irmgn.ir

فصل اول

طرح ریزی واحدهای صنعتی

۱-۱- مقدمه

۱-۱-۱- طرح ریزی واحدهای صنعتی چیست؟

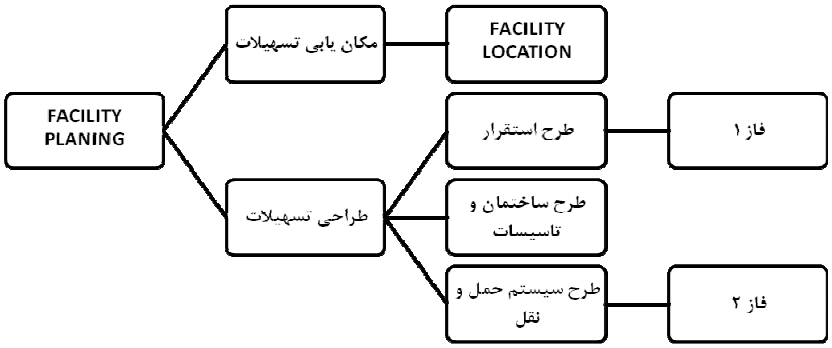
طراحی و بهبود طرح استقرار و سیستم حمل و نقل (مواد اولیه، نیمه ساخته و نهایی)
با هدف حداکثر کردن کارآیی

در این تعریف چند نکته مهم وجود دارد اول اینکه طرح ریزی واحد های صنعتی هم شامل طراحی و هم بهبود یک واحد است و در دو فاز طراحی یا بهبود طرح استقرار و به موازات آن طراحی و بهبود سیستم حمل و نقل می باشد.

منظور از طرح استقرار و سیستم حمل و نقل به شرح زیر است:

* طرح استقرار چیست؟ چگونگی قرار گرفتن تجهیزات و بخش ها در فضای کارخانه.
* سیستم حمل و نقل؟ ← رابطه ی بین بخش ها را ایجاد می کند.

کلا طراحی و ساخت یک کارخانه شامل مراحل شکل ۱-۱ است:



۱- از فاز ۱ و ۲ تازه کار اجرائی شروع می شود.
۲- تعامل جدی میان مکان یابی تسهیلات و طراحی استقرار وجود دارد.

۱-۱-۲- منظور از حداکثر کارآیی چیست؟ کارائی نیز باید در ۲ بخش طرح استقرار و سیستم حمل و نقل حداکثر شود، پس داریم:

الف- در طرح استقرار:

بهره برداری حداکثری از ترکیب:

irmgn.ir

۱- نیروی کار
۲- مواد
۳- تجهیزات و ماشین آلات
۴- سرمایه

ب- سیستم حمل و نقل:← حداقل کردن هزینه جهت برقراری جریان مواد به مطلوب ترین شکل ممکن. به طوری که مطلوبیت مکانی برای همه ی بخش های کارخانه، طبق نقشه استقرار ممکن شود.
مطلوبیت مکانی: همه ی اقلام در بهترین مکان، در زمان مناسب و به میزان موردنیاز در دسترس باشند.

یعنی:
- مکان
- زمان
- مقدار

* نگاه ما در طرح ریزی یک نگاه از پایین به بالاست. یعنی طرح ریزی را از جزئی ترین قطعات محصول شروع کرده و در نهایت به طرح ایستگاه ها و محوطه می رسیم.

۳-۱-۱- مفاهیم مورد بررسی در طرح ریزی واحدهای صنعتی:

جانمایی Layout (محل تسهیلات نسبت به هم)← و جزئی تر
جایابی Location → مکان یابی → کلی تر و اصلی تر است.

انتقال مواد Material handling
طراحی Design
برنامه ریزی Planning
کارخانه Plant

تسهیلات Facilities ← یک مفهوم گسترده است از تجهیزات تولیدی گرفته تا بخش ها و واحدهای تولیدی تا خود کارخانه و واحد صنعتی

برنامه ریزی تسهیلات
||
(طرح ریزی واحدهای صنعتی)
- مکان یابی تسهیلات (مکان یابی کارخانه)
- طراحی تسهیلات (طراحی کارخانه)
  - طراحی جانمایی تسهیلات (جانمایی کارخانه و تجهیزات) ← طرح استقرار
  - طراحی سیستم حمل ونقل مواد
  - طراحی شبکه ها و واحدهای صنعتی

جانمایی تسهیلات (Layout) و سیستم انتقال مواد↔ هسته اصلی طرح ریزی هستند و با هم یک رابطه ی رفت و برگشت دارند. → هیچ کدام بر دیگری تقدم ندارد.
نکته: طرح ریزی واحدهای صنعتی را می توان به واحدهای غیرصنعتی مثل بیمارستان هم تطبیق داد.

irmgn.ir

۴-۱-۱- اهمیت طراحی کارخانه چیست؟

دو چیزی را که طراحی کردیم:

۱- طرح استقرار

۲- جریان مواد

پس در واقع باید دید اهمیت طراحی این دو چیست؟

۱) تولید اقتصادی ← نیازمند طراحی صحیح طرح استقرار و جریان مواد است.

نیازمند ← جریان مواد خوب ← چیدمان مناسب تجهیزات و امکانات

↑

حمل ونقل صحیح

در نهایت آنچه که بدست می آید: ۱) افزایش راندمان

۲) کاهش هزینه ها

۱- وجود یک طرح مناسب و کارآمد برای جریان مواد مقدمه تولید اقتصادی است.

۲- الگوی جریان مواد سنگ زیربنا و اصل و اساس ترتیب قرار گرفتن دستگاه هاست.

۳- ترتیب درست دستگاه ها با تکیه بر الگوی جریان مواد مناسب باعث کارآیی مناسب می شود.

۴- کارآیی تولید باعث افزایش تولید و کاهش قیمت تمام شده می گردد.

۵- کاهش قیمت تمام شده باعث افزایش سودآوری می گردد.

۵-۱-۱- اهداف طراحی کارخانه؟ ***(اهداف، اهمیت و کاربردها را با هم اشتباه نکنید.)***

۱- آسان کردن فرآیند تولید:

- حداقل تأخیرها
- مسیر ساده (مسیر بدون برگشت به عقب)
- جریان پیوسته

۲- ارتقاء سیستم حمل و نقل:

- کاهش حجم انتقال مواد
- حداقل کردن جابجایی ها← جابجایی هزینه است.
- افزایش سرعت جابجایی ها

۳- افزایش سرعت گردش موا در جریان ساخت و . . .

irmgn.ir

۴- افزایش انعطاف پذیری کارخانه
۵- استفاده مؤثر از فضا
۶- پایین آوردن حجم سرمایه گذاری
۷- استفاده بهتر از نیروی انسانی
۸- فراهم کردن ایمنی و رفاه کارکنان

(اهداف (۴و۶)- (۴ و۵)- (۶ و۸) با هم در تناقض هستند.)

اهداف(۱و۲و۳ و۵ و۶ و۷) و (۱و۲و۳و۵و۷و۸) و (۴و۶) در تعاملند.

- اهداف ۴ و ۶ از جهت حجم سرمایه گذاری فعلی درتناقض هستند و امّا ازجهت سرمایه گذاری و سطح انعطاف پذیری در آینده در تعامل هستند.
- پایین آوردن حجم سرمایه گذاری همواره یک هدف اصلی نیست چرا که با طراحی کارخانه به هر حال سرمایه گذاری انجام می گردد.

آیا می توان به تمام اهداف فوق رسید؟ مسلماً خیر

۶-۱-۱- کاربرد طراحی کارخانه؟

کاربرد های طراحی کارخانه در ۲ فاز است:

الف- انجام یک طرح جدید

ب- بهبود وضعیت طرح موجود

که شامل موارد زیر هستند:

۱- طراحی یک کارخانه جدید
۲- تغییر طرح محصول → از مورد دوم به بعد مسایل مربوط به بهبود وضعیت یک طرح موجود است.
۳- تغییر روش تولید
۴- اضافه کردن محصول جدید: منظور محصولی که روش تولید آن با محصول فعلی متفاوت باشد. در غیر این صورت با بزرگ کردن دپارتمان ها مشکل حل می شود.
۵- تغییر ابعاد کارخانه
۶- تغییر در مواد اولیه یا ترکیب محصول
۷- اضافه کردن یک دپارتمان جدید → به دلیل افزایش تولید یا اضافه شدن محصول جدید.
۸- کوچک یا بزرگ کردن دپارتمان های فعلی→ به دلیل افزایش یا کاهش تولید.
۹- افزایش انبارها
۱۰- و . . . .

عواملی که باعث تغییر طرح موجود می شوند:

irmgn.ir

۱- وجود بی تأخیرها یا بیکاری ها
۲- حمل و نقل بیش از اندازه
۳- شلوغی و ازدحام
۴- نامنظم بودن کارخانه
۵- بالا بودن WIP (منظور از WIP همان قطعات نیمه ساخته است.)
۶- نرخ تولید کم و . . .

۲-۱- فرآیند ایجاد یک واحد صنعتی:

۱- بررسی بازار: مطالعه ی میزان تقاضای بازار و خواسته های مشتریان
۲- پیش بینی فروش
۳- مکان یابی واحد صنعتی (Location) ← بازار فروش، مواد اولیه و راه های ارتباطی و . . .
۴- ارزیابی مالی و اقتصادی طرح
۵- طراحی محصول ← طراحی مشخصات و تهیه نقشه های فنی
۶- طراحی فرآیند ← طراحی چگونگی تولید محصول ← ارزیابی کار و زمان
۷- طراحی عملیات ← تعیین دقیق منابع موردنیاز اعم از ماشین آلات، تجهیزات و نیروی انسانی و شرح وظایف چگونگی عملیات هر ایستگاه کاری (ارزیابی کار و زمان)
۸- طراحی واحد صنعتی (کارخانه) ← مرحله ی اصلی (با پیش نیازهایی ازمراحل ۵ و ۶ و ۷)
۹- طراحی تجهیزات ← این بند در کشورهای جهان سوم که عمدتاً به صورت تحت لیسانس هستند لازم نیست.
۱۰- طراحی ساختمان ها ← مهندسی عمران
۱۱- تأمین بودجه
۱۲- تدارکات ← شامل: مواد و مصالح ساختمانی، ماشین آلات و ابزارآلات و همچنین نیروی انسانی
۱۳- عملیات اجرایی
۱۴- تولید و بهره برداری
۱۵- انبارداری محصولات نهایی
۱۶- توزیع
۱۷- بازاریابی و فروش
۱۸- دریافت بازخورد از مشتریان و تحلیل آنها
۴ مورد اول← مطالعات امکان سنجی هستند. مربوط به مراحل قبل از طرح ریزی و طراحی کارخانه هستند.
۱۰ مورد آخر پس از طراحی کارخانه قرار دارند.

irmgn.ir

۳-۱- فرآیند طرح ریزی واحدهای صنعتی از دیدگاه های معتبر:

۱-۳-۱- دیدگاه اپل (Apple):

۱- جمع آوری اطلاعات اولیه شامل:

۱- میزان فروش

۲- میزان تولید

۳- سیاست کنترل موجودی

۴- روش های تولید و . . .

۵- قطعات موردنیاز

۲- تحلیل اطلاعات اولیه: (استفاده از نمودار مونتاژ AC)

۳- طراحی فرآیند تولید: (برگ مسیر تولید + نمودار مونتاژ ← نمودار فرآیند عملیات OPC)

۴- طراحی الگوی جریان مواد:

- انعطاف
- توسعه

الگوی جریانی که موجب آسان شدن فرآیند تولید شده و رابطه مناسبی میان فعالیت ها ایجاد کند و در عین حال، انتقال مواد هم به حداقل برسد. (شکل جریان FD)

۵- بررسی طرح کلی انتقال مواد: تصمیم های مقدماتی در مورد روش و تجهیزات انتقال می گیریم اما تعیین قطعی پس از مرحله ۷ یعنی طرح ایستگاه های کاری انجام می گیرد.

۶- محاسبه تجهیزات موردنیاز

۷- طرح ایستگاه های کاری (هر ایستگاه یک کارخانه کوچک)

۸- انتخاب تجهیزات انتقال مواد

۹- هماهنگی فعالیت ها (مکمل مراحل ۴ و ۷)

۱۰- بررسی رابطه فعالیت ها ← رابطه فعالیت های خدماتی و کمک تولیدی با تولیدی و با هم بررسی می شود.

۱۱- تعیین انبارها

۱۲- طراحی فعالیت های خدماتی و کمک تولیدی

۱۳- تعیین فضای موردنیاز

۱۴- تخصیص فضای کارخانه به فعالیت ها

۱۵- بررسی نوع ساختمان

۱۶- تهیه طرح اصلی کارخانه

۱۷- ارزیابی کنترل و تصحیح طرح

irmgn.ir

۱۸- تصویب
۱۹- پیاده سازی
۲۰- نظارت

گام های ۴و۵ و ۷و۸ نسبت به هم هیچ تقدم و تأخری ندارند و همواره یک رابطه ی رفت و برگشتی بین آنها حاکم است.

نکته: از دیدگاه اپل در مرحله اول بازار بررسی می کنیم اما این به معنای بازاریابی نیست.

کلاً بررسی بازار را با بازاریابی اشتباه نگیرید. بررسی بازار در مرحله ی اول و در زمان امکان سنجی انجام می شود. اما بازاریابی پس از احداث کارخانه و در هر هنگام تلاش برای فروش محصول انجام می شود.

نتیجه بازاریابی ← تعیین برنامه تولید
نتیجه بررسی بازار ← تعیین محصول تولیدی

کلاً در هر الگوریتمی و در هر دیدگاهی:

۱) گام اول ⟵ امکان سنجی و مطالعه بازار است.

۲) طراحی جریان مواد ⟷ استقرار ماشین آلات
↕ ↕
روش های حمل ونقل

۲-۳-۱- دیدگاه برنامه ریزی جانمایی سیستماتیک SLP:

این الگوریتم توسط اپل ایجاد شد و توسط میوتر (Muther) توسعه داده شد.

- ابتدا طرح بلوکه ای و سپس طرح جزئی بررسی می شود. (طراحی جریان مواد، طراحی جریان مواد با جزئیات)
- سه مرحله دارد:
  ۱- مرحله ی تحلیل
  ۲- مرحله جستجو ← جانمایی ها
  ۳- مرحله ی انتخاب

۳-۳-۱- کلید طراحی کارخانه (P Q R S T):

آقای Muther پنج عامل را به عنوان عوامل کلیدی مسئله طراحی کارخانه مطرح کرده است:

irmgn.ir

۱- محصول ← P ← چه چیزی قرار است تولید شود؟
۲- مقدار ← Q ← ظرفیت تولید؟
۳- روش تولید ← routing ← چگونه قرار است محصول را بسازیم؟
۴- خدمات پشتیبانی ← Suporting Service ← چه ماشین آلات و تجهیزاتی به کار می رود؟
۵- زمان ← time ← چه زمانی محصول را باید تولید کنیم؟

irmgn.ir

فصل دوم

طراحی محصول و فرآیند تولید آن

در این مرحله دو سؤال مطرح است؟

۱- چه مقدار تولید می شود؟

۲- چگونه تولید می شود؟

برای پاسخ به این دو سؤال ابتدا محصول را کاملاً بشناسیم:

۱-۲- طراحی محصول:

۱-۱-۲- تعریف طراحی محصول:

فرآیندی که با تعریف دقیق محصول و عملکردها و کاربردهای آن به تعیین خصوصیات کلی و جزئی محصول پرداخته و طی آن با رعایت خواسته های مشتری و استانداردها و با توجه به توجیه اقتصادی تولید محصول به تهیه نقشه های فنی و نمونه اولیه محصول منجر می شود.

