولید را توجیه نماید. خطوط جریان برای تولید این‌وه مورد نظر هستند. ماشین‌آلات در خطوط جریان اغلب بطور خاص برای محصول طراحی شده‌اند و بسادگی قابل تطبیق با محصولات دیگر نیستند. این کار از لحاظ اقتصادی امکان‌بندیر نیست مگر آن که محصول حجم مناسبی داشته باشد که بتواند هزینه آرایش مجلد تجهیزات در خط جدید و هزینه استهلاک کامل تجهیزات در تولید را جذب نماید.



شکل ۶.۶: مقایسه حجم و تنوع

۳- مبانی سیستم‌های تولید

نظام علوم و مهندسی بر قوانین یا اصول ابتدایی استوار نهاد. بنابراین مطالعه سیستم‌های تولیدی نیز از این قاعده مستثنی نیست. در این بخش چندین قاعده و مثال را عنوان خواهیم کرد و خواننده باید توجه داشته باشد که در بسیاری از مثال‌ها از قواعد ابتدایی علمی نظریه قوانین اول و دوم ترمودینامیک^(۱) استفاده شده است. متأسفانه تمیز دادن مبانی خاص سیستم‌های تولیدی بسیار دشوار است و تلاش زیادی برای استخراج وسیع تر قواعد مورد پذیرش برای طراحی سیستم و عملیات مبتنی بر این قواعد انجام شده است.

محیط طبیعی به آهستگی تغییر می‌کند. پدیده‌های فیزیکی تظیر گرانش به طور ثابت در طول زمان و در فضای ادامه دارند که تشخیص و توصیف مسائل را تسهیل می‌کنند. انسان‌ها برای هزاران سال این سیستم‌های ایستای مطلق را مطالعه کرده‌اند. از سوی دیگر سیستم‌های تولیدی نسبتًا جدید، پیچیده و پویا هستند. پجای مشخصات ذاتی، کارایی این سیستم‌ها با تغییر در داش و نیازهای بشری تغییر کرده است. اتم‌ها، مولکول‌ها و ... به صورت عناصر مشخص تعريف می‌شوند. اگر جرم یک شیء را بدانید، نیروی گرانش آن را نیز خواهد دانست. با این حال در یک سیستم تولیدی، تعدادی مашین‌آلات یکسان می‌توانند نرخ تولید، زمان عملکرد و کیفیت کاملاً نامتجانسی را ارایه نمایند. قواعد ثابت طبیعی، راهنمای تغییر شکل مواد، تحقیق حرارت و فشار هستند. همین مطلب در مورد انتقال مواد از طریق فرآیندهای ابتدایی تولیدی نیز صادق است.

با این حال در زمان طراحی سیستم، انسان برای تبدیل و یکپارچه‌سازی اجزاء، ساختاری مصنوعی ایجاد می‌کند. این ساختار شامل چگونگی قرارگیری و نگهداری مашین‌آلات، چگونگی دسته‌بندی و ارسال قطعات و چگونگی اندازه‌گیری کارایی می‌گردد. حتی اصطلاحات و چارچوبه کاری که از آن طریق به سیستم نگاه می‌کیم نیز

۱. قانون اول ترمودینامیک عنوان می‌کند که انرژی در یک سیستم ذخیره شده است و قانون دوم حاکمی از آن است که آنتروپویی هر سیستم به طور طبیعی در طول زمان افزایش پیدا می‌کند.

ابزارها و تنظیمات بسیار متفاوت نیاز داشته باشند. در این حالت نیاز به اپراتورهای بسیار ماهر نیز می‌باشد. برخلاف چیدمان‌های مبتنی بر محصول، چیدمان مبتنی بر فرآیند با زمان توان عملیات بالا و WIP زیاد مشخص می‌گردد. پراکنده‌گی جغرافیایی عملیات مورد نیاز هر محصول متوجه به پیچیده شدن تنظیم اولویت‌های مربوطه می‌شود که ناشی از انجام کارهای غلط توسط مراکز کاری است. یافتن مرزی که مزایای موجود در چیدمان فرآیندی را ارتقاء بخشید، دشوار است. وقتی که چیدمان محصولی قابل توجه نباشد، چیدمان فرآیندی اجتناب ناپذیر می‌گردد. این باشت تجربه فرآیند به صورت کارگاهی، یکی از مزایای این نوع چیدمان است. تکنولوژی گروهی و یا تولید سلولی را می‌توان برای تبدیل سایر روش‌های چیدمان فرآیندی در محیطی مجازی برای چیدمان محصولی بکار برد. قطعات مشابه با هم و به مقدار مناسبی گروه‌بندی می‌شوند تا ماشین‌آلات مربوط به خود را توجیه نمایند. آنگاه چیدمان یک سلول فقط برای تولید همین گروه از قطعات شکل می‌گیرد. ذکر این نکته با اهمیت است که تولید سلولی بعنوان یک نوآوری تکنولوژیکی بطور بالقوه اهمیتی برابر با کنترل عددی و روباتیک دارد. ممکن است آرایش ماشین‌آلات در یک سلول یا یک الگوی جریان کامل امکان‌پذیر باشد و یا نباشد؛ یعنی اینکه ممکن است تمام قطعات از توالي یکسانی در استفاده از ماشین‌آلات پروری نکنند. با این وجود هم استفاده از ماشین‌آلات در محیط فیزیکی اختصاص داده شده برای تولید مجموعه قطعات خاص باعث تسهیل زمانبندی و کنترل شده و به طور اساسی مجهز به کاهش زمان راه‌اندازی، جابجایی مواد، WIP و افزایش توان عملیاتی می‌گردد. نقاط ضعف و قوت هر یک از ا نوع چیدمان مبتنی بر محصول، فرآیند و سلولی در جدول ۶ - ۱ نشان داده شده است. هر سیستم را می‌توان به عنوان بهترین گزینه برای محیط مناسب آن در نظر گرفت. محیط را می‌توان با در نظر گرفتن تنوع و حجم محصول مشخص نمود. چیدمان مناسب برای ترکیبی از حجم تقاضای محصول و تنوع محصولات یا قطعات تولید شده، در شکل ۶ - ۶ نشان داده شده است. به عنوان یک قاعده کلی و عملی، امکان انتخاب بین سلول‌های موجود در چیدمان فرآیند و سلول‌های خطوط جریان (یک خط محصول، ضرورتاً سلول یک خط جریان است) و سلول‌های ساختار نیافرته (به شکل جریان مواد) است. در آخر شاطرنشان می‌شود که این سلول‌ها تنها به هنر تحلیل گر و نه به محدودیت‌های ذاتی روش محدود می‌شوند.

جدول ۶ - ۱: ویژگی‌های عمومی انواع چیدمان

ویژگی	محصول	فرآیند	گروهی	مکان ثابت
زمان توان عملیات	پایین	بالا	پایین	متوسط
کار در جریان	پایین	بالا	پایین	متوسط
سطح مهارت	انتخابی	بالا	بالای متسط	مرکب
انعطاف‌پذیری تولید	پایین	بالا	بالای متسط	بالا
انعطاف‌پذیری تقاضا	متوسط	بالا	بالا	متوسط
کارایی ماشین	بالا	بالا	بالای متسط	بالا
کارایی کارگر	بالا	بالا	بالا	متوسط
هزینه تولید هر واحد	پایین	بالا	بالا	پایین

مورد استفاده قرار گرفته باشد)، افزایش نرخ تولید کاهش یافته و افزایش بیشتر WIP نیز افزایش زمان عملکرد را نتیجه خواهد داد. به همین ترتیب اگر زمان عملکرد زیاد بنظر می‌رسد، نمی‌توان آن را با اضافه کردن کارهای بیشتر جبران نمود. ارسال زود هنگام کارها، ممکن است برای زمان عملکرد را افزایش دهد. اگر سطح WIP باید تحت کنترل درآیند، باید در پایین ترین سطحی که تقاضا را برآورده می‌کنند، باقی بمانند. مدیرانی که ادراک آنها به آنان جز این می‌گوید به خطای می‌روند. به همین ترتیب متوازن کردن حجم کار و جریان کار همانند یک خط متوازن می‌تواند نرخ تولید را برای یک سطح فرضی WIP افزایش دهد، لذا کاهش زمان عملکرد و WIP مشخصه‌های یکسانی در هر چیزمان دارند.

قانون دوم : «ماده ثابت است»

سیستم‌های تولیدی برای فرآوری مواد از حالت خام به وضعیت محصول ساخته شده طراحی شده‌اند. فرآوری در یک استگاه کاری مانند برش فلزات اغلب بخشی از مواد را ازین می‌برد. برای روشن شدن وضعیت کار این برآدها و مر ابزار قابل مصرف، باید پشتیبانی‌هایی صورت گیرد. تولیدات مناسب به استگاه کاری بعدی انتقال می‌یابند، در حالی که قطعات تولیدی رد شده، جزء ضایعات محسوب می‌شوند و یا باید دوباره روی آنها کاری صورت گیرد. مدل‌های تولیدی باید معادلات توازن را برآورده کنند و نشان دهنده که تفاوت بین ورود و خروج مواد از استگاه کاری برای جمع کل موجودی است. یک سیستم با ثبات در بلند مدت نمی‌تواند اینها را داشته باشد. ورودی باید برای خروجی باشد.

این قانون نه تنها در استگاه‌های کاری بلکه برای کل کارخانه و فضای مرتبط با مواد و ابزار نیز صادق است. بسط این موضوع در مورد اینکه مقدار انرژی ثابت است می‌تواند جالب باشد. این کار برای تعیین شرایط محیطی در استگاه کاری بسیار اهمیت دارد، چراکه انسان‌ها تنها مقداری انرژی برای مصرف دارند و باید فعالیت‌های را که به آنها تخصیص داده می‌شوند، عاقلانه انتخاب کرد.