۲-۱-۲- خواسته های مشتری:

- الزام آور
- عملکردی
- انگیزشی

۳-۱-۲- پیش نیازهای طراحی محصول:

۱- مطالعات امکان سنجی

۲- پیش بینی فروش و تقاضا

۳- ارزیابی مالی و اقتصادی طرح

در واقع این مرحله شناخت محصول است:

۱- شناخت بازار مصرف

۲- کاربرد محصول

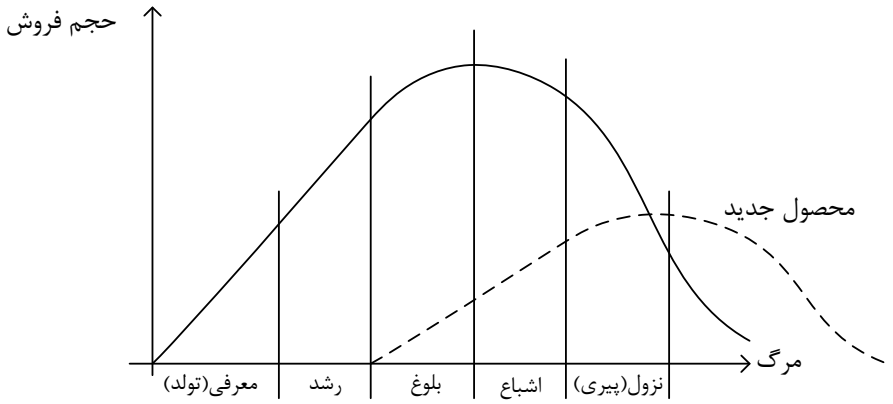
۳- فرمول و نقشه های فنی و روش ساخت

irmgn.ir

۴- مواد اولیه
۵- شناخت سازمان های حمایت کننده
۶- کالای مشابه
۷- تقاضای محصول
۸- کیفیت محصول

۴-۱-۲- شناخت دوره ی عمر محصول:

هر محصولی یک روز متولد و روزی می میرد!
محصولات مصرفی در بازارهای رقابتی عمر کوتاه و محصولات در بازارهای انحصاری عمر طولانی دارند! (چرا؟)



۱-۴-۱-۲- معرفی:

۱- در این دوره کسی از محصول شناختی ندارد و رغبتی هم برای خرید آن ندارد.
۲- در این مرحله بسیاری با شکست مواجه می شوند. (مثل خودرو ANNA ، این خودرو در اواخر دهه ۷۰ شمسی در ایران با تبلیغات فروان پیش فروش خود را آغاز کرد اما هرگز به مرحله تولید نرسید.)
۳- شرکت به خرده فروشان تخفیف می دهد.
۴- در این مرحله حتی شاید شرکت ضرر بدهد.
۵- خرده فروشان تا حد امکان از خرید و انبار کردن محصول خودداری می کنند.
۶- نقش مهندسان کارخانه اینجا معلوم می شود.

۲-۴-۱-۲- رشد:

۱- هدف در این مرحله افزایش حجم توزیع در بازار و جلب اعتماد است.

irmgn.ir

۲- در این مرحله مشتریان محصول را آزمایش می کنند و در صورت داشتن کیفیت مشتری دائم می شوند.
۳- در صورت نداشتن زنجیره تامین مناسب تاخیر در شناخت وقایع خواهیم داشت.
۴- در مرحله ی معرفی قیمت را تا جایی که حداقل ضرر را داشته باشیم پایین می آوریم. اما در مرحله رشد قیمت باید حداقل هزینه را پوشش دهد.
۵- در این مرحله به هیچ عنوان نباید کمبود به وجود آید.
۶- در مراحل تولد (معرفی) و رشد نباید توقع سود داشت.

۳-۴-۱-۲- بلوغ:

۱- نقش کیفیت محصول تعیین کننده است.
۲- افزایش هزینه های بازاریابی ← در این دوره رقابت کاملاً محسوس است.
۳- ارائه محصول جدید: به محض مشاهده کاهش سود شرکت باید به دنبال تحقق برای تولید محصول جدید برود.
۴- شرکت های رقیب در این مرحله محصولشان به بازار می رسد.

۴-۴-۱-۲- اشباع:

۱- (در این مرحله حداکثر تقاضا را داریم) اما حداکثر سود را نداریم.
۲- در این مرحله: عرضه > تقاضا
۳- فروش شرکت اصلی به دلیل وجود رقبا کم می شود.
۴- رقابت بر سر کیفیت، قیمت و بازاریابی است.
(مثال:خودروهای Maxima و Musso که با آزاد شدن واردات خودرو در ایران در اواسط دهه ۸۰ شمسی به شدت فروش خود را از دست دادند.)

۵-۴-۱-۲- نزول:

۱- تقاضا و فروش با سرعت زیادی کاهش می یابد.
۲- ممکن است کالاهای جدید نیاز مشتریان را برآورده نسازد ← حمایت از محصول بستگی به تثبیت هزینه ها دارد.
۳- نقش حسابداری صنعتی برای صرفه جویی در هزینه ها مهم است.

۶-۴-۱-۲- مرگ:

- کاهش تقاضا به گونه ای می شود که دیگر تولید محصول از توجیه اقتصادی برخوردار نیست.

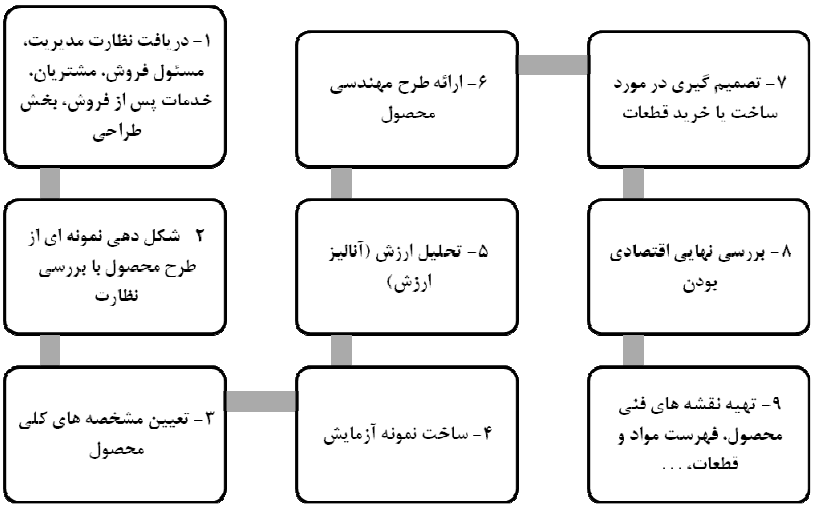
irmgn.ir

- دلایل: ورود تکنولوژی جدید، تغییر سلیقه مشتری، فرهنگ مشتری، رقبا و . . .

نکات:

۱- در مرحله رشد، سیستم توزیع محصول بسیار مهم است. نباید هیچ سفارشی با کمبود مواجهه شود.
۲- در مرحله بلوغ، تمرکز بر تولید بالا برای کاهش قیمت است.
۳- در مرحله بازاریابی، افزایش فروش به بازاریابی بستگی فراوان دارد. (یک اشتباه ⇐ عدم عرضه محصول و از دست دادن بازار)
۴- معرفی محصول جدید در مرحله ی بلوغ محصول فعلی انجام گردد تا سود هموار حداکثر باشد.

در مجموع مرحله طراحی محصول شامل مراحل زیر است:



۵-۱-۲- مهندسی محصول:

فعالیتی است به منظور طراحی یا تجدید طراحی محصول با اهداف:

۱- برآورده کردن نیاز مشتری
۲- اقتصادی بودن
۳- کیفیت

مثلاً:

۱- رفع خطاهای احتمالی در طراحی اولیه → کیفیت ← مثال جمع آوری یکی از مدلهای خودرو

irmgn.ir

تویوتا از سوی کارخانه جهت رفع نقص

۲- بررسی ابعاد محصول → کیفیت و نیاز مشتری ← سایز موبایل ها

۳- تعیین ظرفیت محصول و تعداد قابل قبول برای تولید → اقتصادی

۴- مشکلات و هزینه های اضافی برای برخی مشخصات خاص محصول → اقتصادی ← حذف برخی آپشن ها روی محصولات ایران خودرو

۶-۱-۲- مراحل طراحی محصول:

۱- دریافت نظارت مدیریت، مسئول فروش، مشتریان، خدمات پس از فروش، بخش طراحی و . . .

۲- شکل دهی نمونه ای از طرح محصول با بررسی نظارت

۳- تعیین مشخصه های کلی محصول

۴- ساخت نمونه آزمایش

۵- تحلیل ارزش (آنالیز ارزش)

۶- ارائه طرح مهندسی محصول

۷- تصمیم گیری در مورد ساخت یا خرید قطعات

۸- بررسی نهایی اقتصادی بودن

۹- تهیه نقشه های فنی محصول، فهرست مواد و قطعات، . . .

۷-۱-۲- آنالیز ارزش: → از مراحل طراحی محصول → قبل از مرحله ی ساخت انجام می شود.

ارزیابی محصول با هدف کاهش هزینه ها (ارزان تر کردن) و افزایش کیفیت را آنالیز ارزش گویند.

هدف ⇐ تولید محصول ارزان تر و با کیفیت تر توسط:

۱- جایگزینی مواد اولیه

۲- تغییر در روش تولید.

نکات:

۱- ساخت نمونه ی آزمایشی قبل از آنالیز ارزش انجام می گیرد. (چرا؟)

۲- تصمیم گیری در قبال خرید یا تولید محصول و همچنین طراحی نهایی پس از آنالیز ارزش انجام می شود.

۷-۱-۲- تصمیم گیری در قبال ساخت یا خرید قطعه:

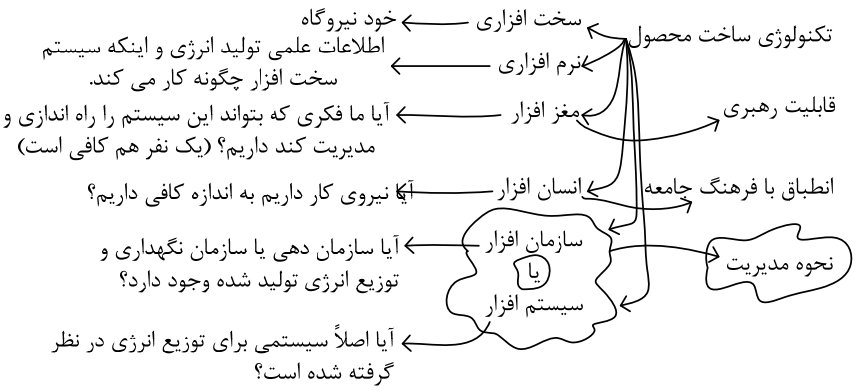
❋ چه قطعاتی بهتر است خریداری شوند؟

irmgn.ir

۱- قطعات استاندارد: مثل پیچ، مهره، میخ، واشر و . . . ← سایز پیچ استاندارد است.
۲- قطعاتی که تکنولوژی ساخت آنها در دسترس ما نیست.
۳- قطعاتی که فرآیند ساخت آنها کلاً با فرآیند ساخت کارخانه متفاوت هستند. مثلاً: لاستیک ماشین- شیشه های آب معدنی.
۴- قطعاتی که دیگر شرکت ها تخصص بالاتری در تولید آنها دارند. مثلاً: موتور کولر.
۵- قطعاتی که دیگر شرکت ها آن ها را با مقیاس بالا و در نتیجه ارزان تر تولید می کنند. مثل: لامپ چراغ ماشین.

*** چه قطعاتی بهتر است تولید شوند؟**

۱- قطعاتی که تولید آنها باعث بالا رفتن تکنولوژی می شود. ← تولید این قطعات باعث می شوند که در آینده به شرکتی قدرتمند در آن زمینه تبدیل شویم.
۲- قطعاتی که واگذار کردن تولید آن به خارج از کارخانه باعث فاش شدن اطلاعات محرمانه شود. مثلاً در تولید اسلحه.
۳- قطعاتی که براساس سیاست های دولت تولید آنها الزامی است. مثلاً ممنوع بودن واردات فلان محصول.
یکی از عواملی که در بررسی اقتصادی بودن تولید محصول یا خرید آن مؤثر است شناخت تکنولوژی ساخت محصول است: مثال: نیروگاه هسته ای بوشهر.



در نهایت پس از طی مراحل فوق: (خروجی طراحی محصول)← کلیه خصوصیات محصول معین می شود:

۱- نمودار درختی
۲- نقشه های انفجاری
۳- نقشه های مونتاژ محصول

irmgn.ir

۴- نقشه اجزا محصول

۵- لیست قطعات و مواد: ← لیست قطعات: کلیه عناصر تشکیل دهنده محصول : خریدنی، ساختنی.

 لیست مواد: مواد اولیه و خام

۶- برگه مسیر تولید

۷- برگه های عملیاتی

۸-۱-۲- خروجی های طراحی محصول

۱-۸-۱-۲- برگه مسیر تولید: (روش ساخت)

۱- مخصوص قطعات ساختنی هستند.

۲- تمام مراحل ساخت را نشان می دهند.

۳- انبارها و حمل و نقل ها در آنها نمی آیند چرا که این برگه ها تنها به محصول می پردازند نه فرآیند ساخت.

۴- بازرسی و مراحل ساخت را نشان می دهند.

در این برگه ها:

۱- تعداد ماشین آلات

۲- فضای هر ایستگاه

۳- تعداد کارگران

۴- مواد اولیه و خام و قطعات ثبت می شود.

منتها برگه هستند یعنی تنها نوشته می شود.

۲-۸-۱-۲- برگه های عملیات:

۱- مخصوص قطعات ساختنی است.

۲- نقشه در آن وجود دارد.

۳- تعداد ماشین آلات ثبت نمی شود.

۴- بازرسی ندارند. → برای یک ایستگاه خاص است.

۵- زمان استاندارد تولید در آن نوشته است.

۲-۲- طراحی تولید:

۱- بررسی مشخصات محصول

۲- روش های مختلف تولید محصول

irmgn.ir

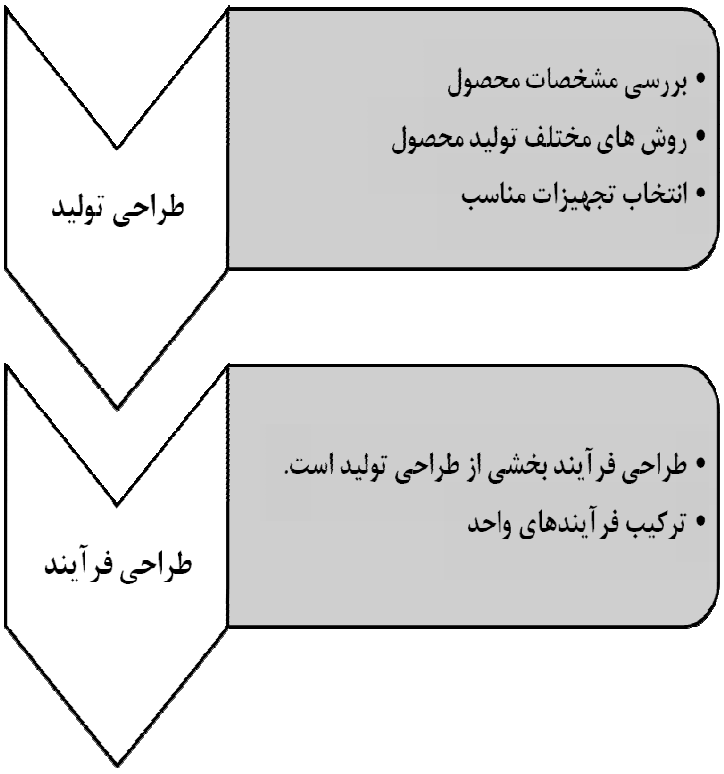
۳- انتخاب تجهیزات مناسب

۱-۲-۲- طراحی فرآیند:

طراحی فرآیند بخشی از طراحی تولید است.

- ✓ ترکیب فرآیندهای واحد
- ✓ فرآیند واحد: عملیاتی ساده که مبنای فرآیند است. مثل: سوراخ کردن، خم کردن.

مدارک و مستندات مرحله ی طراحی فرآیند ← نمودارهای از- به و چند محصولی و ...



شاید بد نباشد یک مرور تا اینجا درس داشته باشیم تا بهتر متوجه شویم که در کدام مرحله از طراحی کارخانه هستیم:

۱- امکان سنجی کردیم ← محصول تولیدی را معلوم کردیم ← با مهندسی محصول ← تعریف فنی محصول

← پس از شناخت محصول ← طراحی تولید و فرآیند ← حالا باید تجهیزات و ماشین آلات را انتخاب

irmgn.ir

کنیم:

۲-۲-۲- مراحل انتخاب ماشین آلات:

۱- مشخص کردن عملیات ساخت
۲- تعیین کلیات نحوه ی استقرار
۳- تعیین درجه اتوماسیون
۴- تعیین درجه استاندارد بودن

← انواع دسته بندی ماشین آلات

۳-۲-۲- عوامل مؤثر در انتخاب ماشین آلات:

۱- حجم و نرخ تولید: ← اگر حجم تولید یا نرخ تولید بالایی داریم باید ماشین ها تخصصی تر باشند. اما حجم تولید کمتر ← ماشین ها عمومی تر می شوند.
۲- تنوع تولید: تنوع تولید عکس نرخ تولید است.
۳- توانایی انجام کار
۴- درجه دقت ماشین : → کیفیت
۵- قابلیت انعطاف ماشین
۶- دوره عمر مفید ماشین
۷- ارزش اسقاط
۸- مطابقت با ماشین آلات موجود
۹- مشخصات فنی یا فیزیکی
۱۰- هزینه های ماشین شامل:

- الف- هزینه های مستقیم ← به عملیات دستگاه مربوط هستند. مثل استهلاک یا نیروی انسانی یا هزینه متغیر تولید
- ب- هزینه غیرمستقیم ← مثل فضا، قطعات یدکی و هزینه های توقف
- ج- هزینه های نامعین ← تغییر در کیفیت مواد، صرفه جویی در کنترل تولید
- د- هزینه های نامحسوس ← مثل امکان دسترسی به لوازم یدکی، امکان تعمیر و . . .

۴-۲-۲- تعیین اتوماسیون دستگاه:

اتوماسیون چیست؟

یعنی اتوماتیک کردن وسایل نسبت به قبل و حرکت به سمت تولید یک محصول به طور اتوماتیک و بدون دخالت کارگر.

irmgn.ir

اهداف اتوماسیون:

۱- ظرفیت تولید را افزایش دهیم.
۲- کاهش هزینه کارگری
۳- بهبود شرایط کار
۴- عملیات و کیفیت تولید

دسته بندی ماشین آلات از لحاظ اتوماسیون:

الف- ماشین آلات دستی:

۱- هر اپراتور به یک ماشین
۲- نیازمند نظارت دائمی اپراتور
۳- ارزان- کم هزینه
۴- نرخ تولید کم

ب- ماشین آلات نیمه دستی یا نیمه اتوماتیک:

۱- نرخ تولید متوسط
۲- وظیفه اپراتور← بارگذاری- تنظیم و تخلیه

ج- ماشین آلات اتوماتیک:

۱- وظیفه اپراتور ← فقط کنترل و تنظیم
۲- بارگذاری و تخلیه توسط خود دستگاه
۳- نرخ تولید بالا
۴- گران و هزینه زیاد
۵- تولید بدون وقفه

د- ماشین های کنترل اتوماتیک یا کاملاً اتوماتیک:

۱- برنامه پذیر بوده و اپراتور هیچ نقشی ندارد.
۲- هزینه سرمایه گذاری بسیار بالاست.
۳- تنظیم و بارگذاری و تخلیه و تمام کارها به عهده دستگاه است.

نکته مهم:

هر چه درجه اتوماسیون بیشتر شود:

۱- تعداد قطعات خراب کمتر می شود
۲- هزینه عملیات کمتر می شود

irmgn.ir

۳- هزینه سرمایه گذاری بیشتر می شود
۴- نرخ تولید بیشتر می شود
۵- قیمت تمام شده محصول در تولید حجم بالا کمتر می شود
۶- ضریب استفاده از ماشین کمتر می شود
۷- انعطاف پذیری کمتر

۵-۲-۲- دسته بندی ماشین آلات از لحاظ استاندارد بودن یا از لحاظ قابلیت انعطاف ماشین آلات:(خاص یا عمومی بودن ماشین)

الف- ماشین آلات استاندارد:

این ماشین ها طوری طراحی می شوند که نیاز اکثر مصرف کنندگان را برطرف می کنند.
مثل: دریل دستی و . . .
ویژگی ها:
۱- عمر زیاد
۲- هزینه کم و ارزان اولیه
۳- کاربرد وسیع
۴- خطر از رده خارج شدن ندارند. (عمر مفید طولانی)
۵- مشکل نگهداری و تعمیرات ندارند و . . .

ب- ماشین آلات یونیورسال (عمومی):

درجه انعطاف پذیری و عمومیت کمتر می شود و قیمت کمی بالاتر می رود.

ج- ماشین های چندکاره:

بر روی تعداد محدودی از قطعات چند کار خاص انجام می دهند. یعنی از درجه اتوماسیون بالایی برای تعداد محدودی از قطعات برخوردارند.
۱- یک سری کار روی یک قطعه
۲- یک کار روی چند سری قطعه
نرخ تولید بالا – هزینه اولیه بالا و . . .

د- ماشین آلات تک کاره:

- یک کار خاص روی تعداد محدودی قطعه (فقط مثلاً پلاستیکی) انجام می شود.
- تیراژ تولید بسیار بالا
- هزینه سرمایه گذاری بالا

ه- ماشین آلات تک منظوره: یک کار خاص روی یک نوع قطعه خاص

irmgn.ir

۱- هزینه عملیاتی کم
۲- هزینه سرمایه گذاری بسیار بالا
۳- ارزش اسقاطی ندارند یا اگر هم دارند مشتری ندارند چرا که خیلی خاص هستند.
۴- کارگر با مهارت زیاد نیاز دارند.
۵- معمولاً گلوگاه خط تولید هستند.

پس با حرکت از ماشین های استاندارد به سمت تک منظورداریم:

هزینه سرمایه گذاری	افزایش
هزینه عملیاتی	کاهش
انعطاف پذیری	کاهش
مهارت موردنیاز کارگر	افزایش
نرخ و حجم تولید	افزایش
مشکلات تعمیرات و نگهداری	افزایش
ارزش اسقاط	کاهش (نسبت به قیمت اولیه)
احتمال توقف خط تولید	افزایش
عمر دستگاه	کاهش

و در یک دسته بندی کلی دیگر داریم:

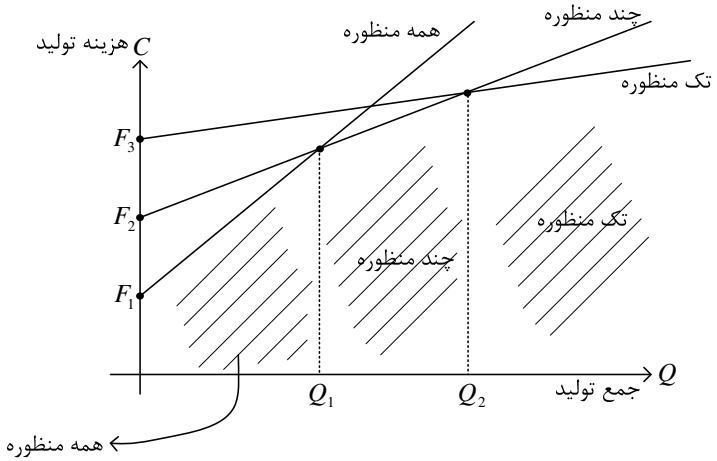
ماشین های همه منظوره ⟵ { استاندارد / عمومی }

ماشین های چند منظوره ⟵ { چند کاره / تک کاره }

ماشین های تک منظوره

۶-۲-۲- استفاده از نمودارهای C-Q جهت تعیین ماشین آلات:

irmgn.ir



نمودارهای C-Q جهت تعیین ماشین آلات

در این نمودارها منظر از Q همان حجم یا مقدار تولید و منظور از C قیمت هر واحد تولید است، مشخص است که در حجم تولید بالا با استفاده از ماشین های تک منظوره هزینه های تولید کاهش می یابند و داریم:

$$C = F + Q.c$$

هزینه متغیر تولید + هزینه ثابت تولید = هزینه کل

۳-۲- روش های استقرار ماشین آلات:

* شیوه استقرار تجهیزات یکی از گام های **طراحی فرآیند** است.

* شیوه استقرار ماشین آلات ارتباط تنگاتنگی با طراحی کارخانه در طراحی جریان مواد، تحلیل رابطه فعالیت ها و تخصیص فضاها دارد.

* شیوه استقرار سنگ زیربنای طراحی جریان مواد است و تا حدودی الگوی کلی آن را معلوم می کند اما یک رابطه رفت و برگشتی بین آنها برقرار می باشد.

۱-۳-۲- انواع روش های استقرار:

۱- استقرار محصولی (خط تولید - Flowshop)
۲- استقرار فرآیندی (کارگاهی- job shop)
۳- استقرار ثبات محل یا پروژه ای
۴- استقرار براساس تکنولوژی گروهی (سلولی- CM)

۱-۱-۳-۲- استقرار محصولی:

ماشین ها با توجه به عملیات هایی که برای ساخت محصول لازم است پشت سر هم قرار می گیرند.

irmgn.ir

چه زمانی استفاده می شود:

الف- حجم تولید بالا

ب- تنوع تولید کم

هزینه متغیر تولید کم ↔ هزینه ثابت بالا

خواص این نوع استقرار:

۱- نظارت و برنامه ریزی ساده است.

۲- حجم تولید بالا

۳- انعطاف کم (تنوع تولید کم)

۴- حمل و نقل و برگشت به عقب کم

۵- بازرسی کمتر (فقط بازرسی نهایی)

۶- موجودی در جریان ساخت کمتر

۷- setuptime کمتر

۸- زمان سیکل کوتاه

۹- کار کارگران تکراری ← خستگی روحی ← مهارت کمتر کارگران

۱۰- انگیزه کار گروهی افزایش می یابد.

۱۱- حتماً باید حجم تولید بالا باشد. (چرا؟)

۱۲- نیاز به سرمایه گذاری بالا زیرا در این نوع اسقرار یک ماشین اگر در چند مرحله تولید نیاز بود بتید حتما به تعداد نیازهایش خریده شود زیرا برگشت به عقب مجاز نیست.

۱۳- توقف خط در صورتی که یک ماشین خراب شود. ← نیازمند سیستم تعمیرات و نگهداری مناسب

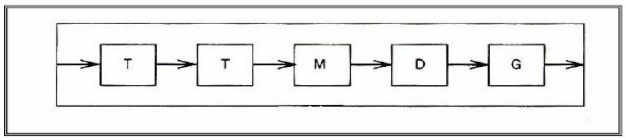
۱۴- وسایل حمل و نقل خاص، پیوسته و کوتاه و ثابت

۱۵- کاهش پراکندگی در سطح کارخانه و افزایش فضای در دسترس برای اختصاص به راهروها و انبار عملیات باید:

- ✓ متداول ← توازن سرعت ← عدم گلوگاه
- ✓ پیوسته ← تولید مستمر و نبود خرابی باشد.

ماشین ها ← تک کاره هستند ← ورودی زیاد و خروجی کم

روش تولید Make to stock است.



استقرار محصولی

irmgn.ir

۲-۱-۳-۲-استقرار فرآیندی (کارگاهی):

براساس نوع ماشین آلات تقسیم بندی صورت می گیرد. در این نوع استقرار ماشین آلات بر اساس نوعشان در کارهایی قرار می گیرند.

خواص این نوع اسقرار:

۱- تنوع تولید زیاد

۲- حجم تولید کم

۳- زمان انجام عملیات متغیر

۴- ماشین آلات سنگین و گران ← اما سرمایه گذاری کمتر ← چرا؟

۵- به خاطر تنوع کار، کارآیی کارگران افزایش می یابد.

۶- از کارافتادگی یک ماشین باعث توقف خط نمی شود.

۷- WIP بالا

۸- امکان تغییر در ترتیب عملیات

۹- افزایش حمل و نقل

۱۰- بازرسی زیاد

۱۱- کارگر ماهر نیاز است.

۱۲- فضای زیادی می خواهد

۱۳- افزایش ضایعات

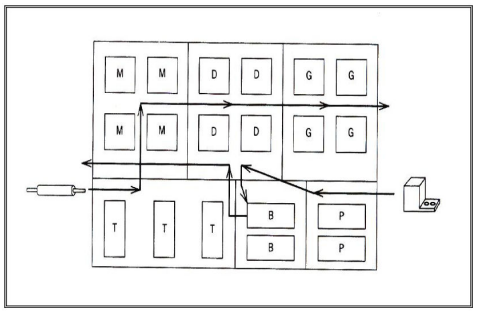
۱۴- تعیین قیمت تمام شده سخت تر است.

۱۵- افزایش زمان راه اندازی

ماشین ها:

- ✓ چندکاره
- ✓ برنامه ریزی و کنترل سخت تر است.

در این سیستم به دلیل تنوع کار کارآیی و درجه کارگران بالاتر می رود اما انگیزه کار گروهی ندارند.



irmgn.ir

استقرار فرآیندی

مقایسه دو روش محصولی و کارگاهی:

	محصولی	کارگاهی
حجم تولید	بالا	پایین
تنوع تولید	کم	زیاد
WIP	کم	زیاد
حمل و نقل	کم	زیاد
برنامه ریزی تولید	راحت	سخت
برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری	جامع و مانع (کامل)	راحت تر
مهارت کارگر	کم	زیاد
فضای اشغال شده	کم	زیاد
زمان سیکل تولید	کوتاه	بلند
کل زمان های راه اندازی	کم	زیاد
هزینه متغیر تولید	کم	زیاد
هزینه ثابت تولید (حجم سرمایه گذاری)	زیاد	کم
گسترش کارخانه	سخت	ساده

۳-۱-۳-۲-استقرار براساس ثبات محل:

در این روش تمام عملیات ها توسط یک یا گروهی کارگر انجام شده و محصول ثابت و ماشین آلات و کارگران روی آن کار می کنند.

۱- حداقل حمل و نقل مواد

۲- عدم تولید انبوه

۳- عدم بازده مناسب

۴- لزوم مهارت کارگران ← چون یک کارگر باید با چندین ماشین کار کند.