قانون سوم : «هرچه حوزه کاری سیستم بزرگتر باشد، قابلیت اعتماد آن کمتر است» طراحی، هماهنگ سازی و حفظ و ابقاء سیستم‌های بزرگ ذاتاً دشوار است. اصل حاصل از تکریت قابلیت اطمینان این است که اگر (بطور آماری) N قطعه مستقل (مجزا) در سیستم داشته باشیم که هر یک قابلیت اطمینانی برای $\frac{1}{N}$ به ازای N ، $1 = \frac{1}{N}$ دارند، آنگاه احتمال عمل کردن کل سیستم برای $\frac{1}{N} = \prod_{i=1}^N \frac{1}{N_i}$ می‌باشد. این احتمال را قابلیت دسترسی به سیستم و یا A می‌نامیم. اگر $1 \leq N \leq A$ باشد، اضافه کردن قطعات فقط می‌تواند قابلیت دسترسی سیستم را کاهش دهد. البته اجزای موازی را می‌توان به سیستم اضافه کرد و به منظور افزایش هر یک از $\frac{1}{N}$ ‌ها تعدیلاتی در آن انجام داد، ولی کار فقط برای کاهش نرخ از دست دادن دسترسی با بزرگ شدن سیستم بکار می‌رود و نمی‌تواند جهت آن را تغییر دهد.

فرض کنید که حوزه کاربری سیستم را دو برابر بزرگتر کنیم. به عبارت دیگر تعداد اجزایی را که باید برای عملکرد سیستم، حالت عملیاتی دارند، دو برابر نماییم. در این حالت تعداد اجراء $2N = N$ خواهد شد. باز هم فرض کنید

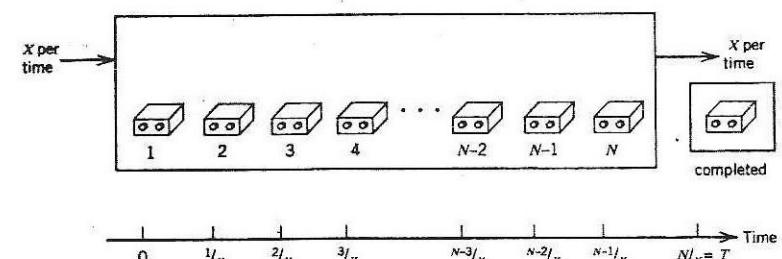
مصنوعی و دستخوش تغییر در طول زمان می‌باشد. حرارت را می‌توان بطور مطلق اندازه‌گیری نمود که تعريفی استاندارد برای آن وجود دارد. ولی چگونه می‌توان کارایی ماشین را در نظر گرفت؟ آیا چنین اندازه‌گیری از کارایی ماشین آلات شامل زمانی که اپراتور صرف جستجو برای ابزارآلات مناسب، تولید محصول معموب و یا باراندازی ماشین در سرعتی پایین تر از سرعت بقیه می‌نماید نیز می‌شود؟ چگونه می‌توانیم در عمل بدانیم که چه تعريفی بکار برده شده است؟ با وجود فقدان تجربه و چارچوبه کاری استاندارد، مهم است که مبانی سیستم‌های تولیدی را درک نموده و شروع به بیان درک فعلی خود نماییم. خوشبختانه آینده آگاهی و تعاریف استاندارد بیشتری به همراه خواهد داشت و لذا امکان وجود چارچوبه کاری ثابتی برای توصیف و ارزیابی سیستم را بوجود خواهد آورد.

قانون اول : (قانون Little) "نرخ تولید × زمان عملکرد = WIP"

شاید قانون لیتل (Little [1961]) به عنوان اصل شناخته شده سیستم‌های تولیدی است که به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح WIP و زمان عملکرد مرتبط با آن، مقادیر میانگین هستند. این قانون در تمام سطوح کاربرد دارد: قطعات مجرای تجهیزات، مراکز کاری، دپارتمانها و سیستم‌ها. تنها لازم است که سیستم را در حالت ثبات خود در نظر بگیریم. WIP با زمان نسبت مستقیم دارد که ثابت این نسبت، نرخ تولید است. از آنجاکه ما حالت ثبات را در نظر می‌گیریم، WIP با زمان نیز نرخ ورود محصول به سیستم تولیدی در نظر گرفته می‌شود. البته اثبات این امر چندان دشوار نیست. اما بجای اثبات این قانون از شکل ۶-۷ استفاده می‌کنیم. سیستم را بعنوان یک فرایند مجرما در نظر بگیرید. فرض کنید که نرخ تولید در حالت ثبات برابر با X باشد. N کار در سیستم وجود دارد. فرض کنید که سیستم شامل N فضای خالی است که هر یک توسط یک کار اشغال شده است. در هر $X/1$ واحد زمانی، کار جدیدی وارد سیستم شده و هر کار در سیستم، یک محل به جلو می‌رود. به نظر شما چقدر طول می‌کشد که یک کار از سیستم عبور کند؟ با صرف $X/1$ واحد زمانی در هر یک از نقاط N گانه سیستم، مدت زمان عبور کار مطابق با قانون Little برابر است با :

$$N = XT \quad \text{و یا} \quad T = N(1/X)$$

قانون Little نتایج بسیار مهم دارد. معمولاً افزایش سطح WIP با ارسال مواد بیشتر به کف کارگاه، هم نرخ تولید و هم زمان عملکرد را افزایش خواهد داد. با تزدیک شدن نرخ تولید به ظرفیت (که حداقل یک ماشین کامل



شکل ۶-۷: نمایش قانون Little

طبیعت حالتی تصادفی داشته و دارای توزیع احتمالی است، بهترین که باقی می‌ماند نسبت به دیگر افراد عادی احساس برتری می‌کند. البته توجه داشته باشد که میانگین جدید بهتر از میانگین قبلی است.

معمول این است که برای رسیدن به بیرون مستمر باید کار کرد. قابلیت ما در فن آوری پیشرفتنه تنها داشتن مهندسینی است که با قانون قابلیت اطمینان و خرابی طبیعی محصول سو و کار دارند.

قانون هفتم: «اجزای سیستم بطور تصادفی رفتار می‌کنند»

چه جهان بطرور ذاتی احتمالی بوده و با برای درک کردن آن در سطح فعلی توسعه بشری بسیار پیچیده باشد، تأثیر آن این است که وقایع را نمی‌توان با قطعیت تخمین زد. ما می‌توانیم شرحی در مورد طول عمر ابزار تیلور^(۱) (بنویسیم که طول عمر ابزار را به سرعت برش ارتباط دهد، ولی هیچ کس باور نخواهد کرد که هر ابزار دقیقاً همان طول عمر را داشته باشد. ابزارهای برشی از نظر سختی متفاوتند، قطعات کاری با هم فرق می‌کنند، شرایط سیال برش تفاوت می‌کند و سرعت تنظیم ماشین‌آلات با هم متفاوتند. ما اغلب در مورد مدلسازی سیستم‌ها چنان تصمیم‌گیری می‌کنیم که گویی قطعی هستند، ولی آنچه ما واقعاً فرض می‌کنیم این است که تغییرات احتمالی بطرور باز راه حل تاثیرگذار نخواهد بود. متعاقباً، ما از پارامترهای نظری هزینه بر ساعت یک ماشین برای انجام یک عملیات استفاده می‌کنیم. در حالت واقعی، در بسیاری از موارد از بهترین برآوردهای خود از ارزش میانگین پارامتر بهره می‌گیریم. در مورد خدمت دهنگان یکسان و موایی بحث‌های زیادی شده است، همه می‌دانیم که در زمان انتخاب یک خط در یک فروشگاه مجبور نیستیم کارایی تسبی صندوقدارها در مقایسه با طول صاف را در نظر بگیریم. آیا تاکنون در اثر سرعت خط ناماید و منفعل شده‌اید؟ ماشین‌آلات نیز یکسان نیستند. PC‌های موجود در یک آزمایشگاه نیازمندی‌های تک‌هداری یکسانی ندارند. در یک محیط ماشینی با ماشین‌آلات فرضی یکسان، اپراتورها بزودی در می‌یابند که کدام ماشین‌ها بهترین کارایی را در کارهای دشوار دارند. به احتمال قوی انتظارات، این رخدادها را در طول زمان تشدید خواهند کرد.

قانون هشتم: «محدودیت‌های نسبیت (بشری)»

سیمون ([1969] Simon) محدودیت‌های قابلیت‌های ادراکی بشر را بوضوح تشریح نموده است. ما عادت به تفکر خطی داریم که تنها در گیر یک فعالیت در زمان است. حافظه کوتاه مدت ما محدود به هفت جزء است و دید مفهومی ما محدود به تجاری است که در دینای سه بعدی شکل گرفته است. همانطور که قبل از ذکر شد، طراحی مهندسی درگیر ساختارهای مصنوعی است که با زمان در حال تغییر است و با مشخصه‌های علوم طبیعی در تضاد می‌باشد. وقتی این محدودیت‌ها با واقعیت ترکیب شوند، پیچیدگی با سرعت پیشتری از نزد خطی رشد کرده و منجر به این می‌شود که بجای راه حل بهینه، مجبوریم به رضایت‌بخش بودن آن بسته کنیم. در حال حاضر حداقل لازم است پیرسیم، «قدر خوب بودن مناسب است؟» و پاسخ آن را پیدا کنیم.