۵- ماشین آلات ساده ← چند منظوره و متحرک

۶- تنوع بالا

۷- سفارش کم

۸- زمان تولید طولانی

۴-۱-۳-۲-روش استقرار گروهی (سلولی):

irmgn.ir

۱- تقسیم بندی براساس شباهت میان قطعات انجام می شود در حالی که در job shop شباهت ها ی ماشین آلات مبنای تقسیم بندی بود.
مثلاً قطعاتی که از هر لحاظی مثل اندازه یا روش تولید یا جنس یا . . . مشابه هستند در یک سلول قرار می گیرند و برای هر خانواده یا گروه یک شبه خط تولید دورن سلول ایجاد می شود.
* در واقع ترکیبی از خط تولید و روش کارگاهی است.
* استفاده از استقرار محصولی در سیستم استقرار کارگاهی

مقایسه روش های کارگاهی، سلولی و خط تولید:

۱- در روش کارگاهی زمان بندی و کنترل مشکل است زیرا:
۱- محصولات تولید شده دارای ترتیب عملیات مختلف و متفاوت هستند.
۲- وقتی پردازش قطعه در یک مرحله تمام می شود، معمولاً قطعه بایستی مسیر نسبتاً طولانی را برای رسیدن به مرحله بعد طی کند. (زمان تولید طولانی)
و اگر قطعات به طور دسته ای جابجا شوند که هر قطعه باید صبر کند تا کل محموله پر شود (WIP) پس:
تولیدکارگاهی منجر به زمان تولید طولانی، WIP زیاد و هزینه متغیر و نرخ تولید کم می شود.
۲- از سوی دیگر محدودیت اصلی روش خط تولید ← عدم انعطاف پذیری بود.
به علت ماشین های ویژه و تخصصی جهت انجام عملیات محدود.
سلولی یک سیستم ترکیبی است که مزایای هر دو روش خط تولید و کارگاهی را دارد.
«هم منعطف و هم حجم تولید بالا»
در jobshop ← ماشین ها براساس شباهت در وظیفه شان در گروه هایی قرار می گیرند. پس:
همه ی ماشین های یک گروه (کارگاه) یک وظیفه دارند.
اما در روش سلولی: ماشین آلات در سلول هایی قرار می گیرند که هر سلول نمایان گر یک خانواده قطعه است و نوعاً هر ماشین درون سلول وظایف غیرمشابه دارند.
ماشین ها در سلولی ← (چند منظوره هستند)

مزایای تولید سلولی:

۱- کاهش زمان راه اندازی
۲- کاهش اندازه دسته تولیدی ← تولید در تعداد کم هم به صرفه است.
۳- کاهش WIP
۴- کاهش هزینه حمل و نقل
۵- کاهش زمان جریان ساخت

irmgn.ir

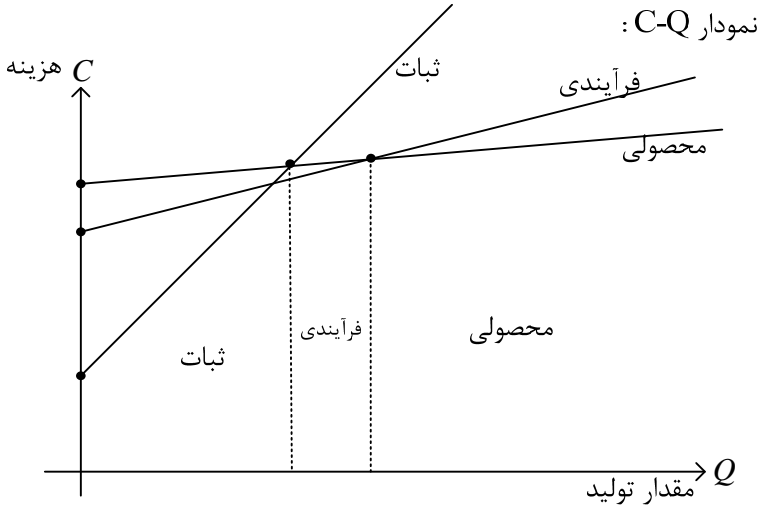
۶- کاهش فضای موردنیاز

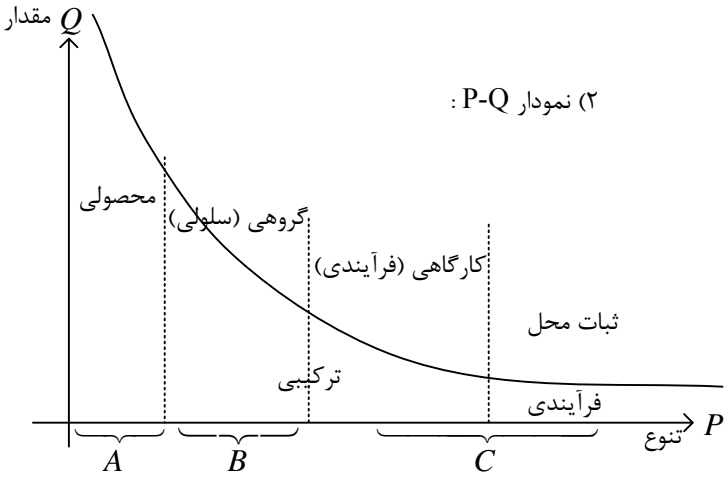
۷- بهبود کیفیت ← عدم اشتباه در مسیر قطعه

کمترین بازده مربوط به روش ثبات محل است.

۲-۳-۲-تکنیک های تعیین روش استقرار:

۱) نمودار C-Q :





۲) نمودار P-Q :

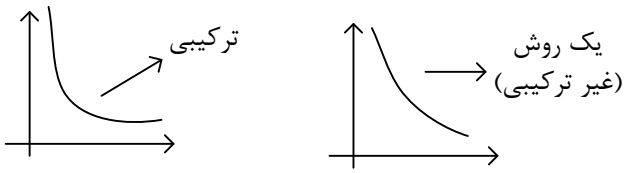
نکات:

۱- Q/P بزرگ باشد ← روش محصولی

۲- هرگاه منحنی به مرکز مختصات نزدیک تر می شود. از روش های ترکیبی استفاده می کنیم.

irmgn.ir

۳- اما اگر منحنی از مرکز دور شود ← از یک روش استقرار استفاده می کنیم.



مثال: کارخانه ای می خواهد استقرار ماشین آلاتش را بررسی کند،

* هزینه ثابت برای خط تولید ۴۶ برابر کارگاهی و برای ترکیبی ۱۰ برابر کارگاهی است.

* هزینه متغیر تولید در کارگاهی ۱۰ برابر خط تولید و برای ترکیبی ۴ برابر خط تولید است.

تعیین کنید میزان تولید برای هنگامی که تصمیم به ایجاد خط تولید گرفته باشیم چند برابر زمانی است که تصمیم به ایجاد ترکیبی گرفته ایم.

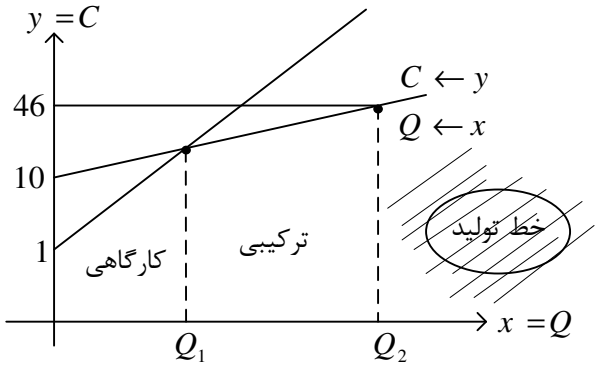
$C \leftarrow$ خط تولید

$B \leftarrow$ ترکیبی

$A \leftarrow$ کارگاهی

ثابت $\begin{cases} F_C = 46F_A \\ F_B = 10F_A \end{cases}$ و متغیر $\begin{cases} V_A = 10VC \\ V_B = 4VC \end{cases}$

$$\Rightarrow y_A = 10x + 1$$
$$y_B = 4x + 10$$
$$y_C = x + 46$$



یعنی مجهول مسئله Q_2/Q_1 است:

irmgn.ir

$$\left.\begin{array}{l} Q_1 \Rightarrow 10x+1=4x+10 \Rightarrow Q_1=\dfrac{9}{6} \\ Q_2 \Rightarrow 40x+10=x+46 \Rightarrow Q_2=12 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1}=\frac{12}{\frac{9}{6}}=8$$ برابر

فصل سوم

طراحی جریان مواد و روابط فعالیت ها

تا این جا امکان سنجی کردیم ← انتخاب محصول انجام شد ← با مهندسی محصول به تعریف فنی محصول پرداختیم.

پس از آن نوع استقرار کارخانه هم معلوم شد ← با توجه به نوع استقرار، نوع ماشین آلات هم معلوم شد.

پس از تهیه استقرار باید در مورد الگوهای جریان مواد و سیستم حمل و نقل هم اظهارنظر کنیم. ⟵

- استقرار محصولی ←تک کاره
- استقرار فرآیندی ←چند کاره
- ثابت ←سبک و ساده
- گروهی ←چند منظوره یا چند کاره

حالا به بررسی جریان مواد می پردازیم:

irmgn.ir

نمودارهایی و برگه هایی که تا این جا داشتیم برای بررسی محصول بود اما حالا نمودارهایی که اینجا می گوئیم برای جریان مواد و فرآیند است.

تعریف جریان مواد: حرکت عناصر (مواد، قطعات و ...) از مرحله شروع کار (قسمت دریافت) تا خروج (قسمت ارسال) با هدف اینکه حرکت عناصر در بهترین شکل و مسیر ممکن انجام شود.

۳-۱- عوامل مؤثر در طراحی جریان مواد:

۱- مقدار تولید← هیچ عاملی به اندازه میزان تولید بر روی طرح کارخانه اثر نمی گذارد.

۲- نوع استقرار ماشین آلات

۳- تعداد عملیاتی که باید بر روی هر قطعه انجام شود.

۴- انبارها

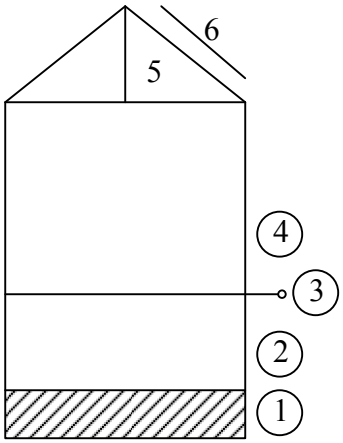
۵- انعطاف پذیری مورد نیاز

۶- زمان در دسترس

و . . .

۳-۲- سطح فعالیت در کارخانه:

برای طراحی یک جریان مواد خوب می بایست ابتدا سطوحی که می توانیم از آنها استفاده کنیم را بشناسیم:



irmgn.ir

بطور کلی ۶ سطح فعالیت داریم:

۱- سطح زیر زمین← وسایل گرمایش و تأسیسات

۲- سطح همکف← انبار- تسهیلات و امداد

۳- سطح حرکت محصول← فرضی و حدود یک متر بالاتر از سطح زمین و قطعات در این سطح از ماشین آلات عبور می کنند.

۴- سطح آزاد← از بالاترین ماشین تا پائین ترین خرپای سقف← محل عبور نقاله ها و وسایل حمل ونقل

۵- سطح اسکلت فلزی← از پائین ترین سطح اسکلت فلزی تا بالاترین← زیر سقف را شامل می شود← سیم کشی و . . .

۶- سطح پشت بام← کولر و تأسیسات

سطوح فعالیت را به این دلیل گفتیم که می توان از آنها برای انتقال مواد استفاده کرد.

نکته دیگر:

در تعیین محل بخش های تولیدی عوامل زیر مؤثر هستند:

۱- تعداد قطعاتی که باید در هر دوره زمانی منتقل شوند.

۲- وزن هر قطعه

۳- وزنی که پس از انجام هر عملیات از قطعه کاسته می شود.

۴- فواصلی که باید مواد خام، نیم ساخته و ضایعات انتقال یابند.

نکته: الگوی جریان با روش استقرار ارتباط تنگاتنگی دارد، اما عوامل دیگری نیز تأثیر گذارند و به طور قطعی نمی توان از روی الگوی جریان مواد به روش استقرار یا بالعکس پی برد.

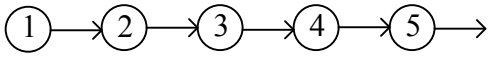
۳-۳- انواع الگوهای جریان مواد:

۱- افقی← جریان مواد در یک طبقه ←اینها الگوی جریان مواد هستند و لزوماً نوع قرارگیری ماشین آلات نیستند.

۲- عمودی← جریان مواد در طبقات مختلف ← با طرح استقرار قاطی نکنید!

۳- ترکیبی← ترکیبی از دو حالت

الگوهای افقی متداول:



۱-۳-۳- الگوی خط مستقیم:

۱- زمانی که فرآیند ساده و کوتاه باشد.

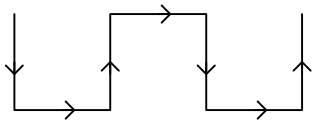
۲- ماشین آلات کم باشند.

۳- تعداد اجزای تشکیل دهنده محصول کم باشند.

irmgn.ir

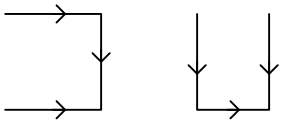
۴- ۴- وقتی دو قسمت دریافت و ارسال در مقابل هم باشند.

۲-۳-۳- الگوی زیگزاگ:



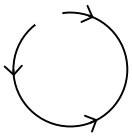
۱- زمانی که ماشین آلات زیاد و فضا کم باشد.
۲- خط تولید نسبت به فضای موجود طولانی باشد.
۳- تعداد عملیات خیلی زیاد باشند.

۳-۳-۳- الگوی u شکل:



۱- تسهیلات حمل ونقل در یک طرف کارخانه.
۲- در مراحل اول و آخر از وسایل مشترک استفاده شود.
۳- وقتی تجهیزات مورد نیاز برای دریافت و ارسال پر هزینه باشند و لازم باشد در کنار هم قرار گیرند.
۴- استفاده مؤثر از فضا.
۵- نظارت و سرپرستی بیشتر و راحت تر.
۶- خط تولید طولانی
۷- انعطاف پذیری بالا

۴-۳-۳- الگوی دایره ای شکل:



۱- محصول دقیقاً به محل شروع عملیات بازگردد.
۲- قسمت دریافت و ارسال دقیقاً در یک محل قرار گیرد.
۳- از یک ماشین دو بار استفاده شود.
۴- یک کارگر می تواند چندین ماشین را سرویس دهد.

irmgn.ir

۵-۳-۳- الگوی L شکل:

۱- زمانی که محدودیت فضا یا طول داریم.
۲- به دلیل امکانات موجود نمی توان خط مستقیم را پیاده کرد.

۶-۳-۳- الگوی نامنظم:

۱- بدلیل محدودیت فضا، نتوانیم الگوی خاصی را پیاده کنیم.
۲- هدف از ایجاد این الگو← کوتاهترین فاصله بین قسمت های مرتبط کارخانه و بیشترین استفاده از فضا.
۳- وقتی که تعداد مونتاژهای فرعی بالا باشد.
۴- بهتر است در این سیستم ها از سیستم حمل ونقل اتوماتیک استفاده شود.

چند نکته:

الف- مقایسه الگوی u شکل و دایره ای:

۱- در الگوی دایره ای دقیقاً به محل اول باز می گردیم.
۲- در الگوی دایره ای محل دریافت و ارسال دقیقاً در یک نقطه است.
۳- در الگوی u شکل تنها در یک طرف قرار دارند.
۴- شباهت: یک کارگر می تواند چندین ماشین را سرویس دهد.

در نهایت اینکه عوامل مؤثر بر شکل الگوی جریان مواد:

۱- محل قسمت های دریافت و ارسال
۲- تعداد اجزای محصول و یا متغیر بودن آنها
۳- تعداد دپارتمان ها و فرآیند ها یا متغیر بودن آنها
۴- تنوع روشهای انتقال مواد در کارخانه
۵- محل و پیکر بندی کارخانه

در درس طرح ریزی سه نوع نمودار داشتیم:

۱- برگه ها و نمودارها و لیست هایی که به معرفی محصول و فرآیند آن می پردازند. مثل :

۱- نقشه های اجزا و قطعات
۲- نقشه های انفجاری (نقشه مونتاژ)
۳- لیست قطعات Partlist

irmgn.ir

۴- لیست مواد Bom
۵- برگ مسیر تولید
۶- برگ عملیاتی

که اینها را در بحث مربوط به طراحی محصول توضیح دادیم.