که دسترسی به هر یک از اجزاء یکسان و $z = z'$ باشد. دو سیستم در صورتی که $A_N' = A_N$ با $N = N'$ باشند، قابلیت دسترسی یکسانی خواهد داشت. این حالت وقتی حاصل می‌شود که $\frac{1}{2} = \frac{1}{2}$. اگر $z = z'$ باشد، آنگاه $0,95 \approx 0,95$ خواهد بود. در این حالت، دو برابر کردن اندازه سیستم مستلزم کاهش زمان خوابی هر یک از اجزاء به میزان نصف مقدار قبلی است! پیش از آن که بحث در مورد قانون سوم (مبتنی بر اندازه) را ادامه دهیم، بهتر است که قانون مکمل (مبتنی بر زمان) آن را معرفی نماییم.

قانون چهارم: «خرابی اشیاء»

یک تعمیرکار می‌تواند به شما بگوید که ماشین‌آلات را نمی‌توان با ثبات نگاه داشت. یاتا قانون، قطعات تعویضی یکسانی نیستند و خرابی‌هایی نیز پدید می‌آیند. در ابتدا باور بر این بود که فن آوری‌های انعطاف‌پذیر که در حال حاضر در حان توسعه بوده و در «کارخانجات آینده» بکار گرفته می‌شوند طول عمرهای بسیار بالاتری را تجربه خواهند کرد. در واقع این شبیهات اغلب برای توجیه سیستم‌های جدید بکار می‌روند. مردیت (Meredith [1987]) بیان می‌کند که سیستم‌های انعطاف‌پذیر جدید با همان سرعت ماشین‌آلات قدیمی مستهلك می‌شوند. انعطاف‌پذیری، قابلیت تطابق با محیط متغیر را می‌دهد ولی طول عمر تغییر اندکی دارد. فیزیکدانان می‌دانند که اشیاء از بین می‌روند. با کثار هم گذاشتن این مطلب و این که تمام اشیاء متأثر از نیروهای خارجی محیط خود اعم از تغییر دما و گرد و غبار تا اثرات بسیار زیاد دیگر نظری درگیر شدن ابزار یا قطعه و یا یک نسخه جدید از سیستم عامل می‌باشدند، می‌توان تشخیص داد که اشیاء نرم افزاری و سخت‌افزاری در طول زمان دچار خرابی می‌شوند. ما هیچگاه نمی‌توانیم پایا باقی بمانیم.

قانون پنجم: «رشد نمایی پیچیدگی»

اگر سیستمی M جزء داشته باشد که هر یک را بتوان در نظر گرفت، آنگاه سیستم N وضعیت ممکن خواهد داشت. هر یک از این وضعیت‌ها را باید در زمان طراحی و عملیاتی کردن سیستم در نظر گرفت. سه جزء که هر یک دارای در وضعیت است متجرب به هشت وضعیت ممکن می‌گردند، ولی شش جزء با چهار وضعیت ۴۰۹۶ وضعیت ممکن برای سیستم بوجود می‌آورند. دو برابر کردن M و N منجر به افزایشی معادل 2^M برابر تعداد وضعیت‌های ممکن می‌گردد با در اختیار داشتن M جزء، 2^M حلقه ارتباطی ممکن بین اجزاء وجود خواهد داشت. بنابراین تعداد ارتباطات بین مولقه‌ها در یک شبکه سریعتر از یک سیستم خطی افزایش خواهد داشت.

قانون ششم: «پیشرفت‌های فن آوری»

به نظر می‌رسد که ما با نزد های داشمای در حال افزایش، پیشرفت می‌کنیم. تصمیم‌گیری در مورد این که آیا فرایند زوال طبیعی، گونه‌ای از برکات است، را به فلسفه‌ان و اگذار می‌کنیم که اعتقاد دارند بهترین‌ها اجازه بقا دارند. از آنجا که

CIM مدیریت گردند، در غیر این صورت سیستم در طول زمان تخریب می‌گردد. منظور ما دلسرد کردن تلاش‌های CIM نیست، بلکه بر عکس، اطلاعات بهبود یافته می‌توانند منجر به تصمیم‌گیری‌های بسیار بهتری گردد. چرا که کامپیوترها نیز قابل اطمینان‌تر و کارآتر از انسان‌ها هستند. شاید در کودک این بازی را کرده باشد که چند نفر دور دایره‌ای جمع می‌شوند و هر یک کلمه‌ای را از فرد کناری خود می‌شند و به دیگری انتقال می‌دهد. وقتی که پیغام باز می‌گردد تحریف شده است به گونه‌ای که پیغام اصلی از بین رفته است. حافظه کامپیوتر این واژگان را به همان صورت که وارد می‌شوند دریافت می‌کند در حالی که قالب دقیق آنها را مدت‌ها پس از آن که واژه از حافظه نویسته باشند است. نکته‌ای که می‌خواهیم بیان کنیم این است که راهکارهای CIM برخلاف قواعد طبیعت عمل می‌کنند. استراتژی جایگزین که سعی در ساده‌سازی سیستم‌ها و رویه‌ها دارد با طبیعت سازگار است. اگر یک سیستم یکپارچه انتخاب گردد، کلید اصلی، درک روابط قلعی و تراکشن‌های بین اجزای سیستم است. یکی از موارد استفاده با اهمیت این بحث تشخیص این است که «اگر توانیم یک ماشین ساده را به کار بیاندازیم یک ماشین بیچده، را هم نمی‌توانیم به کار بیاندازیم» پاسخ ابتدایی به مشکل بنای خرد یک ماشین بهتر باشد. تا زمانی که تکنولوژی فعلی درک شود، نمی‌توان بطور مناسب به مسئله کفاشت آن پاسخ داد.

۴- انواع مدل‌های تولید و کاربرد آن‌ها

پیش از آنکه علم و هنر مدلسازی را تشریح نماییم باید به تحلیل گر هشداری بدھیم. یکی از مقاییم با اهمیتی که باید در زمان تحلیل هر سیستمی به خاطر داشت تمايز بین «کارایی» و «موثر بودن» است. کارایی به انجام صحیح فعالیت اطلاق می‌گردد در حالی که موثر بودن به انجام فعالیت صحیح اطلاق می‌شود. اگرچه هر دوی این‌ها مهم هستند، ولی همیشه این کارگر موثر است که پاداش می‌گیرد. کارگران کارایی که موثر نیستند ممکن است روزی خود را در صفت بیکاران بیابند و در حالی که دست‌هایشان را نکان می‌دهند و دریاوه مدیران نالباقی که مجبور به کار با آنان بودند حرف برتنند. می‌توان این تفاوت را با مسئله زمانبندی یک ماشین نشان داد. یک مهندس کارا، کارها را طوری زمانبندی می‌کند که حداقل زمان کارکرد و حداقل زمان انتظار در کنار ماشین تضمین گردد. متساقانه دستگاه یکی از چندین دستگاه موجود بوده و قطعاتی که تولید می‌شوند با قطعات سیار دیگری در موتناز نهایی بکار گرفته می‌شوند. از آن گذشته، ظرفیت نیز ممکن است از تقاضا بیشتر باشد. کارگر کارا اولویت‌های واقعی مربوط به دسته‌های قطعات متعدد را تخمین می‌زند و تعیین می‌کند که اولویت واقعی مربوط به دسته‌های متعددی که کنار ماشین در انتظار هستند، کدامند و قطعات را مطابق نیاز زمانبندی می‌کند. حتی ممکن است ماشین بیکار بماند در حالی که دسته‌هایی از قطعات در صورتی که به هیچکدام در آینده نیاز نباشد، متوقف باشند. در این مثال، برنامه‌ریزی کارا ما را با انبوهی از موجودی غیر ضروری مواجه می‌کند که نضا را اشغال می‌کنند، کاغذ بازی را افزایش داده و کلأً فرآیند تولید را محدودش می‌کنند و از طرف دیگر در همین زمان ایستگاه‌های کاری بعدی در انتظار قطعات هستند. این مثال بیان می‌کند که در تلاش برای کارا بودن باید در مورد چگونگی تعیین اهداف سیار دقیق بود. سوزاکی (Suzuki) [1987] هفت نوع اتلاف را مشخص می‌کند:

۱- اتلاف بر اثر تولید مازاد

۲- اتلاف زمان انتظار

قانون نهم: «ساده‌سازی و حذف، صرفه‌جویی در زمان، پول و انرژی»^(۱) بیش از این نمی‌توان در مورد مزایای حاصل از تلفیق و یا ساده‌سازی فعالیت‌های ضروری و حذف فعالیت‌های غیرضروری تاکید نمود. هر فعالیتی زمان، پول و انرژی صرف می‌کند. اگر یک انتقال دهنده مواد بتواند دو محموله را بین دو نقطه نزدیک به هم در یک حرکت جابجا کند، این کار زمان تحويل محصول و صرف انرژی را کاهش داده و باعث افزایش بهره‌وری جابجا کننده مواد می‌گردد. ساده‌سازی، تلفیق و حذف، مبانی اصولی مدیریت علمی در تختین روزهای آن بودند و امروزه هم به قوت خود باقی هستند. بسیاری از روندهای موثر امروزی در تولید نیز به این توصیه می‌رسند. سلول‌های تولیدی به این دلیل ساخته می‌شوند که ساخت و به عمل درآوردن آن‌ها ساده‌تر از سیستم‌های بزرگ بوده و امکان تنظیم شدن همراه با خانواده محصولات و یا کلأً حذف شدن را می‌دهد. کنترل تولید کابان (Kanban) ساده‌تر از برنامه‌ریزی نیازهای اطلاعاتی ماده توسط سیستم‌های بزرگ است که گزارش‌های داده‌ای بغرنج در مورد وضعیت کارگاه‌ها و محصول تولید می‌کنند. هدف از طراحی برای قابلیت تولید، ساده‌سازی تولید محصولات است.