۲- نمودارهایی که به تجزیه و تحلیل جریان مواد می پردازند:← ابزارهای تجزیه و تحلیل جریان مواد

۱- نمودار مونتاژ← با نقشه مونتاژ اشتباه گرفته نشود.
۲- نمودار شدت جریان
۳- شکل ریسمانی
۴- شکل جریان (FD)
۵- نمودار از – به
۶- مسیر بحرانی
۷- نمودار فرآیند چند محصولی
۸- نمودار فرآیند عملیات OPC
۹- نمودار فرآیند
۱۰- نمودار فرآیند جریان FPC
۱۱- نمودار تقدم و تأخر

۳- نمودار ها و دیاگرام هایی که به بررسی رابطه میان فعالیت ها می پردازند. مثل:

۱- نمودار رابطه فعالیت ها
۲- دیاگرام رابطه فعالیت ها
۳- دیاگرام رابطه بین فضا
۴- دیاگرام بلوکی

در ادامه نمودار های نوع دوم و سوم را شرح می دهیم:

۴-۳- نمودارهایی که به تجزیه و تحلیل جریان مواد می پردازند:

۱-۴-۳- نمودار مونتاژ Assembly Chart: → نمودار اولیه برای طرح ریزی جریان مواد.

۱- از BOM و Partlist برای رسم آن استفاده می شود.
۲- این نمودار تصویری از چگونگی سوار کردن قطعات بر روی هم را از ابتدا تا تشکیل محصول نشان می دهد:

۱- محصول از چه قطعاتی تشکیل شده است؟

irmgn.ir

۲- قطعات چگونه به هم پیوند می خورند؟
۳- قطعات چگونه به خط وارد می شوند؟
۴- تصویر کلی عملیات مونتاژ را نشان می دهد.
۵- الگوی کلی جریان مواد به چه شکلی است و چه مشخصاتی دارد.
۶- مونتاژ های فرعی را هم در بر می گیرد.

قدم اول← انتخاب قطعه اصلی است.

نکته:

۱- بازرسی ها را نشان می دهد.
۲- تصویر کلی از فرآیند محصول را میدهد.
۳- جریان قطعات برگشتی را هم نشان می دهد.
۴- مدت زمان انجام عملیات را هم نشان می دهد.
۵- هر قطعه هنگام ورود به نمودار با شماره مشخص می شود.
۶- مواد فله ای به صورت جدا و بدون شماره در نمودار اضافه می شوند.

۲-۴-۳- نمودار فرآیند عملیات OPC :

Operation Process Chart

تکمیل شده نمودار مونتاژ است و علاوه بر ترتیب سوار کردن قطعات، کلیه عملیات و بازرسی را هم نشان می دهد و به همین دلیل دید بهتری از الگوی جریان مواد بدست می دهد.

۲- فرآیند عملیات تولید یک محصول را یک به یک نشان می دهد.

۳- کلیه عملیات های انجام شده ثبت می شوند.

۴- همان نمودار مونتاژ است که مراحل ساخت را هم نشان می دهد.

OPC = برگه مسیر + نمودار مونتاژ

۵- پس مثل برگه مسیر در آن حمل ونقل ها، انبارداری ها و تأخیر ها نمی آیند.

اما زمان استاندارد- تجهیزات لازم- روش تولید- توالی عملیات- زمان های آماده سازی، تعداد ماشین مورد نیاز، تعداد کارگرها و . . . در آن می آید.

۶- در واقع باز شده ی نمودار مونتاژ است که در آن ترتیب و توالی عملیات ها نشان داه می شود. پس:

۱- توالی و ترتیب عملیات روی هر قطعه را نشان می دهد.
۲- پیچیدگی های ساخت محصول را نمایش می دهد.
۳- نشان دادن ترتیب و ساخت مونتاژ های فرعی ⇐ شمای کلی از فرآیند تولید الگوی جریان مواد را می دهد.

irmgn.ir

۴- نشان دهندهٔ طول تقریبی خط و فضای لازم

۵- نشان دادن چگونگی تمرکز ماشین ها، تجهیزات و ابزار و افراد در محل

نکته: علاوه بر ترتیب سوار کردن قطعات ، کلیه عملیات ها ، بازرسی ها در طول فرآیند را نشان می دهد.

نکته:

Partlist + Bom = نمودار مونتاژ

برگه مسیر + نمودار مونتاژ = نمودار فرآیندعملیات (OPC)

برگه مسیر + Partlist + Bom = OPC ⇒

۳-۴-۳- نمودار فرآیند: ← از نمودار مونتاژ و OPC اطلاعات کامل تری دارد.

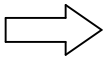
۱- تمام عملیات ها، بازرسی ها، حمل ونقل ها، تأخیر ها و انبارها را نمایش می دهد.

۲- ثبت کلیه مراحل فرآیند

۳- بررسی جزئیات عملیات

۴- از نمادهای زیر برای نمایش فعالیت های مختف استفاده می کند:

عملیات


حرکت مواد- حمل ونقل

بازرسی ها

تأخیرها

انبارها

Mix این اشکال می شود همزمان انجام دادن ۲ کار

نمودار فرآیند = (تأخیر ها، انبار و . . .) + OPC + نمودار مونتاژ

نکته مهم: با استفاده از نمودار فرآیند می توان برای تخمین هزینه ها و تجزیه و تحلیل جریان مواد و در نهایت مقایسه گزینه های مختلف اقدام کرد ← به عنوان ابزاری برای بهبود فعالیت ها هم می تواند باشد.

۴-۴-۳- نمودار فرآیند جریان: FPC

کامل ترین وسیله برای نشان دادن فعالیت ها بر روی یک محصول

irmgn.ir

* در واقع FPC همان نمودار فرآیند است که تنها یک محصول رسم می شود.
* FPC = نمودار فرآیند + opc ⇐ در واقع یک نمودار فرآیند عملیات است که از نمادهای نمودار فرآیند در آن استفاده شده است.

۵-۴-۳- نمودار شدت جریان:

۱- برای تحلیل عملیات تولید در صنایع غیر مونتاژ استفاده می شود.
۲- تفاوت صنایع مونتاژ با صنایع تولیدی← در صنایع تولید شکل یا ماهیت قطعه در حین عملیات تغییر می کند.
۳- میزان ورودی- خروجی- ضایعات و ته قیچی را نمایش می دهد.

۶-۴-۳- نمودار فرآیند چند محصولی: → زمانی استفاده می شود که تنوع محصول داریم: (MPC)

۱- حمل و نقل ها، انبارها، تأخیر ها و بازرسی ها در این نمودار نمی آیند.
۲- جهت تولید جدول از – به کاربرد دارد.
۳- مسیر تولید قطعات مختلف، میزان برگشت به عقب ها و لزوم نزدیکی برخی بخش ها به هم و . . .
نمودار چند محصولی = (احیاناً بخشی از OPC) + برگ مسیر + Bom + Partlist

۷-۴-۳- نمودار ریسمانی:

۱- جهت آگاهی از جریان کلی مواد در کارخانه از نمودار ریسمانی استفاده می شود.
۲- مسیر حرکت هر یک از عناصر به کمک ریسمان نشان داده می شود.
۳- پیش نیاز آن نقشه کارخانه است.

۸-۴-۳- دیاگرام جریان (نقشه جریان یا شکل جریان): FD

۱- رسم نمودار FPC (نمودار فرآیند جریان) در نقشه طرح استقرار
۲- کلیه عملیات ها، بازرسی ها، حمل ونقل ها، تأخیر ها و انبارها را روی شکل با مقیاس مناسب از کارخانه نمایش می دهند.
۳- برگشت به عقب ها را هم نمایش می دهد.
۴- مسیر حرکت قطعه را هم نمایش می دهد.
۵- برای تجزیه و تحلیل و بهبود فعالیت ها از آن استفاده می شود. → مثل نمودار فرآیند.

۹-۴-۳- نمودار تقدم و تأخیر:

irmgn.ir

۱- رابطه ی تقدم و تأخر بین فعالیت ها را نمایش می دهد.
۲- برای بالانس خط تولید کاربرد دارد.
۳- بر خلاف مونتاژ و OPC تنها محدودیت هایی تکنیکی (یعنی تقدم و تأخر کارها) را نمایش داده و هیچ ثبتی در ارتباط با حرکت مواد و قطعات و جایابی و جانمایی صورت نمی گیرد.

۱۰-۴-۳- نمودار از – به:

* در طرح ریزی ماشین آلات و بررسی انتقال مواد به کار می رود.
* نمودار سفر هم نام دارد.
- بیشتر در استقرار فرآیندی کاربرد دارد← چرا؟
- به شکل یک ماتریس است← اعداد بالای قطر اصلی (حرکت مستقیم) و اعداد زیر قطر اصلی حرکت رو به عقب است← روی قطب اصلی صفر است.
- وقتی استقرار خطی باشد آنگاه برگشت به عقب مفهوم دارد.
- در تجزیه و تحلیل و بهبود جریان مواد و فعالیت ها کاربرد دارد.
- در تعیین محل قرارگیری بخش ها← این که کدام بخش ها با هم بیشترین ارتباط را دارند.

	A	B	C
A	0	20	10
B	10	0	25
C	5	5	0

- هزینه حمل ونقل
- مسافت حمل ونقل
- تعداد دفعات رفت و آمد
- تعداد پالت ها

۱۰-۴-۳- معیار کارآمدی در نمودار از – به:

جریان برگشتی ↑ $\begin{pmatrix} \text{ردیف اول زیر قطر اصلی} \times 2 \\ \text{ردیف دوم زیر قطر} \times 4 \\ \vdots \end{pmatrix}$ + $\begin{pmatrix} \text{ردیف اول بالای قطر اصلی} \times 1 \\ \text{ردیف دوم} \times 2 \\ \text{ردیف سوم} \times 3 \end{pmatrix}$ ↑ به صورت قطری

مثلاً اینجا داریم: $((20+25)+10\times 2)=65)+\big((15\times 2)+(5/4)=50)\big)=115$

- گاهی در تست ها می خواهند با جابجایی در بخش ها بهبود ایجاد شود:

irmgn.ir

فرض تغییر جای A , C

	A	B	C
A	0	20	10
B	10	0	25
C	5	5	0

یک بار به صورت عمودی و یک بار به صورت افقی جابجایی انجام می دهیم:

⟶

	C	B	A
A	0	20	0
B	25	0	10
C	10	5	5

⟶

	C	B	A
C	0	5	5
B	25	0	10
C	10	20	0

معایب نمودار از – به:

۱- ارتباطات کیفی را در بر نمی گیرد.

۲- ارتباط میان بخش های تولیدی – تولیدی و خدماتی – خدماتی را نمایش می دهد اما بخش های تولیدی- خدماتی را نمایش نمی دهد.

۳- در بررسی نمودار از – به استقرار ماشین ها خطی فرض می شود.

۵-۳- ابزار شناخت روابط میان فعالیت ها

حالا به معرفی نمودارهایی می پردازیم که روابط میان بخش ها و فعالیت ها را نمایش می دهند و کاری به بخش های تولیدی ندارند:

۱-۵-۳- نمودار رابطه فعالیت ها:

۱- در بررسی روابط فعالیت ها طبقه بندی زیر را برای اهمیت داریم:

A ← 6 ← مطلقاً ضروری← Absolutply

E ← 5 ← تأکید می شود. ← Especially Imp

I ← 4 ← مهم ← Impon

irmgn.ir

O ← 3 ← اختیاری ← ordinary

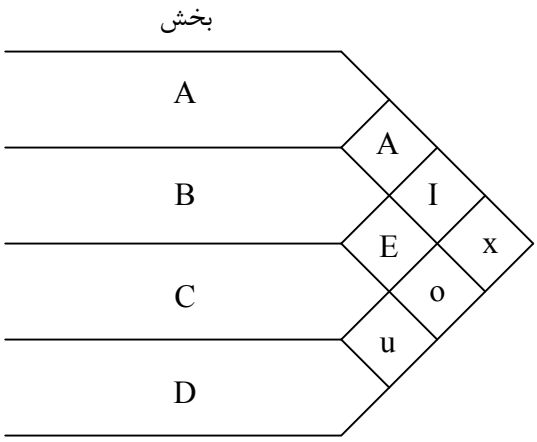
u ← 2 ← مهم نیست ← un Imp

X ← 0 ← ابداً

۲- این نمودار نشان دهنده اهمیت نسبی قرار گرفتن بخش ها در کنار یکدیگر است.

۳- مقدمه ای برای رسم دیاگرام رابطه ی فعالیت ها است.

۴- تعیین استقرار مراکز کار و بخش ها و . . .



۲-۵-۳- دیاگرام رابطه بین فعالیت ها:

۱- بیان گرافیکی نمودار رابطه بین فعالیت ها ست.

۲- دیاگرام نخی هم می گویند.

۳- به ازای هر حرف (A , E , . . .) نخ می گذاریم:

A ← ۴ خط

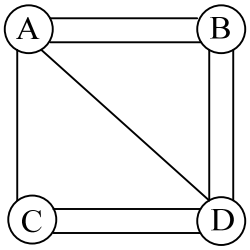
E ← ۳ خط

I ← ۲ خط

o ← ۱ خط

u ← نمایش نمی دهیم

x ← یک خط شکسته



۳-۵-۳- دیاگرام رابطه ی بین فضاها:

۱- در این دیاگرام اندازه واقعی فضا هم مشخص می شود.

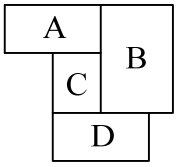
۲- در واقع همان دیاگرام نخی است که مقیاس دارد. → درست مثل نمودارهای جریان یا دیاگرام جریان

۴-۵-۳- دیاگرام بلوکه ای:

irmgn.ir

۱- نخ ها را حذف کرده و با حفظ میزان و شدت ارتباط دیاگرام بلوکه ای را رسم می کنیم.

۲- یک نقشه استقرار بدون ذکر جزئیات با مقیاس



نکته: نمودار رابطه ی فعالیت ها ⟵ دیاگرام رابطه ی فعالیت ها (دیاگرام نخی) ⟵ دیاگرام رابطه ی بین فضا

↓ با نمودار ریسمانی اشتباه نشود

↓ دیاگرام بلوکه ای

نکته:

در نمودارهای:

۱- شکل جریان و دیاگرام بلوکه ای ← مقیاسی از کارخانه یا نقشه استقرار را می توان دید.

۲-

- ✓ FPC
- ✓ فرآیند چند محصولی
- ✓ مونتاژ
- ✓ فرآیند

تجزیه و تحلیل جریان مواد ساده تر است.

۳-

- ✓ مونتاژ
- ✓ چند محصولی
- ✓ دیاگرام جریان
- ✓ از – به

برگشت به عقب (جریان قطعات برگشتی) نمایش داده می شود.

۴-

- ✓ FPC
- ✓ نمودار فرآیند

تأخیرها و انبار ها می آید.