در تجارت و مهندسی باره عمومی این است که یکپارچه سازی و اتوماسیون (خودکارسازی) سیستم‌ها راه حل فاقی آمدن بر مشکلات رقابتی هستند. یکی از جنبه‌های اصلی این قوانین که مشکل زاست این است که سیستم‌های نرم افزاری بزرگ، شالوده سیستم‌های تولیدی یکپارچه غیرقابل اطمینان هستند. در واقع مشخص شده است که نرم افزار اغلب در طول پایاده‌سازی سیستم، عمدۀ ترین مشکل فنی است ([1987] Meredith). ماهیت نامحسوس نرم افزار، برقراری تضمین کیفیت را بسیار دشوار می‌کند. در اتوماسیون، نرم افزار با عملیات تولیدی یکپارچه می‌شود. به عنوان مثال تعیین سرعت ماشین و نرخ تغذیه آن و یا حرکت و هدایت تضمینات نیاز به تعیین نرم افزار دارد. بدون مستندات کامل و به روز، تخمین تأثیرات این سیستم‌ها ناممکن خواهد بود. ممکن است روابط درونی نرم افزار بطور ضمنی در برنامه‌ها نهفته باشد. علاوه بر پیچیدگی‌های نرم افزارهای بزرگ باید بخاطر داشت که افراد و سازمان‌های مختلف قابلیت‌ها و درخواست‌های مختلفی در مورد اطلاعات دارند. پیچیدگی سیستم، الزامات یکپارچه سازی و هزینه توسعه مستلزم استانداردسازی شدید در سیستم‌های بزرگ است. با این حال، ممکن است استفاده از قالب استاندارد در ارضی نیازهای کاربران معین با شکست مواجه شود که طبیعتاً موثر بودن سیستم نرم افزاری را محدود می‌کند.

راهکار نوین طراحی یک سیستم تولیدی (اطلاعاتی) اصطلاحاً سیستم‌های تولیدی یکپارچه مبتنی بر کامپیوتر (CIMS) نام دارد و نشان دهنده پیروی از قوانین ارایه شده است. هدف CIMS به حداقل رساندن هماهنگی و آگاهی میان اجزاء سیستم می‌باشد. به این طریق، حرکت بین اجزای سیستم به حداقل می‌رسد. بنابراین باور بر این است که ارتباطات بین نقض می‌توانند منجر به حصول سیستم با کارایی بینه‌گردد. با این وجود با افزایش پیچیدگی‌ها، عمل گردآوری و انتقال داده‌ها نیز منابع زمان را صرف خواهند نمود. گذر زمان، به روز بودن داده‌ها را کاهش می‌دهد. به روز بودن داده‌ها، پیشنباز وجود ارتباطات کامل است. با افزایش بیت‌های اطلاعات، قابلیت خطای نیز افزایش پیدا می‌کند. باید یک «انرژی» خارجی بطور مداوم روی سیستم اعمال گردد تا داده‌های جدید گردآوری و

طراحی کارخانه باشند. در طراحی چیدمان تجهیزات اغلب از مدل‌های نمادین دو بعدی استفاده می‌شوند. نماد منابعی نظیر ماشین‌آلات، کارگران و محدوده خدمات در چارچوبه مقیاس بندی شده‌ای از تجهیزات به حرکت در می‌آیند تا زمانی که چیدمان رضایت پذخنی حاصل گردد.

استفاده از مدل‌های سه بعدی در حال متداول شدن است. برای مثال امروزه بسیاری از سیستم‌های CAD از مدل‌های سه بعدی استفاده می‌کنند. آزمایشگاه‌های دپارتمان‌های مهندسی تولید و صنایع از ماشین‌آلات کوچک رومیزی و یا پخش‌های بهم پیوسته برای ساخت مدل‌های سه بعد فیزیکی از عملکرد واقعی سیستم‌های تولیدی استفاده می‌کنند.

۲.۴ - مدل‌های ریاضی

این بخش از کتاب شامل مدل‌های ریاضی است. این مدل‌ها روی یک کامپیوتر یا تهیه روی یک صفحه کاغذ قرار دارند. این مدل‌ها گروهی از معادلات ریاضی و یا روابط منطقی هستند که به منظور شرح سیستم واقعی توسعه می‌باشد. پارامترهای مدل‌ها، نظیر زمان‌های تولید استاندارد، زمان بین دو خرابی ماشین و اندازه محموله نیز از داده‌های حسابداری و ... بدست می‌آیند.

مدل‌های ریاضی از نظر کاربرد متغیرهای تصمیم‌گیری با مدل‌های فیزیکی متفاوتند. برای مدل‌های ریاضی باید استفاده نظری وجود داشته باشد که بتوان متغیرهای را کنترل کرد. این متغیرها، متغیرهای تصمیم‌گیری مدل هستند. ساخت مدل‌های مفید و مناسب مستلزم انتخاب متغیرهای تصمیم‌گیری مناسب است. این کار رابطه تنگاتنگی با تعریف و تلقین مسئله دارد به عنوان یک راهنمای عمومی در تعیین متغیرهای تصمیم‌گیری، مدل‌ساز باید از خود پرسد: "سعی می‌کنم به چه سوالی پاسخ دهم؟" ممکن است متغیرهای تصمیم‌گیری تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز و یا گروهی از فعالیتها باشد که به یک ماشین تخصیص داده شده‌اند.

مدل‌های ریاضی می‌توانند ماهیّت‌تر صیغی و یا نمایشی باشند. مدل‌های شبیه‌سازی در طیف مدل‌های تشریحی قرار دارند. با در دست داشتن گروهی از مقادیر برای متغیرهای تصمیم‌گیری می‌توان مدل را فعال نمود و در نتیجه برآورده از کارایی سیستم بدست آورد. مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی نظیر برنامه‌ریزی خطی نمایشی هستند. مدل را حل کنید و خروجی مدل را به دست آورید که پاسخی به چگونگی تنظیم متغیرهای تصمیم‌گیری است.

در این مدل‌ها یک تابع هدف نظیر هزینه وجود دارد و با توجه به محدودیت‌های مشخص شده مقادیر مرتبط باشند.

برای متغیرهای تصمیم‌گیری که تابع هدف را بهینه می‌کنند، بدست می‌آیند. مدل‌های توصیفی اغلب راهی برای ایجاد مدل‌های بسیار واقع گرایانه فراهم می‌آورند و اگر چه احتمالاً یک مدل‌ساز با هوش بتواند یک مدل از پیش تعیین شده در همان سطح جزئیات تعریف کند، این مدل‌ها از لحاظ اندازه رشد داشته و هرگاه که با جزئیات تلقین شوند به سرعت حالتی غیر خطی به خود می‌گیرند که بدین ترتیب حل بهینه آن‌ها غیر واقعی می‌شود.

مدل‌های از پیش تعیین شده لزوماً راه حل‌های بهینه‌ای ارایه نمی‌کنند. اندازه مسئله و فقدان روش‌های حل کارا اغلب به معنی آن است که باید از راهکار مکائش‌های^(۱) استفاده نمود. راهکارهای مکائش‌های سمعی در استفاده از

۳ - اتلاف بر اثر حمل و نقل

۴ - اتلاف بر اثر فرآوری

۵ - اتلاف موجودی

۶ - اتلاف بر اثر حرکت

۷ - اتلاف بر اثر خرابی محصول

بطور کلی، اگر عملیاتی به محصول قابل ارایه به بازار مستقیماً ارزشی اضافه نکند، آن عملکرد اتلاف‌آور می‌باشد. نباید هیچگاه هدف چنان نزدیک بینانه باشد که هدف غایی یعنی رسیدن به رضایت مشتری به همراه سودآوری است را تحت الشاعع قرار دهد.

یک مدل‌سازی کارا شرحی ریاضی از سیستم بوجود می‌آورد و راه حل بهینه‌ای نیز برای این مدل ارایه می‌کند. مدل‌ساز کارا، یک مدل ریاضی برای سیستم بوجود آورده و از آن برای درک عوامل مهم سیستم واقعی استفاده می‌کند. راه حل بسیار مناسب برای سیستم واقعی، مدل را تعديل می‌کندا بطور خلاصه، کارگر موثر با یافتن یک راه حل خیلی خوب برای مسائل مهم سروکار دارد نه یافتن راه حل‌های بهینه برای زیر سیستم‌ها بدن در نظر گرفتن روابط بین آن‌ها. مدل‌ساز کارا مدلی برای سیستم‌ها ارایه می‌کند. بخاطر داشته باشد که اگر حداکثر با ۸۰ درصد حالت بهینه شروع بکار کنیم، رسیدن به ۹۰ درصد سیستم با ۵۰ درصد کارایی تاثیر بسیار بزرگتری از رسیدن ۱۰ درصد سیستم به ۱۰۰ درصد کارایی خواهد داشت. به همین طبق کسر ۵۰ درصد هزینه در یک حزمه ۵ درصدی از کل هزینه تنها نیمی از صرفه‌جویی ۱۰ درصدی از بودجه را تشکیل می‌دهد. در گذشته، سیستم‌های تولید انبوه تا حد زیادی با موضوع کارایی درگیر بودند. چرخه حیات بلند مدت محصول و تجهیزات تولید انبوه جاذب سرمایه، نیاز داشتند که از قبل "چیز درست" در حیات سیستم تعریف گردد. از سوی دیگر، موثر بودن کلید اصلی عملیات تولید داخلی در ابعاد کم است. در این محيط باید مدام گوش به زنگ مشتری بود و آنچه را که بازار خواهان آن است، تولید نمود. نکته در این است که موثر بودن باید فرض اصلی باشد. موثر بودن به انعطاف‌پذیری نیاز دارد تا بتواند با جهان پویا مطابقت داشته باشد. انعطاف‌پذیری موضوع اصلی فضول آنی خواهد بود.

این بخش از کتاب معنای توسعه و استفاده از مدل‌های طراحی و کنترل سیستم‌های تولیدی را پوشش می‌دهد. حال که مشخص نمودیم چه چیزی یک سیستم تولیدی را تشکیل می‌دهد، باید تعریف کنیم که منظور از «مدل» چیست؟ یک مدل، نمایش تجربیدی از سیستم واقعی است. مدل‌ها می‌توانند انتزاع فیزیکی یا ریاضی از واقعیت باشند.

۴ - مدل‌های فیزیکی

مدل‌های فیزیکی برای سال‌ها مورد استفاده وسیع بوده‌اند. همه مدل‌هایی را که توسط طراحان برای نمایش ساخته‌اند در حال احداث بوجود آمده‌اند، مشاهده کرده‌ایم. اینگونه مدل‌ها واسطی برای بررسی مناسب بودن طرح‌های بالقوه و تضمینی برای ساخت کامل را فراهم می‌آورند. یک تصویر، ارزش هزاران کلمه را دارد و می‌توان به سیاری از ابهامات و ارتباطات کلامی با استفاده از مدل‌های فیزیکی ساده‌غایه نمود.

مدل‌های فیزیکی می‌توانند دو یا سه بعدی باشند. مدل‌های دو بعدی شامل شرح مشخصات قطعات و نشانه

درآورده، راه حل بهینه اغلب مشخصه‌های معینی را داراست که می‌توان آن‌ها را از راههای مکاشفه‌ای نیز کسب نمود. یکی از مثال‌های کلاسیک در این زمینه مسئله تعیین اندازه محموله پویا است. می‌دانیم که انتقال موجودی به یک دوره زمانی همچگاه بهینه نیست مگر آنکه موجودی بتواند کل تقاضای دوره را پوشش دهد. در غیر این صورت دیگر لزومی به تحمل هزینه‌های ابزارداری علاوه بر هزینه‌های ضروری تنظیم فرآیند نیست. از این رو روش‌های مکاشفه‌ای هر بار که برای برنامه‌ریزی مورد استفاده واقع شوند تنها تولید باندازه تقاضا را برای تعداد صحیحی از دوره‌ها در نظر می‌گیرند.

نایاب استباط کرد که رویه‌های مکاشفه‌ای لزوماً الگوریتم‌های بهینه نیستند. روش‌های مکاشفه‌ای عموماً مسائل خاصی دارند. فرآیند توسعه قواعد مناسب برای راه حل‌های مکاشفه‌ای مسائل می‌تواند بدی نسبت به عوامل با اهمیت مسئله ایجاد کند. این نگرش می‌تواند در مدیریت روزانه بسیار مفید باشد. اگر ما یک کد پیچیده را که مبنی بر رویه‌های استاندارد است، ایجاد کرده باشیم و آن را به عنوان یک جعبه سیاه برای حل مسئله بکار برویم، به این نگرش دست نیافراییم. از آن گذشته، تکنیک‌هایی که به مدل‌ساز امکان داشتن این را می‌دهند که راه حل مکاشفه‌ای چقدر از حالت بهینه فاصله دارد را محدود سازیم، تجربه خوبی در حین به کارگیری روش‌های مکاشفه‌ای بدنست می‌آید. محدودیت‌ها می‌توانند مبنی بر تحلیل بدترین حالت و یا حالت متوسط باشند. حاصل محدودیت‌های بدترین حالت عموماً از لحاظ تئوریک بیانگر ضعیف‌ترین نتایج نسبت به حالت بهینه هستند و طبق این نتایج روش مکاشفه‌ای با شکست مواجه می‌شود. این نتایج به عنوان نمونه مسئله حفظ خواهد شد. نمونه مسئله به گروه خاضی از داده‌ها اطلاق می‌گردد که می‌توان برای آن‌ها راه حلی یافت. حالات متوسط (میانگین) مبنی بر تجربه بوده و نشانگر انحراف انتظاری از حالت بهینه در زمانی است که داده‌های مسئله در گستره خاصی قرار می‌گیرند.

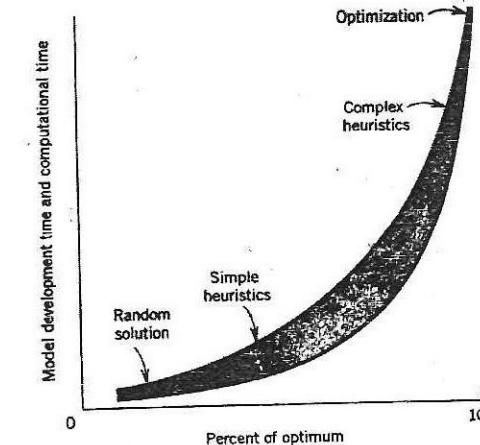
مثال ۱

فرض کنید که سه کار و سه ماشین داریم، به هر ماشینی یک کار اختصاص داده شده است. هدف یافتن تخصیص کارها با حداقل هزینه است. هزینه‌های تخصیص کار در جدول ۶-۲ نشان داده شده‌اند.

ماشین	کار		
۳	۲	۱	
۱۲	۲۵	۱۰	۱
۱۲	۵	۱۳	۲
۲۱	۱۳	۸	۳

جدول ۶-۲: هزینه‌های تخصیص کار به ماشین

فرض کنید که کار ۱ را اختیار کرده و آن را به ماشینی با حداقل هزینه تخصیص بدیم و سپس این کار را کنار بگذاریم. این رویه را تا زمانی ادامه دهیم که تمام کارها تخصیص یابند. راه حل مکاشفه‌ای به شرح زیر خواهد بود:



شکل ۶-۸: مقایسه بین روش‌های مکاشفه‌ای و بهینه‌سازی

حل بسیاری از مسائل جهان واقعی در زمان موجود بسیار وسیع و پیچیده است و این موضوع مخصوصاً در مسائل کنترل عملیات که به نظرات پی در پی نیاز دارند صدق می‌کند. می‌توان تا پایان هفته صبر کرد تا یک کامپیوتر طرح بهینه یک کارخانه جدید را تعیین کند ولی این نوع نگرش برای زمانبندی تولید عصر امروز کارایی ندارد. کدگذاری و درک قواعد مکاشفه‌ای ساده‌تر است، لذا این مدل‌ها رامی‌توان با سرعت بیشتری توسعة داده و به اجرا

روشی منطقی برای یافتن یک راه حل خوب (تقریباً بهینه) برای مسئله دارند. ممکن است یافتن پاسخ بهینه امکاپذیر بوده و یا نباشد، حتی اگر راه حلی پیدا شود، ممکن است قادر به تایید اینکه راه حل برای مدل بهینه است، نباشد. بارتولدی (Bartholdi) و پلاتزم (Platzman) (1998) روش‌های مکاشفه‌ای را با توصیف زیر بخوبی بیان کرده‌اند:

«می‌توان یک روش مکاشفه‌ای را به عنوان یک پردازشگر اطلاعات که تعمداً ولی با اگاهی از اطلاعات خاصی صرفنظر می‌کند، در نظر گرفت. با صرف نظر از اطلاعات، روش مکاشفه‌ای از هر تلاشی که ممکن است برای خواندن داده‌ها و استفاده از کامپیوتر بیان باشد، آزاد می‌شود. از آن گذشته، راه حلی که توسط چنین روشی ایجاد گردد مستقل از اطلاعات صریحت‌نظر شده بوده و لذا از تغییراتی که در این اطلاعات پیدا می‌آیند تاثیر نمی‌پذیرد. البته هر طراحی روش‌های مکاشفه‌ای در اگاهی دقیق از اطلاعاتی است که باید از آن‌ها صرفنظر کرد.»

علاوه بر قوی بودن تغییر داده‌ها در روش‌های مکاشفه‌ای معمولاً توسعه و حل مسائل از طریق این روش‌ها نسبت به روش‌های رویدایی بهینه‌سازی آسانتر است. شکل ۶-۸ توازن اصلی موجود در بسیاری از مسائل را نشان می‌دهد.

گفته می‌شود که دو گروه تصمیم‌گیرنده در دسر آفرین در رابطه با مدل‌سازی (و کامپیوتر) وجود دارد، آن‌ها بیکار باور دارند که همه چیز از مدل بدست می‌آید و آن‌ها بیکار به هیچ چیز اعتماد ندارند. اولین گروه را می‌توان به مرور زمان آموختش داد که به مدل اعتماد کنند ولی برای گروه دوم راهی نیست جز آن که آن‌ها را به دست تقدیر بسپاریم.

بسیاری از سیستم‌های واقعی رفتاری غیرخطی از خود نشان می‌دهند و به متغیرهای منفصل (عدد صحیح) نیاز دارند. حل مدل‌هایی با این مشخصه اغلب بسیار دشوار است و حتی ممکن است با آن که خواهان دستیابی به راه حل بهینه هستیم به راه حل‌های مکاشفه‌ای تزدیک به بهینه رضایت دهیم. از آنجا که هدف ما همچنان یافتن بهترین گروه مقادیر ممکن برای متغیرهای تصمیم‌گیری است، این مدل‌ها را در بخش بهینه‌سازی مطرح می‌کنیم. ممکن است در بعضی از موارد تنها بیافتن یک راه حل امکان‌پذیر رضایت دهیم، راه حلی که به محدودیت‌های تعیین شده در متغیرهای تصمیم‌گیر تمایل دارد.