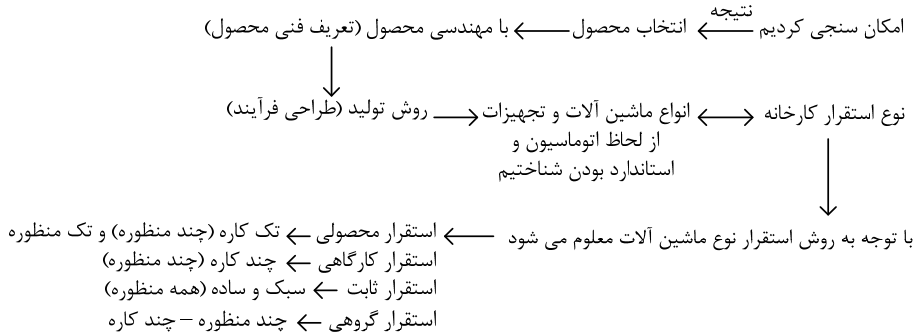
irmgn.ir

فصل چهارم

محاسبه ی تعداد ماشین آلات و نیروی انسانی موردنیاز

تا این جا برای طراحی یک کارخانه:

irmgn.ir



حال در این فصل به موارد زیر می پردازیم:

۱- محاسبه ی ضایعات و تعداد خرابی ها در خط تولید (مدل های افت در خط تولید)

۲- محاسبه ی تعداد ماشین آلات

۳- محاسبه ی تعداد نیروی انسانی

۴- مسائل تداخل انسان و ماشین (سرویس دهی همزمان یک کارگر بر چندین ماشین)

۱-۴- محاسبه ی خرابی ها (مدل های افت در خط تولید):

اولین قدم برای محاسبه تعداد ماشین آلات موردنیاز برآورد میزان ضایعات در خط تولید می باشد. در واقع در هنگام محاسبه تعداد ماشین آلات نیاز داریم بدانیم در هر مرحله روی چند قطعه قرار است کار انجام شود. خرابی ها یا ضایعات به چند دسته تقسیم می شوند:

الف) قطعاتی که پس از انجام عمل بازرسی در صورت خراب بودن دور ریخته می شوند.

ب) قطعاتی که پس از بازرسی در صورت خراب بودن برای دوباره کاری به همان ایستگاه باز می گردد.

ج) قطعاتی که پس از بازرسی در صورت خرابی به دو یا چند ایستگاه قبل تر برگردانده می شوند.

معرفی چند پارامتر:

N ← تعداد قطعات سالم پس از n مرحله

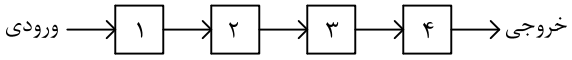
n ← تعداد مراحل تولید

P_n ← درصد (احتمال) معیوب شدن قطعه در مرحله ی n ام

X_n ← تعداد قطعات موردنیاز ورودی به مرحله ی n ام (تعداد قطعاتی که باید به مرحله n ام وارد شوند)

حال فرض کنید خط تولید زیر را داریم که از ۴ مرحله تشکیل شده است:

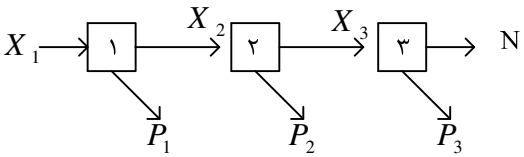
irmgn.ir



هدف ما در این فصل محاسبه ی تعداد قطعاتی است که در هر ایستگاه روی آنها کار انجام می شود. یعنی در واقع ما برای محاسبه تعداد ماشین آلات نیاز داریم که بدانیم در هر مرحله برای رسیدن به خروجی لازم چند قطعه باید وارد خط شوند یا چند قطعه باید وارد ماشین شود. در ادامه مثال برای هر یک از ۳ حالت خرابی را مشاهده کرده و پس از آن به شرح روش محاسبه می پردازیم.

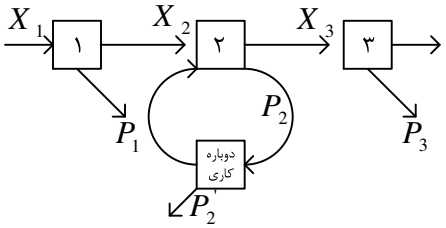
حالت اول:

- قطعات ضایعاتی دور ریخته می شوند.



حالت دوم:

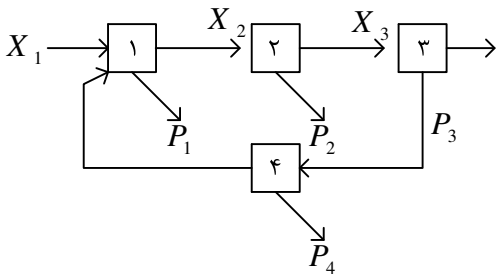
- قطعات در همان ایستگاه دوباره کاری می شوند.



حالت سوم:

- قطعه به چندین ایستگاه عقب تر باز می گردد.

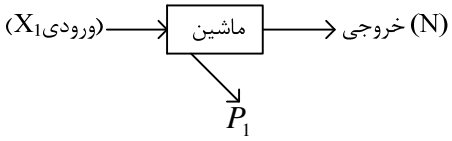
irmgn.ir



حال به شرح محاسبات هر حالت می پردازیم:

۱-۱-۴- حالت اول:

- در این حالت قطعات در صورت خرابی دور ریخته می شوند.
- هدف: تعیین تعداد ورودی ها جهت رسیدن به خروجی موردنیاز است با توجه به درصد ضایعات.
- روش حل: فرض کنید یک دستگاه داریم با P_1 درصد ضایعات و N قطعه موردنیاز در خروجی، در این شرایط می خواهیم تعداد ورودی ها را طوری تعیین کنیم که با توجه به میزان ضایعات به مقدار N (خروجی) برسیم:

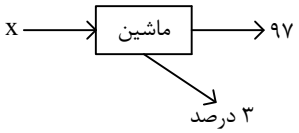


- راه حل یک محاسبه احتمالی ساده است:

$$\text{ورودی} = \frac{\text{خروجی}}{(\text{ضایعات} - ۱)} = \frac{\text{خروجی}}{\text{احتمال سلامت قطعه}}$$

$$\Rightarrow X_i = \frac{N_i}{1-P_i}$$

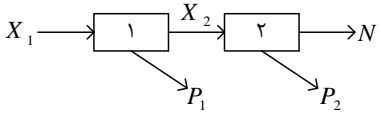
مثلاً در شرایط زیر میزان ورودی دستگاه چقدر باشد تا به خروجی ۹۷ قطعه برسیم:



$$\longrightarrow X = \frac{97}{(0.97)} = 100$$

حال میزان شرایط یک دستگاه را به دو و سپس چند ایستگاه تعمیم می دهیم:

irmgn.ir



$$\text{ورودی ایستگاه اول} = \frac{X_2}{\text{(درصد قطعات سالم)}} = \frac{X_2}{1-P_1}$$

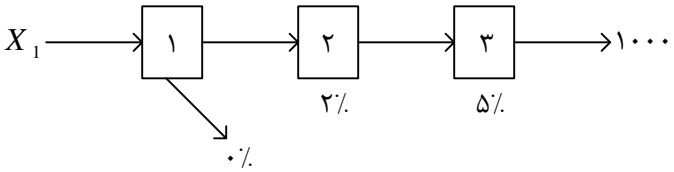
$$\text{ورودی ایستگاه دوم} = \frac{N}{1-P_2}$$

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= \frac{X_2}{(1-P_1)} \\ X_2 &= \frac{N}{(1-P_2)} \end{aligned}\right\} \Rightarrow X_1 = \frac{N}{(1-P_1)(1-P_2)}$$

پس در حالت کلی داریم:

$$\text{ورودی اول خط } X_1 = \frac{N\ (\text{خروجی نهایی})}{\prod_i (1-P_i)}$$

مثال: قطعه ی به صورت زیر تحت ۳ مرحله ساخته می شود. تعداد ۱۰۰۰ قطعه سالم موردنیاز است. چنانچه مواد اولیه هر قطعه ۱/۷ کیلوگرم باشد. چند کیلو ماده اولیه نیاز داریم؟ همچنین معین کنید اگر ۱۰۰۰ قطعه در مرحله ی اول وارد شود خروجی نهایی چقدر خواهد بود؟



(۱) $X_1 = \frac{1000}{1\times(0.98)\times(0.95)} = 1074$ قطعات مورد نیاز در مرحله اول برای ۱۰۰۰ قطعه سالم در انتها

$1074\times1.7 = 1825.8$ کیلو

(۲) $1000\times(1\times0.98\times0.95) = 931$ خروجی نهایی

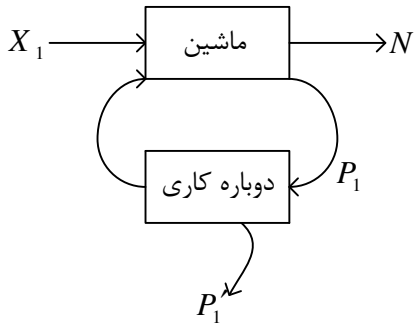
۲-۱-۴- حالت دوم:

- در این حالت قطعات معیوب پس از بازرسی دوباره کاری می شوند، در این شرایط ۲ حالت ممکن است پیش بیاید.

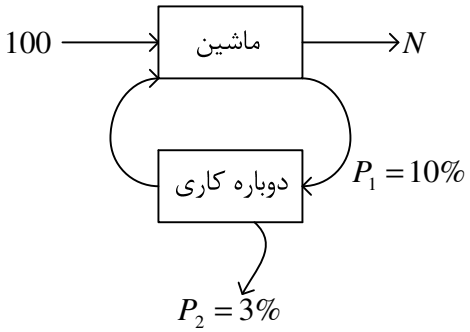
الف) هر قطعه تنها بتواند یک بار دوباره کاری شود.

ب) هر قطعه بتواند چندین بار دوباره کاری شود

irmgn.ir



الف) در شرایطی که هر قطعه تنها یک بار دوباره کاری شود:



با یک مثال عددی شرایط را شرح می دهیم:

با توجه به اینکه تنها یک بار دوباره کاری مجاز است پس داریم:

تعداد قطعات خروجی در دفعه اول $\leftarrow 100\times(0.9)=90$

در این حالت ۱۰ قطعه وارد مرحله ی دوباره کاری می شوند پس تنها روی این ۱۰ قطعه کار دوباره کاری انجام می شود که ۳ تای آنها در این مرحله دور ریخته شده و ۷ تای آنها مجدداً وارد ماشین می شوند:

خروجی بازرسی $10\times 0/7=7$

خروجی نهایی قطعات دوباره کاری شده $\rightarrow \Rightarrow 7\times 0/9=6/3$

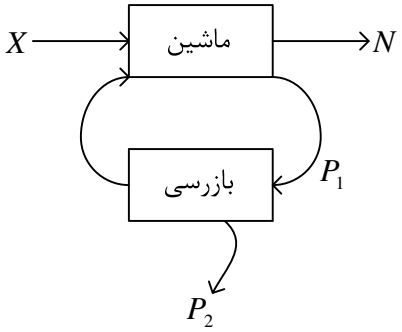
تعداد کل خروجی ها در شرایطی که تنها یک بار دوباره کاری مجاز باشد.

$\Rightarrow 90+6/3=96/3$

حال اگر مثلاً دوباره، دوباره کاری مجاز بود آن گاه ۶/۳ قطعه ی مرحله ی اول دوباره کاری سالم خارج شده و ۰/۷ آن باز چرخه ی دوباره کاری را طی می کند.

در شرایط عمومی داریم:

irmgn.ir

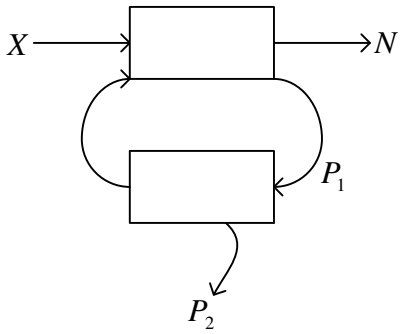


$$X = \frac{\text{خروجی}}{\text{درصد قطعات سالم}} \qquad (1)$$

$$\text{درصد قطعات سالم} = (1-P_1)+\left[P_1.(1-P_2)(1-P_1)\right] \qquad (2)$$

$$\text{از ۱ و ۲} \Rightarrow X = \frac{N}{\left[(1-P_1)+\left[P_1.(1-P_2)(1-P_1)\right]\right.}$$

حالت دوم اگر تعداد دوباره کاری ها نامحدود باشد در این شرایط به یک تناوب ساده می رسیم:



$$\text{درصد قطعات سالم} = (1-P_1)+\left[P_1.(1-P_2)(1-P_1)\right]+\left[P_1^2.(1-P_2)^2(1-P_1)\right]+\cdots$$

که این یک تناوب است به شکل زیر:

$\Rightarrow$ جمله اول + [ضریب تکرار × جمله اول] + [(ضریب تکرار)^2× جمله اول] + ...

$\Rightarrow$ جمع این تناوب برابر است با : $\frac{\text{جمله اول}}{\text{۱-[ضریب تکرار]}}$

در نتیجه داریم:

irmgn.ir

$$\text{درصد قطعات سالم} = \frac{1-P_1}{1-[P_1(1-P_2)]}$$

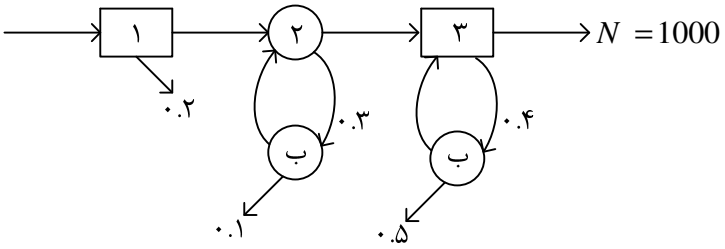
$$\Rightarrow X_1 = \frac{N}{(\text{درصد قطعات سالم})}$$

با این روش ساده احتمالی میزان ورودی یا خروجی برای هر ایستگاه محاسبه را می کنیم.

مثال: برای تولید ۱۰۰۰ عدد از محصولی، ۳ مرحله عملیات به شکل زیر داریم. تعداد قطعات ورودی به مرحله اول را در دو حالت زیر محاسبه کنید:

الف) دوباره کاری نامحدود

ب) تنها یک بار دوباره کار



الف) ابتدا برای حالت دوم و سوم احتمال سالم بودن قطعه را محاسبه می کنیم:

$$\text{مرحله دوم} = \frac{0/7}{1-(0/3\times 0/9)} = 0/958 \leftarrow \frac{1-P_i}{[1-(P_1.(1-p_2)]}$$

$$\text{مرحله سوم} = \frac{0/6}{1-(0/4\times 0/5)} = \frac{0/6}{1-0/2} = 0/83$$

$$\Rightarrow \text{قطعات ورودی به مرحله ی اول} \Rightarrow X_1 = \frac{\text{خروجی کل}}{(\text{درصد قطعات سالم کل})} = \frac{1000}{0.8\times 0.958\times 0.83} = 1570$$

ب)

$$\text{درصد قطعات سالم مرحله اول} = 0/8$$

$$\text{درصد قطعات سالم مرحله دوم} = (0/7)+(0/3\times 0/9\times 0/7) = 0/889$$

$$\text{درصد قطعات سالم مرحله سوم} = 0/6+(0/4\times 0/5\times 0/6) = 0/72$$

$$\Rightarrow X_1 = \frac{1000}{0/8\times 0/889\times 0/72} \square 1953$$

- واضح است که در حالتی که تعداد دوباره کاری ها نامحدود است درصد قطعات سالم بسیار بیشتر خواهد بود.

irmgn.ir

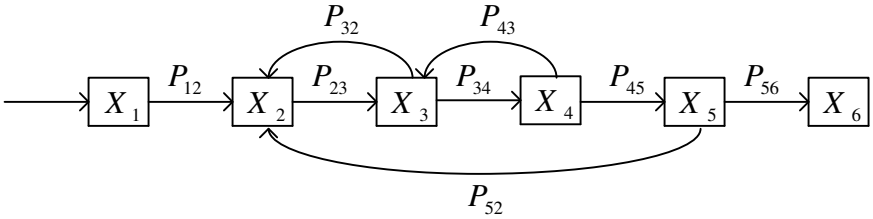
۳-۱-۴- حالت سوم:

حالتی که قطعه به چندین گام عقب تر باز می گردد:

$P_{ij} \leftarrow$ درصد قطعات انتقال یافته از مرحله i به مرحله j

$X_i \leftarrow$ تعداد قطعات ورودی به مرحله ی i ام

مدل زیر را در نظر بگیرید:



اگر در مرحله ای تعداد قطعات خروجی با ورودی برابر نباشد یعنی:

$$\sum_j P_{ij} X_j \neq X_i$$

خروجی ورودی

آن گاه در مرحله ی i ام میزان ضایعات به اندازه $(1-\sum_j P_{ij})X_i$ می باشد.