مشکل: فرموله کردن مدل‌ها به منظور بهینه‌سازی آن‌ها نوعاً تبدیل به موضوعات مرتبط با هزینه می‌شود. مدل میزان سفارش مقرر به صرفه، موجودی انبار و هزینه‌های راه‌اندازی را با هم مقایسه می‌کند، این مدل نموده‌ای از مثال‌های ابتدایی است. ایجاد چنین مدل‌هایی متوجه به توجه و وجود چنین هزینه‌هایی در ذهن مدل‌ساز می‌شود. با این ذهنیت ممکن است فرسته‌هایی را در نظر داشته باشیم که برای کاهش هر دو هزینه در اختیار مان قرار دارد، در چنین حالتی مدل تبدیل به مدلی می‌گردد که در شیوه‌های تولید بهنگام (JIT) مطرح است.

دومین هدف تخمین تولید است. باید بطور ثابت به پرسش‌های "چه می‌شود اگر" پاسخ داده شود. اگر یک ماثل خراب شود چه می‌شود. چه می‌شود اگر یک تأمین کننده توافق نماید و تعهداتش عمل کند؟ چه می‌شود اگر تقاضاً تغییر کند؟ مدیران در یک لحظه درباره همه چیز نمی‌توانند آگاهی داشته باشند، لذا برنامه‌های قدرتمندی باید ساخته شوند به طوری که اگر واقعه‌ای رخ دهد و شرایط تغییر نماید، منابع لازم موجود باشند. موقعیت مدام به ایجاد ایده‌های جدید نیاز دارد. مدل‌های تشریحی نظری شبهه‌سازی طبیعتاً برای این مقصود طراحی شده‌اند. آن‌ها برای آزمون این ایده‌ها خوب طراحی شده‌اند و خوب و بد را از یکدیگر جدا می‌کنند. با استفاده‌های از مدل‌های تشریحی مقادیری برای متغیرهای تصمیم‌گیری وارد مدل می‌شوند و خروجی مدل معیار کارایی سیستم خواهد بود. همچنین مدل‌های پشتگویی کارایی در فرآیند برنامه مورد استفاده قرار می‌گیرند. فرض کنید که واحد بازاریابی برنامه‌ریزی خاصی را پیشنهاد می‌کند. هدف تعیین زمان‌بندی امکان‌پذیر است و اگر چنین باشد هزینه آن چقدر خواهد بود. با مقایسه خروجی مدل با بودجه و سایر محدودیت‌ها می‌توان زمان‌بندی را مورد ارزیابی قرار داد.

همچنین مدل‌های از پیش تعیین شده در تخمین کارایی بسیار اهمیت دارند. تحلیل حسابی یکی از فعالیت‌های مهم تصمیم‌گیران است. با تغییر پارامترهای ورودی نظری هزینه مواد، ساعت‌کاری کارکنان و عوامل بهره‌وری می‌توان تأثیر تغییرات با عدم قطعیت روی مقادیر پارامترها را مورد ارزیابی قرار داد.

کنترل سومین هدف مدل‌سازی است. خط‌میشی‌های کنترلی را می‌توان از مدل‌ها استخراج نمود. آیا در زمان‌بندی یک مرکز کاری، باید از قاعده‌کوتاه‌ترین زمان فرآوری (SPT) استفاده شود و یا زودترین زمان سرسید (EDD) ملاک است؟ چگونه تصمیم بگیریم که چه وقت کار به کف کارگاه ارسال شود و جریان آن‌ها چگونه اولویت‌بندی می‌شود؟ مدل‌هایی می‌توان ایجاد نمود که امکان بررسی کارایی سیستم تحت خط‌میشی‌های کنترلی مختلف را

گام ۱. کار ۱ را به ماشین ۱ اختصاص دهد اگر $25 < 20 < 12$.

گام ۲. کار ۲ را به ماشین ۲ اختصاص دهد اگر $12 < 5$.

گام ۳. کار ۳ را به ماشین ۳ اختصاص دهد.

کل هزینه این نوع تخصص کار $= 36 + 5 + 21 = 62$ خواهد بود. می‌توان محدوده پایین‌تری از هزینه را با توجه به این نکته که هر کاری باید حداقل به اندازه کمینه هزینه ماشین خود هزینه داشته باشد، بدست آورد. لذا هزینه کار $1 \geq 12$ حداقل 10 ، هزینه کار $2 \geq 5$ و هزینه کار $3 \geq 8$ باید باشد. بنابراین هر راه حداقل دارای هزینه $3 + 5 + 8 = 16$ خواهد بود. به همین ترتیب هر ماشینی باید یک کار را انجام دهد. با جمع حداقل هزینه‌ها در هر ستون محدوده حداقل هزینه $= 25 + 5 + 12 = 42$ را خواهد داشت. از این‌رو هر راه حل امکان‌پذیری که وجود داشته باشد باید حداقل هزینه ≤ 25 را داشته باشد. هزینه راه حل پیشنهادی ما ≤ 36 است. بنابراین این راه حل ما ≤ 36 واحد بیش از حالت بهینه است.

توجه کنید روشهای برای یافتن محدوده پایین یعنی ≤ 25 بکار رفته است در واقع یک راه حل امکان‌پذیر ایجاد نموده است: همه کارها تخصیص داده شده‌اند و هر ماشینی یک کار دارد. بنابراین راه حل می‌تواند بهینه باشد.

می‌توان بجای دسته‌بندی مدل‌های ریاضی بر مبنای خروجی آن‌ها (تشریحی یا از پیش تعیین شده) مدل‌ها را برآبایس شکل محساباتی آن‌ها دسته‌بندی نمود. با این طبقه‌بندی، مدل‌ها تحلیلی و یا تجزیی هستند. مدل‌های تحلیلی شان دهنده انتزاع ریاضی از سیستم واقعی می‌باشد. در اینجا گروهی از معادلات بوجود می‌آیند که کارایی کلی سیستم را به طور خلاصه بیان می‌کنند ولی جزئیات را تشریح نمی‌کنند. به عنوان مثال می‌توان به تحریق صفات، برنامه‌ریزی ریاضی و روش‌های مکاشفه‌ای اشاره کرد. مدل‌های شبیه‌سازی تجزیی هستند. مدل‌های شبیه‌سازی وقایعی را که در سیستم واقعی رخ می‌دهند، به نمایش درمی‌آورند و در کنار پارامترهای عملیاتی به تجربیات نیز امکان کنترل منطق را می‌دهند. مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری و شبیه‌سازی فیزیکی که در بالاترین میزان این‌ها اشاره شد در این گروه قرار می‌گیرند. ممکن است از مدل‌های تلفیقی نیز استفاده شود.

۴- کاربری مدل‌ها

مدل‌ها برای مقاصد مختلف ساخته می‌شوند. کاربردهای ابتدایی مدل‌ها شامل موارد زیر هستند:

۱- بهینه‌سازی: یافتن بهترین مقادیر برای متغیرهای تصمیم‌گیری

۲- پیش‌بینی کارایی: بررسی برنامه‌ها و حساسیت‌های بالقوه

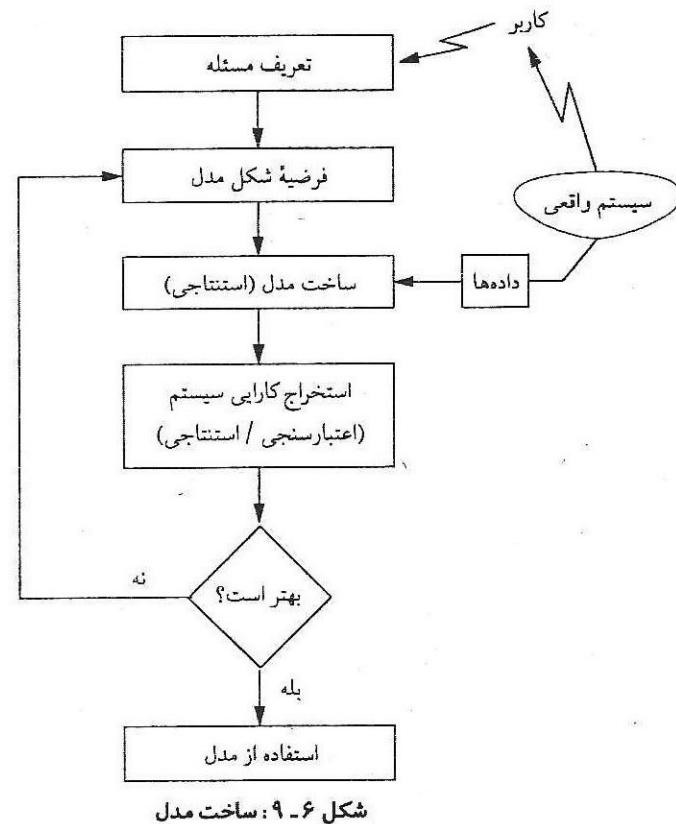
۳- کنترل: کمک به انتخاب قواعد کنترلی مناسب

۴- دیده‌دهی: امکان درک بهتری از سیستم

۵- توجیه: کمک به تصمیم‌گیری‌های مربوط به فروش و نکات حمایتی

تاکنون در مورد بهینه‌سازی در مفهوم مدل‌های از پیش تعیین شده بحث کردیم. مدل‌ها ساخته می‌شوند و به منظور تعیین بهترین ترکیب ممکن از متغیرهای تصمیم‌گیری به اجرا درمی‌آیند. مسائلی همچون انتخاب اندازه دسته و شبکه‌های حداقل هزینه حمل و نقل مثال‌های خوبی برای بهینه‌سازی هستند. با این حال باز هم خاطرنشان می‌کنیم که نباید از خروجی مدل‌ها استفاده کورکرانه کرد. مسئولیت نهایی بر دوش تصمیم‌گیرنده است نه مدل.

مدل‌های مختلفی بوجود بیاورند. خوشبختانه در صورتی که اعتبار این مدل‌ها بخوبی احراز شوند، راه حل‌های یکسانی برای مسئله بوجود خواهد آورد. عموماً بهترین راه آن است که ساده‌ترین مدلی را انتخاب نماییم که بطور مناسب سیستم را تشریح نماید. ساخت، نگهداری و استفاده از مدل‌های ساده، آسان‌تر بوده و از آن گذشته براورده پارامترهای مربوط به آن‌ها نیز ساده‌تر است. علاوه بر آن با وارد نکردن فاکتورهای خارجی که تنها بطور شناسی به براورده کارایی گذشته کمک خواهند کرد احتمال این که تحت شرایط جدید براورده کنندگان خوبی از کارایی باشیم پیشتر است.



شكل ۶-۹: ساخت مدل

ممیزی و اعتبارسنجی گام‌های بعدی هستند. ممیزی تضمین می‌کند که مدلی که روی کاغذ معین شده و مدلی که روی کامپیوتر به اجرا درآمده یکسان هستند. اعتبارسنجی تضمین می‌کند که مدل از لحاظ مشخصات و پیاده‌سازی کامپیوترا آن بطور کافی به سیستم پاسخ داده و بخوبی تایپی معین و مفید برای تصمیم‌گیری فراهم می‌آورد. علاوه بر آن اعتبارسنجی باید تضمین کند که

بدهد. با ارزیابی کارایی سیستم تحت سایری‌های مختلف برای هر خطمشی ممکن، می‌توان خطمشی نزدیک به بهینه را انتخاب کرد.

فرآیند ساخت مدل ارزش قابل توجهی دارد. تجاری که در طول اعتبارسنجی مدل و تعیین مجدد مشخصات سیستم بدست می‌آیند نگرش قابل توجهی به سیستم واقعی بوجود می‌آورد. بدین صورت گه متوجه می‌شویم که گلگاههای حقیقی و روابط مهم سیستم صحیح هستند. لذا آگاهی کسب شده از طریق ساخت مدل، نگرش ما را به کارایی سیستم با تعین نیاز به استفاده از مدل را بقدر کافی افزایش می‌دهد.

کسب پیش استفاده از مدل، در گروه ابزارهای تشخیص جای می‌گیرد. ممکن است مسائلی شناخته شوند که در مورد سیستم وجوده دارند ذلیل اساسی (پایه‌ای) آن‌ها نامشخص بمانند. کار کردن با مدل می‌تواند شرایطی را بوجود بیاورد که تحت آن‌ها این مسائل پدید آیند، تشید شوند و پراکنده گردند. وقتی نوع مسئله معین شد، می‌توان عملکردی اصلاحی اتخاذ کرد.

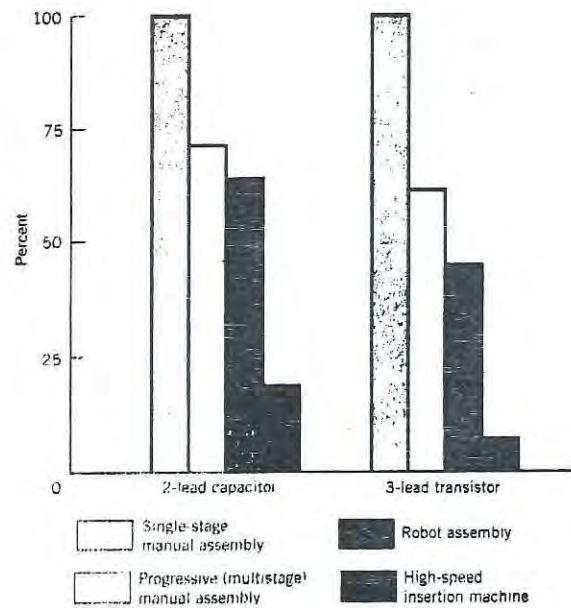
نهایتاً مدل‌ها را می‌توان به عنوان ابزارهای مؤثری در فروش بکار برد. شبیه‌سازی با استفاده از گرافیک متحرک می‌تواند برای متقاعد کردن یک مدیر یا ناظر شکاک در مورد اعتبار مدل بسیار مؤثر واقع شود. در واقع مواردی هستند که در آن‌ها از مدل‌های تحلیلی برای حل مسئله استفاده و مدل‌های شبیه‌سازی نیز برای فروش راه حل بکار می‌بورند. ساخت یک مدل گرافیکی ساده به عنوان آخرین مرحله مدل‌سازی یک سیستم بزرگ و پیچیده غیرمعمول نیست. ممکن است یک مدیر در به کارگیری جعبه سیاهی از چند هزار معادله احساس راحتی نکند. با این وجود شبیه‌سازی شماتیک یا متحرکی که خروجی این مدل پیچیده را نشان دهد می‌تواند یک ابزار بسیار مؤثر باشد.

اهمیت تحلیل حساسیت در بین تمام مدل‌ها مشترک است. برای نفر یک از موارد استفاده اولیه، دانستن اثر تغییرات روی تضاضا یا قابلیت اعتماد ماشین اعیت دارد. ممکن است در طراحی یک چیزمان بخواهیم ترتیب چندین دستگاه موجود را برای تعیین بهره‌وری حاصله در سیستم حمل و نقل مواد مورد بررسی قرار دهیم. طراحی مهندسی باید پویا و احتمالی جهان خارج (و داخل) را در نظر بگیرد. از این رو همیشه باید طراحی‌های بالقوه متعددی انجام داد و آن‌ها را با سایری‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار داد.

۴. ساخت مدل

ساخت مدل یک هنر است. علم در حل مدل نقش بیشتری بازی می‌کند تا ساخت آن. همانطور که شکل ۶-۹ نشان می‌دهد، بدل‌سازی استفاده از استدلال قیاسی و استدلال استقرایی را تکرار می‌کند. وقتی مسئله تعریف می‌شود جنبه‌های مهم سیستم را برای مشخص نمودن این مسئله در نظر می‌گیریم. این گام شامل استنتاج نیز می‌گردد. ما از تجربیات و استنتاجات خود در مورد چگونگی عملکرد سیستم به منظور به دست آوردن چکیده‌ای از مؤلفه‌های ضروری و روابط بین آن‌ها استفاده می‌کیم. این مؤلفه‌ها و روابط در قالب روابط ریاضی و یا منطقی تشریح می‌شوند. قواعد تشریح سیستم اغلب استنتاجی بوده و از قوانین فیزیکی نیز بهره می‌برند. دانشجویان نیز اغلب بر این بیاورند که می‌توانند بسادگی مدل سیستم را بازنده. هیچ مدل یکتاوی از سیستم وجود ندارد. مدل باید متناسب با سوالاتی که پاسخ داده شوند، ساخته شوند. در محیط‌های پیچیده ممکن است برای روش ساختن جنبه‌های مختلف مسئله، مدل‌های متعددی ساخته شوند. حتی مدل‌سازان خبره نیز ممکن است برای یک سوال مفرد

بزودی تأثیر خود را در این محیط از دست خواهند داد. کسانی که این دیدگاه را مورد تردید قرار می‌دهند باید تقدیر قدرت آمار را برای تسلط نظرات جمیع بسنجند. بدلیل این که سوء استفاده از آمار و تعریف نادقيق مسئله نظرات جمیع، پخوبی توسط کنایه دیزربلی بیان شده‌اند: "سه نوع دروغ وجود دارد، دروغ، دروغ، دروغ های نفرین شده، آمار". به عنوان آخرین نکته نباید فراموش کرد که مدل یک ابزار است نه یک خاتمه. طراحی مهندسی شامل گام‌های مربوط به تعریف مسئله، تعیین داده‌ها و ایجاد راهکارهای جایگزین، تحلیل راه حل‌های آزمایشی، ارزیابی جایگزین‌ها، پیشنهاد راه حل، پیاده‌سازی و نظارت و نگهداری است. مدل‌ها برای تحلیل و ارزیابی بکار می‌روند. با این حال یک مدل نمی‌تواند منجر به راحلی شود که خارج از حوزه عملکرد است. برای مثال، مسئله قراردادن قطعات در یک برد مدار الکترونیکی را در نظر بگیرید. شاید سیستم موجود روی مونتاژ دستی تکیه داشته باشد. ممکن است یک مهندس کارا سعی در تریع فرآیند دستی نماید، ولی مهندسین مؤثر یک گام به عقب برداشته و کل سیستم و طراحی‌های جایگزین ممکن را در نظر می‌گیرند. در این حالت، راه حل‌های جایگزین می‌توانند شامل خطی از عملگرها باشد که هر یک مسئول اجزای مختلف مونتاژ دستی، مونتاژ آدمواره (روباتیک) و یا دستگاه‌های مونتاژ سریع هستند. [Seifert 1988] شکل ۶-۱۱ را برای نشان دادن تفاوت در هزینه‌های این راهکارها ارائه کرده است. مدل‌سازی جایگزین نظر و خلاقیت نمی‌شود، بر عکس مدل‌ها و تحلیل کامپیوتری باید فرآیند خلاقیت و نوآوری را با تسهیل کردن درک رفتار سیستم و روابط آن ساده و قابل لمس و درک نماید.