برای یافتن میزان ورودی هر مرحله کافی است سیستمی شبیه سیستم معادلات زیر را حل کنیم:

$$X_2 = P_{12} X_1 + P_{32} X_3 + P_{52} X_5$$
$$X_3 = P_{23} X_2 + P_{43} X_4$$
$$X_4 = P_{34} X_3$$
$$X_5 = P_{45} X_4$$
$$X_6 = P_{56} X_5 \quad , \quad X_6 = N$$

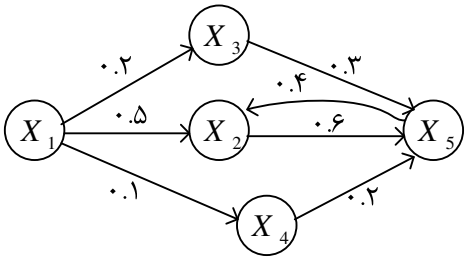
- البته معمولاً در تست ها یا سؤالات برای یافتن مقدار ورودی کل سیستم و یا خروجی کل سیستم نیازی به نوشتن و حل این دستگاه معادلات نیست چرا که اگر دقت کنید این سیستم خروجی به عنوان دور ریز یا ضایعات ندارد و در این حالات کافی است مثل حالات قبل تنها مقادیری که از سیستم خارج می شوند را به عنوان ضایعات در نظر بگیرید. مثلاً در همین شکل اگر تنها در مرحله ی اول ۵ درصد ضایعات داشتیم رابطه ورودی و خروجی سیستم به شکل زیر در می آمد:

درصد قطعات سالم $= 1 - 0/05 = 0/95$

$$\Rightarrow X_1 = \frac{N}{0/95}$$

irmgn.ir

مثال: در خط تولید زیر چقدر ورودی داشته باشیم تا خروجی مرحله ی آخر (پنجم) ۵۰۰ واحد باشد؟

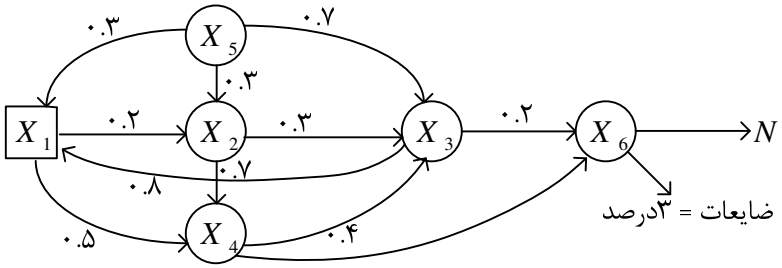


$$\begin{cases} X_5 = 0.3X_3 + 0.6X_2 + 0.2X_4 \\ X_3 = 0.2X_1 \\ X_4 = 0.1X_1 \\ X_2 = 0.5X_1 + 0.4X_5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow X_5 = 0/06X_1 + 0/3X_1 + 0/24X_5 + 0/02X_1 \Rightarrow X_5 = 0/38X_1 + 0/24X_5$$

$$\Rightarrow 0/76X_5 = 0/38X_1 \Rightarrow X_1 = \frac{0/76}{0/38}X_5 \Rightarrow X_1 = \frac{0/76}{0/38}(500) = 1000 \quad \text{واحد}$$

مثال: در خط تولید زیر چقدر ورودی باشد تا خروجی مرحله ی آخر ۹۷۰ واحد شود؟



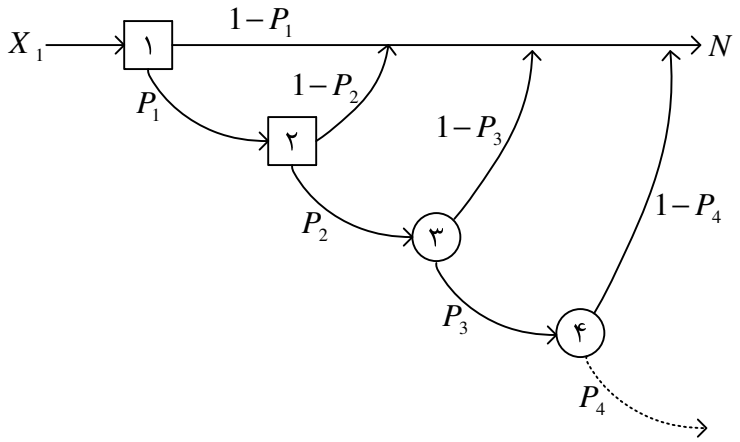
با توجه به شکل هیچ مرحله ای به جز مرحله ی ششم ضایعات و خروجی ندارد. داریم:

$$X_1 = \frac{970}{0/97} \Rightarrow X_1 = 1000$$

۴-۱-۴- نکات:

الف- در مدل های زیر رابطه ی قطعات ورودی و خروجی به شکل زیر است:

irmgn.ir



احتمال ضایعات $= P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times \cdots$

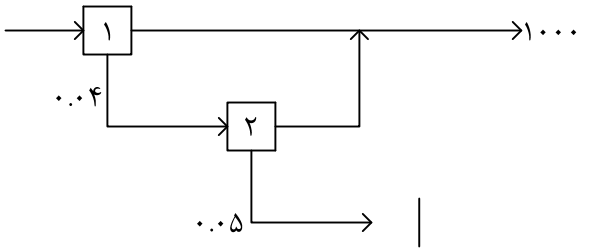
$$\Rightarrow X_1 = \frac{N}{1-\left(\prod_i P_i\right)}$$

ب- تعیین هزینه تولید یک قطعه سالم به صورت زیر خواهد بود:

فرض: اگر C_iها هزینه انجام کار بر روی یک قطعه در ایستگاه i ام باشد:

- ✓ قدم۱- تمام C_iها را با هم جمع بزنید، این مقدار حد پایین جواب است و تمام گزینه هایی که کمتر از این مقدار هستند حذف می شوند.
- ✓ قدم ۲- حال خروجی را یک قطعه در نظر می گیریم و براساس درصد ضایعات هر مرحله، ورودی آن مرحله را محاسبه می کنیم و در C_i ضرب می کنیم. مجموع این مقادیر هزینه تولید یک قطعه سالم است. (این کار را می توان به صورت ایستگاه به ایستگاه انجام داد و گزینه های نادرست را حذف کرده شاید لازم نباشد تمام ایستگاه ها را حل کرد تا به جواب رسید).

مثال: در شکل زیر اگر ۱/۰۰۰ قطعه سالم بخواهیم چند قطعه باید وارد سیستم شود:



۱) ۱۱۰۰ ۲) ۱۹۹۰ ۳) ۱۰۰۵ ۴) ۱۰۰۳

irmgn.ir

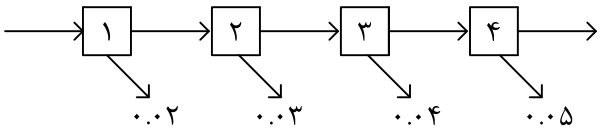
حل: گزینه ۴

$\Rightarrow 0/04\times 0/05 = 0/002 \rightarrow$ درصد ضایعات

$\Rightarrow 1-0/002 = 0/998$

$\Rightarrow X_1 = \frac{1000}{0/998} = 1002/4$

مثال: در سیستم زیر اگر هزینه تولید هر قطعه در ایستگاه ها به ترتیب ۵ ،۱۰، ۱۵ و ۲۰ تومان باشد، هزینه تولید یک قطعه سالم را محاسبه کنید:



$C_1 = 5 \quad C_2 = 10 \quad C_3 = 15 \quad C_4 = 20$

۱) ۵۱ ۲) ۵۲ ۳) ۴۵ ۴) ۵۴

حل: گزینه ۴

ابتدا جمع C_iها را محاسبه می کنیم:

$\sum C_i = 20+15+10+5 = 50$

در این حالت کلیه گزینه های کمتر و مساوی ۵۰ تومان حذف می شوند ← گزینه ۳ حذف می شود.

سپس خروجی را در آخرین مرحله ۱ می گیریم و میزان ورودی هر مرحله را محاسبه کرده و هزینه را نیز به دست می آوریم و گزینه های کمتر مساوی آن را حذف می کنیم:

$X_4 = \frac{1}{0/95} = 1/05 \rightarrow 5+10+15+(1/05\times 20) = 51 \rightarrow$ گزینه ۱ حذف می شود.

$X_3 = \frac{1/05}{0/96} = 1/093 \rightarrow 5+10+(15\times 1/093)+21 = 52/4 \rightarrow$ گزینه ۲ هم حذف می شود.

پس گزینه ۴ پاسخ است.

۵-۱-۴- نکته: محاسبه ی ظرفیت تعدیل شده کارخانه:

- ظرفیت تعدیل شده کارخانه در واقع ظرفیتی است که باید برای آن برنامه ریزی کرد تا با توجه به عوامل مختلف به ظرفیت مورد نظرمان برسیم.

به طور مثال فرض کنید کارخانه ای تصمیم دارد به ظرفیت ۵۰۰۰ واحد در سال برسد. اگر ضریب عوامل تعمیرات و نگهداری ۱۵ درصد و ضریب رشد آینده ۷ درصد و ضریب عوامل پیش بینی نشده نیز ۴ درصد باشد آن گاه ضریب تعدیل شده کارخانه برابر خواهد بود با:

$5000\times(1/15)\times(1/07)\times(1/04) = 6398/6$

irmgn.ir

۲-۴- محاسبه ی تعداد ماشین آلات موردنیاز:

این بخش یکی از مهم ترین مباحث طرح ریزی واحدهای صنعتی است و بسیاری از موارد تناقض در حل سؤالات، مربوط به این بخش است چرا که هر کتاب و هر مؤلف برای این محاسبات روش خاصی پیشنهاد کرده که گاهاً باعث سردرگمی خواننده می گردد، لذا در این کتاب سعی شده تا عمومی ترین روش ها مورد بحث قرار گیرد:

معرفی چند پارامتر:

✓ D ← تعداد مورد نیاز از هر قطعه (تعداد قطعات ورودی)← منظور تعداد قطعاتی که ماشین باید روی آنها عملیات انجام دهد.

✓ T_S ←زمان استاندارد ساخت هر قطعه

✓ B ← درصد بهره گیری از ماشین

✓ T_C ← زمان در دسترس ماشین

✓ نرخ تولید $= \frac{1}{T_S}$ ← در حالتی که نرخ تولید به ساعت باشد باید T_S هم در واحد ساعت باشد.

✓ ضریب استفاده از ماشین= $\frac{\text{زمان مفید}}{\text{کل زمان در دسترس}}$

حال به محاسبه تعداد ماشین آلات از روی کسر تعداد ماشین آلات می پردازیم:

$$\text{کسر ماشین آلات} = \frac{\text{زمان مورد (نیاز)}}{\text{زمان در دسترس (توان)}}$$

✓ منظور از نیاز و توان می تواند نیاز ما از لحاظ زمانی و توان ما از لحاظ زمانی باشد. در ادامه این موضوع بهتر روشن می شود. مثلاً در یک رستوران اگر بخواهیم ۳۰۰ پرس غذا را در یک ساعت تهیه کنیم و هر پرس غذا ۳ دقیقه وقت یک کارگر را بگیرد به راحتی از فرمول بالا می توان تعداد مورد نیاز کارگران را معین کرد به این صورت که برای تهیه ۳۰۰ غذا به ۹۰۰ دقیقه زمان نیاز داریم و کل زمان در دسترس ما تنها ۶۰ دقیقه است پس با تقسیم ۹۰۰ به ۶۰ معین می شود که ۱۵ کارگر می توانند در یک ساعت ۳۰۰ غذا را تهیه کنند.

۱-۲-۴- قدم های تعیین تعداد ماشین آلات:

irmgn.ir

قدم اول: محاسبه ی تعداد مورد نیاز از یک قطعه یا در واقع تعیین تعداد قطعاتی که باید در ایستگاه روی آنها عملیات انجام گیرد. این کار با داشتن نرخ ضایعات دستگاه و تعداد مورد نیاز قطعه به راحتی معین می شود.

$$\text{تعداد قطعات ورودی} = \frac{\text{تعداد مورد نیاز}}{(\text{نرخ ضایعات} - 1)}$$

✓ از این جا به بعد منظور از D همان تعداد قطعات ورودی است که چگونگی تعیین آن را با دانستن تعداد قطعات خروجی و درصد ضایعات در مبحث قبل معرفی کردیم.

قدم دوم: محاسبه ی زمان استاندارد ساخت یک قطعه (یعنی T_S)

✓ اگر بیکاری های مجاز در عملیات در نظر گرفته شوند باید زمان مورد نیاز ساخت هر قطعه را به شکل زیر محاسبه کرد:

$$T_S{}' = [T_S \times (1 + \text{درصد بیکاری مجاز})]$$

✓ اگر هر قطعه برای تولید نیاز به زمان آماده سازی داشت، یعنی در واقع زمان آماده سازی برای هر قطعه جداگانه داده شده بود می بایست در زمان ساخت منظور شود:

$$T_s' = (T_S + T_P)$$

$T_S \leftarrow$ زمان ساخت هر قطعه

$T_P \leftarrow$ زمان آماده سازی هر قطعه

✓ از این جا به بعد منظور از T_S در واقع مقدار محاسبه شده T_S با توجه به موارد بالا است.

قدم سوم: محاسبه ی زمان های آماده سازی:

✓ زمان آماده سازی اگر به صورت زمانی برای هر قطعه داده شده بود که در قدم دوم مورد بررسی قرار می گیرد.

✓ اگر زمان آماده سازی به طور کلی باشد یعنی یک بار یا چند بار آماده سازی برای کل قطعات صورت می گرفت آن گاه این زمان آماده سازی را برخی در صورت قرار داده و برخی در مخرج کسر ماشین آلات قرار می دهند، اگر زمان آماده سازی در صورت قرار گرفت باید بدون لحاظ کردن B (ضریب راندمان ماشین) در آن با دیگر زمان های مورد نیاز جمع شود. و اگر در مخرج قرار گرفت بایستی از کل زمان در دسترس کم شود.

قدم چهارم: محاسبه کل زمان در دسترس

قدم پنجم: محاسبه کسر ماشین آلات که با توجه به کلیه موارد گفته شده داریم:

✓ کسر ماشین آلات در شرایطی که زمان آماده سازی نداشته باشیم:

irmgn.ir

تعداد ماشین مورد نیاز $\boxed{\leftarrow M = \frac{D \times T_S}{B \times T_C}}$

$D \leftarrow$ از قدم اول بدست آوردیم.

$T_S \leftarrow$ از قدم دوم بدست آوردیم.

$T_C \leftarrow$ از قدم چهارم بدست آوردیم.

- کسر ماشین آلات در شرایطی که زمان های آماده سازی به طور کلی موجود باشد:

$$\boxed{M = \frac{T_P + \frac{T_S \times D}{B}}{T_C}}$$

لازم به ذکر است که B یا ضریب ماشین را باید تنها در زمان های تولید تأثیر دهیم و ربطی به زمان آماده سازی ندارد.