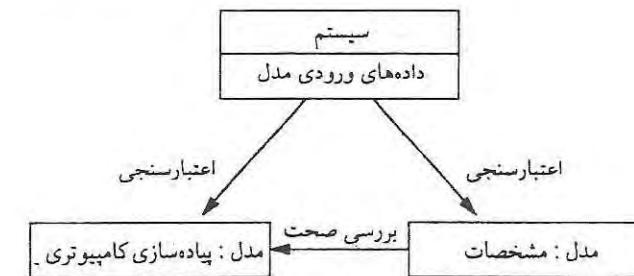
شکل ۶-۱۱: هزینه‌های مرتبط با راهکارهای انتخابی مونتاژ

داده‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرند مناسب، صحیح و کافی است. شکل ۶-۱۰ مقاهم اعتبارسنجی و بررسی صحت را نشان می‌دهد. فرآیندهای بررسی صحت و اعتبارسنجی اغلب با یکدیگر همپوشانی داشته و یا دارای فعالیت‌های یکسان هستند. برخی از این فعالیت‌ها به شرح زیر هستند:

- مقایسه مدل و ساختار سیستم: اجزای سیستم به همان صورتی که وجود دارند و یا طراحی شده‌اند با نمایش آن‌ها توسط مدل مقایسه می‌شوند.

- مقایسه نتایج و داده‌های متقاضر سیستم: نتایج تحلیل با برآوردهای حاصل از عملکرد سیستم یا مشخصه‌های طراحی با همان مقادیر مقایسه می‌شوند.
- مقایسه مدل و رفتار سیستم: رفتار مدل با رفتار واقعی عملکرد سیستم و یا رفتار مورد نظر در طراحی سیستم مقایسه می‌شوند.

- مقایسه ساختار مدل و نتایج آن با ساختار و نتایجی که از مدل دیگری از همان سیستم بدست آمده‌اند.



شکل ۶-۱۰: بررسی صحت و اعتبار مدل

تعیین نتایج فراتر از حدود ورودی‌هایی که مدل برای آن‌ها اعتبارسنجی شده است، می‌تواند منجر به نتایج گمراه کننده‌ای شود. بخاطر داشته باشید که مدل‌ها حاوی دو نوع خطأ هستند:

- تقریب سیستم و تقریب راه حل: مدل‌ها فقط بطور تقریبی سیستم را توصیف می‌کنند و عموماً بسیاری از جزئیات را هاگرده و اغلب فقط رفتار مجتمع گروهی از جزئیات عده را شرح می‌دهند. اینم ترین راه آن است که از ابتدای ساخت مدل در مورد سوالات مربوط به اعتبارسنجی تصمیم‌گیری شود. استفاده بعدی از مدل رفتار از این قلمرو، به اعتبارسنجی مجدد نیاز دارد. تقریب راه حل که به استفاده از رویه‌های مکائشفه‌ای و دقت عددی الگوریتم‌های بکار رفته اطلاع می‌گردد می‌تواند بد باشد.

مدل‌ها نباید به منظور یک نقطه نظر خاص ساخته شوند. مرحله اعتبارسنجی مدل باید دقت مدل را برای استفاده موارد نظری آن تضمین نماید. کسانی که با مقاصد آشکار یا نهان اقدام به مدل‌سازی می‌کنند خطر از دست دادن اجزای مقطوعی مدل و پیاده‌سازی یک راه حل ضعیف را به جان می‌خرند. در حالی که ما ماهیت سیاسی تمام سازمان‌های انسانی را مشخص کرده‌ایم باید هدف از ساخت مدل مشخص باشد تا بتوان حقیقت را کشف و نه تحریف کرد. در جنگ رقابت‌های تولیدی چنین عملکرد هایی شناس موقبیت را کاوش می‌دهد. از آن گذشته مدل‌ها

۵ - خلاصه

سیستم‌های تولیدی را می‌توان بر حسب نوع چیدمان آن‌ها طبقه‌بندی نمود. می‌توان چیدمان را طوری دسته‌بندی کرد که مبتنی بر محصول، فرآیند و یا تلفیقی (سلول‌های مربوط به خانواده محصول) و یا مکان ثابت باشند. چیدمان محصول عموماً موثرترین چیدمان برای تولید تکراری است.

چندین قانون طبیعی بر سیستم‌های تولیدی ارجکنار است. سطح موجودی، نرخ تولید و زمان توان عملیاتی را تعیین می‌کند. مواد و انرژی ثابت هستند. با افزایش اجزای متبادل بیشتر به سیستم، سیستم قابلیت اطمینان کمتری پیدا می‌کند. با این وجود، افزودن اجزای موازی یا اضافه می‌تواند قابلیت اطمینان را بالاتر ببرد، اشیاء به مرور زمان دچار تخریب می‌گردند ولی با این حال می‌توانند با بهره‌گیری از مزایای تکنولوژیکی بر آن‌ها پیشی گیریم. طراحی‌های سیستم باید برای رفتار تصادفی مورد نظر قرار گیرند. در آخر، قابلیت‌های انسانی محدود هستند. گاه ممکن است ساده کردن سیستم و حذف اجزای غیر لازم بهترین راه حل باشد.

مدل‌ها یک مبنای منطقی برای طراحی سیستم‌های جدید و یادگیری سیستم‌های موجود را شکل می‌دهند. کار با مدل‌های سیستم بجای سیستم واقعی امکان آموختن سریع را دارد و از خطر از هم گستاخگی پر هزینه سیستم‌های واقعی جلوگیری می‌کند. می‌توان از مدل‌ها برای بهینه‌سازی سیستم، تخمین کارایی، کنترل، گردآوری دیدگاه‌ها در مورد سیستم و یا به عنوان یک ابزار آموزشی استفاده کرد. مدل‌ها می‌توانند ماهیت ریاضی، نظری برنامه‌ریزی خطی و یا غیرخطی، مثل مدل مقابسی یک کارخانه که راهروها و ماشین‌آلات را نشان می‌دهد. مهمترین کار در مدل‌سازی تعریف مسئله و سپس تعیین هدف مدل است. آنگاه مدل‌ساز، مدل را با حوزه عملکرد و پیچیدگی مناسبی طراحی می‌نماید به طوری که با یکپارچه‌سازی اجزاء سیستم به اعتبارسنجی و بررسی صحت مدل می‌پردازد.

مدل‌سازی از دو منبع قدان اطلاعات متأثر است. نخست این که مدل یک نماد انتزاعی و ساده شده‌ای از واقعیت است که بسیاری از جزئیاتی که رفتار واقعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند در مدل گنجانده نمی‌شوند. ما بطور مکرر مدل‌ها را ساخته و مورد آزمون قرار می‌دهیم با این امید که تمام عوامل بر جسته (با توجه به هدف مدل) در آن گنجانده شوند. دوم این که مدل‌ها بطور نسبی مورد ملاحظه قرار می‌گیرند. روش‌های مکاشفه‌ای ممکن است منجر به راه حل‌های غیربهینه گردند. تحلیل حساسیت لزوماً محدود به حوزه مدل می‌شود. از این رو ما هیچگاه تمام اطلاعاتی را که مدل باید نمایش دهد، استخراج نمی‌کنیم. ما صرفاً امیدواریم تا بقدر کافی در مورد طراحی موتور یاموزیم و سیستم را با مطالعه به عمل درآوریم.



تمرین‌های فصل ششم

- ۱ - چرا مدل‌های سیستم تولیدی ساخته می‌شوند و منظور از استفاده از این مدل‌ها چیست؟
 - ۲ - چهار نوع چیدمان اولیه سیستم‌های تولید کدامند؟
 - ۳ - سیستم‌های بزرگ مجموعه‌ای از اجزاء و روابط متقابل هستند. مشکلات مدل‌سازی چنین سیستم‌هایی چیست؟
 - ۴ - فرض کنید یک سیستم شامل هشت زیر سیستم مستقل است. هر یک از زیر سیستم‌ها ۹۵٪ از موقع در حال کار است. احتمال کار کردن تمام زیر سیستم‌ها در هر لحظه چقدر است؟
 - ۵ - یک رستوران محلی را در نظر بگیرید. وظایف، مواد، منابع، تولیدات، و هر رویداد متناظر در سیستم را شناسایی و بنویسید.
 - ۶ - کارایی یک سیستم (m) بستگی زیادی به تنظیم یک پارامتر مانند X دارد. جدول ۶ - ۳ کارایی سیستم را در ارتباط با مقادیر X ارایه می‌دهد.
- (الف) نمودار $X - m$ را رسم کنید. آیا مدل ساده $a + bx = m$ منطقی به نظر می‌رسد.

x	m
۰	۱۰۰
۱	۱۴۹
۲	۱۹۶
۳	۲۴۱

جدول ۶ - ۳: مقادیر کارایی

- ب) یک مدل برای این سیستم بدست آورید.
- ج) کارایی سیستم را اگر $30 \leq x \leq 20$ و $10 \leq m \leq 25$ = m پیش‌بینی کنید.
- د) مدل صحیح به صورت $m = 10 + 5x$ می‌باشد. نتایج حاصل در قسمت ج را با نتایج حاصل از این مدل مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای در مورد صحت مدل می‌توانید بگیرید؟
- ـ قوانین حاکم بر سیستم‌های تولید را ارایه مثالی شرح دهید.
- کارخانه‌ای 250 قطعه در روز تولید می‌کند. متوسط کار در جریان (WIP) 800 قطعه است. متوسط زمان توان عملیاتی را به دست آورید.
- ـ لیست فعالیت‌های هفتگی خود را با زمان مورد نیاز برای انجام آن‌ها بنویسید. اگر بخواهید 3 ساعت اختصاص به مطالعه دهید، این زمان را چگونه به دست می‌آورید؟