۲-۲-۴- نکات:

۱- زمان های تنظیم و از کار افتادگی همیشه به عنوان زمان های غیر مفید در نظر گرفته می شوند. لازم به ذکر است که زمان آماده سازی با زمان تنظیم می تواند متفاوت باشد. زمان تنظیم پیش از شروع به کار ماشین می باشد.

۲- اگر در مسئله ای به جای B ، ضریب تعدیل شده را خواست از فرمول زیر استفاده می کنیم:

$$B' = \frac{B}{1 + \frac{T_P}{T_C}}$$

$T_P \leftarrow$ زمان آماده سازی

$T_C \leftarrow$ زمان کل

$$\frac{T_P}{T_C} = \text{درصد زمان آماده سازی}$$

مثال: در یک واحد صنعتی زمان خرابی دستگاه تقریباً ۳۰ دقیقه و زمان لازم برای راه اندازی دستگاه نیز ۴۵ دقیقه می باشد. راندمان این واحد صنعتی با فرض ۸ ساعت کار در روز و با فرض یک ساعت زمان صرف ناهار چقدر است؟

$\text{زمان کل} = 8 \times 60 = 480$

$\text{زمان های غیر مفید} = 30 + 45 + 60 = 135$

$$\text{راندمان} = \frac{\text{زمان}}{} = \frac{345}{} = 0/718$$

irmgn.ir

$$\frac{\text{مفید}}{\text{زمان کل}}$$

مثال: برای قطعه ای زمان مجاز بیکاری حدود ۱۰ درصد است. اگر زمان تولید هر قطعه ۲ دقیقه باشد، در ۸ ساعت چند قطعه تولید می شود؟

$$T_S' = T_S \times (1 + \text{درصد بیکاری}) = 2 \times 1/1 = 2/2$$

$$\Rightarrow \frac{480}{2/2} = 218/1 \quad \text{تعداد قطعات تولیدی}$$

مثال: برای محصولی سالانه ۴۸/۰۰۰ قطعه تقاضا داریم. زمان استاندارد تولید ۵ دقیقه و راندمان ۹۰ درصد است. ضایعات دستگاه ۵ درصدمی باشد. با فرض ۳۰۰ روز کاری در سال و هر روز ۸ ساعت کار، تعداد موردنیاز ماشین چقدر است؟

$$\text{ورودی دستگاه} \leftarrow D = \frac{\text{تقاضا}}{1 - \text{ضایعات}} = \frac{48000}{0/95} = 50526$$

$$\Rightarrow M = \frac{50526 \times 5}{300 \times 8 \times 60 \times 0/9} = 1/94 \rightarrow \text{۲ ماشین}$$

مثال: کارخانه ای ماهانه ۱۳۰ ساعت کار می کند. هر آماده سازی دستگاه ۱۲ ساعت به طول می انجامد و برای تولید ۱ ماه کافی است. اگر ضریب استفاده از ماشین ۰/۹ باشد، ضریب آماده سازی تعدیل شده چقدر است؟

$$B' = \frac{B}{1 + \frac{T_P}{T_C}} = \frac{0/9}{1 + \frac{12}{130}} = 0/82$$

مثال: فرض کنید ماشین X قادر است قطعات A ، B و C را تولید کند، جزئیات مورد نیاز در جدول زیر آمده است. با توجه به راندمان ۹۵ درصد و ضایعات ۵ درصد، ۴۸ ساعت کار در هفته، چه تعداد ماشین X نیاز است؟

C	B	A	
2500	5000	1000	تقاضا
0/2	0/6	1	زمان استاندارد (Min)
10	50	30	زمان آماده سازی (Min)

irmgn.ir

تعداد دفعات آماده سازی	1	4	6

حل: قدم اول ← محاسبه ی D ها:

$$D_A = \frac{1000}{0/95} \approx 1052$$

$$D_B = \frac{5000}{0/95} \approx 5262$$

$$D_C = \frac{2500}{0/95} \approx 2631$$

قدم دوم: زمان های آماده سازی:

$$\text{کل } T_P = (1\times 30) + (4\times 50) + (6\times 10) = 30 + 200 + 60 = 290$$

قدم سوم: کسر ماشین آلات:

$$M = \frac{290 + \frac{(1000\times 1) + (5000\times 0/6)}{0/95\times 0/95} + (2500\times 0/2)}{48\times 60} = 1/8 \approx 2$$

۳-۲-۴- روش فرانسیس:

این روش برای محاسبه تعداد ماشین آلات استفاده می گردد. چنانچه قرار باشد n محصول توسط m ماشین تولید شود از این روش استفاده می کنیم. در این فرمول می توان به جای ماشین حتی تعداد اپراتورها را محاسبه کرد. در هر صورت میان اپراتور و ماشین تفاوتی نیست و کافی است به جای ماشین، اپراتور در نظر بگیریم. پارامترها و فرمول به قرار زیر هستند:

D_{ij} ← تعداد مورد نیاز از محصول i ام که روی ماشین j ام تولید می شود.

T_{ij} ← زمان لازم برای تولید هر قطعه محصول i روی ماشین j ام

C_{ij} ← کل زمان دسترسی برای محصول i ماشین j ام

M_j ← تعداد ماشین مورد نیاز از نوع j ام

$n =$ تعداد محصولات

$$M_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{D_{ij} T_{ij}}{C_{ij}}$$

مثال: با توجه به اطلاعات زیر که تولید ۶ نوع محصول را توسط ماشین j نشان می دهد، مطلوبست

irmgn.ir

تعداد مورد نیاز از ماشین j ام: (نقطه چین ها را پر کنید)

قطعه i ام	تقاضا D_j	نرخ تولید p_j	ساعت در دسترس	زمان استاندارد $T_j = \frac{1}{p_j}$	تعداد ماشین مورد نیاز M_j
۱	۶۰۰۰	۱۲۰	۱۵۰	۱/۱۲۰	۰/۳۳
۲	۹۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱/۱۵۰	۰/۴
۳	۱۵۰۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۱/۱۰۰	۱
۴	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۱/۱۰۰	۰/۱۳۳
۵	۸۰۰۰	۱۲۰	۱۵۰	۱/۱۲۰	۰/۴۴۴
۶	۴۰۰۰	۸۰	۱۵۰	۱/۸۰	۰/۳۳۳

$$M_j = 0/33 + 0/4 + 1 + 0/133 + 0/44 + 0/33 = 2/64 \approx 3$$

۳-۴- تعیین تعداد نیروی انسانی مورد نیاز:

محاسبه ی تعداد نیروی انسانی تفاوت چندانی با تعیین تعداد ماشین آلات ندارد و در واقع همان طور که در تعیین تعداد ماشین آلات زمان کار لازم بر روی هر قطعه را در کل تعداد قطعات در صورت و زمان در دسترس را در مخرج قرار می دادیم تا تعداد ماشین ها به دست آید، حالا هم کافی است همین کار را برای نیروی انسانی انجام دهیم:

$$F_i = \frac{T_i . P_i}{H_i u_i}$$

T_i = زمان استاندارد ساخت هر قطعه i

H_i = تعداد ساعات در دسترس برای تولید

u_i = درصدی از ساعات که اپراتور به قطعه i اختصاص می دهد.

P_i = تعداد قطعه مورد نیاز i

F_i = تعداد نیروی انسانی مورد نیاز

این فرمول اغلب برای سیستم های مونتاژ کاربرد دارد. در واقع تعداد نیروی انسانی مورد نیاز برابر است با:

irmgn.ir

$$F_i = \frac{\text{زمان مورد نیاز}}{\text{زمان در دسترس}}$$

برای محاسبه ماشین آلات نیز همین کار را انجام می دادیم.

$$\text{کل کارگران مورد نیاز} = \sum F_i$$

۴-۴- مسائل انسان ماشین (Man-Machine coupling):

تعیین تعداد موردنیاز نیروی انسانی در کل کارخانه ارتباط تنگاتنگی با محاسبه ماشین آلات دارد. در واقع با تعیین تعداد نیروی انسانی برای هر ماشین می توان تعداد کل نیروی انسانی لازم کارخانه را محاسبه کرد. در مسائل انسان- ماشین یک کارگر چندین ماشین را همزمان سرویس می دهد. پس در واقع زمانی می توان از این روش استفاده کرد که سیکل اپراتور کمتر از سیکل کاری ماشین باشد. اگر این موضوع برعکس بود آن گاه باید چند کارگر یک ماشین را سرویس دهند:

در این مسائل ۳ حالت داریم:

الف- سرویس دهی همزمان

ب- سرویس دهی تصادفی

ج- سرویس دهی ترکیبی

۱-۴-۴- سرویس دهی همزمان:

دراین حالت فرض مهم این است که فاصله میان ماشین آلات بسیار کم است و هدف اصلی کاهش زمان بیکاری انسان و ماشین است. برای تعیین تعداد ماشین اختصاصی به هر اپراتور قدم های زیر را بر می داریم:

قدم اول: تعیین زمان فعالیت اپراتور به تنهایی (b) (منظور زمان هایی است که اپراتور بدون نیاز به ماشین مورد نظر دارد کار خودش را انجام می دهد و در همان زمان ماشین می تواند به کار دیگری مشغول شود مثل زمان های بازرسی)

قدم دوم: تعیین زمان فعالیت ماشین به تنهایی (c) (زمان هایی که ماشین بدون نیاز به اپراتور کار خودش را می کند)

قدم سوم: تعیین زمان فعالیت همزمان ماشین و اپراتور (a) (زمان هایی که اپراتور و ماشین همزمان در گیرند و هیچ یک در آن زمان کار دیگری نمی تواند انجام دهد مثل زمان های بار گذاری و تخلیه)

قدم چهارم: محاسبه ی تعداد ماشین های واگذاری به یک اپراتور (حالت ایده آل)

$$\text{تعداد ماشین های واگذاری به یک} \rightarrow N = \frac{a+c}{\text{کل زمان کار ماشین}} =$$

irmgn.ir

کل زمان کار اپراتور اپراتور

قدم پنجم: تعیین تعداد ماشین های واگذار شده به اپراتور در حالت واقعی و تعیین زمان های بیکاری و زمان سیکل.

در قدم پنجم باید موارد زیر را بررسی کنیم:

✓ مقدار N دو حالت دارد:

الف- N عدد صحیح است (که در این صورت مسئله پایان یافته و تعداد ماشین آلات اختصاصی به اپراتور به دست آمده است). در این حالت نه اپراتور و نه ماشین هیچ یک بیکاری ندارند.

ب- N عدد اعشاری است ← باید N را روند کنیم چرا که نمی توان گفت مثلاً ۳/۵ ماشین به اپراتور اختصاص می دهیم. در این حالت یا باید ۳ ماشین و یا ۴ ماشین به اپراتور اختصاص داد که به هر حال زمانی را بیکاری داریم (یا برای ماشین یا برای اپراتور). حال سوال این است که از کدام طرف مقدار N را گرد کنیم؟

۱-۱-۴-۴- گرد کردن N:

الف- روند نقصانی: در این حالت تعداد ماشین های اختصاص یافته به اپراتور $[N]$ خواهد بود. در این حالت به اپراتور کمتر از حالت ایده آل ماشین را اختصاص می یابد و لذا اپراتور بیکاری دارد اما ماشین ها بیکاری ندارند و زمان سیکل توسط ماشین ها معین می شود:

$$m = [N]$$

زمان کار ماشین زمان کار اپراتور

$$m(a+b) < (a+c)$$

$$\Rightarrow d_{\circ} = (a+c) - [m(a+b)]$$

$d_{\circ} =$ زمان بیکاری اپراتور در هر سیکل

$d_m = 0 \longrightarrow$ زمان بیکاری ماشین در هر سیکل

و در این حالت زمان سیکل برابر است با $(a+c)$ یعنی زمان کار ماشین.

ب- روند اضافی: در این حالت تعداد ماشین های اختصاص یافته به اپراتور بیشتر از حالت ایده آل و برابر $m = [N]+1$ خواهد بود. و لذا اپراتور باید تمام مدت کار کرده و بیکاری ندارد اما ماشین ها زمانی را بیکاری دارند. پس در این حالت سیکل را اپراتور تعیین می کند:

$d_{\circ} = 0$ زمان بیکاری انسان

$d_m = [m(a+b)] - [a+c]$ زمان بیکاری ماشین

irmgn.ir

$\Rightarrow m(a+b)$ ⟵ زمان سیکل

نکته: در حالتی که N یک عدد صحیح باشد زمان سیکل انسان و ماشین یکسان است و داریم:

$$\begin{cases} m(a+b)=(a+c) \\ d_{\circ}=0 \\ d_{m}=0 \end{cases}$$

مثال: زمان استارت ماشینی ۳ دقیقه، زمان تنظیم ۳/۵ دقیقه و زمان کار ماشین ۱۴/۵ دقیقه می باشد.

زمان تخلیه و بارگیری هم مجموعاً ۷ دقیقه است که توسط اپراتور انجام می گیرد. چند ماشین به اپراتور اختصاص یابد تا ماشین ها بیکاری نداشته باشند در حالتی که اپراتور یک دقیقه هم صرف بازرسی کند؟

حل:

زمان های کار اپراتور	زمان های کار ماشین
تخلیه و بارگیری = ۷ دقیقه	تخلیه و بارگیری = ۷ دقیقه
زمان استارت = ۳ دقیقه	زمان استارت = ۳ دقیقه
زمان تنظیم = ۳/۵ دقیقه	زمان تنظیم = ۳/۵ دقیقه
زمان بازرسی = ۱ دقیقه	زمان کار = ۱۴/۵ دقیقه
جمع = ۱۴/۵ دقیقه	۲۸ دقیقه

$$N=\frac{a+c}{a+b}=\frac{\text{زمان ماشین}}{\text{زمان اپراتور}}=\frac{18}{14/5}=1/93$$

برای اینکه ماشین همواره در حال کار باشد باید به اپراتور کمتر از حالت ایده آل ماشین اختصاص داد پس به اپراتور (یک) ۱ ماشین اختصاص می دهیم:

زمان بیکاری اپراتور $=28-14/5=13/5$ (دقیقه)

نکته: در تعامل انسان و ماشین ۳ حالت داریم:

الف- حالت ایده آل: سیکل کاری انسان و ماشین یکسان بوده و بیکاری صفر است.

ب- انسان بیکار می ماند و راه حل های ممکن:

- ✓ تخصیص ماشین آلات
- ✓ ایجاد کارهای مکمل مثل حمل و نقل ها و . . .

irmgn.ir

ج- ماشین بیکار بماند و راه حل های ممکن:

- ✓ تغییر برنامه تولید
- ✓ تولید محصول بیشتر یا سفارش بیشتر و . . .

۲-۱-۴-۴- بررسی انسان- ماشین از دیدگاه اقتصادی:

در این بخش معین می کنیم که روند نقصانی و اختصاص ماشین آلاتی کمتر به اپراتور و در واقع بیکار شدن اپراتور اقتصادی تر است یا بیکاری ماشین و استفاده از روند افزایشی.

$C_1 \leftarrow$ هزینه یک ساعت کار اپراتور $\quad T_C =$ زمان سیکل

$C_2 \leftarrow$ هزینه یک ساعت کار ماشین

هر ماشین در هر سیکل ۱ واحد تولید دارد پس اگر m ماشین داشته باشیم، در هر سیکل m واحد تولید داریم:

هزینه یک ساعت کار اپراتور و ماشین $= C_1 + mC_2$

تعداد قطعات تولید شده در هر ساعت $\rightarrow \frac{1}{T_C} \times m$, تعداد سیکل ها در هر ساعت $\rightarrow = \frac{1}{T_C}$

$$\text{هزینه تولید یک قطعه در واحد زمان} = \frac{\text{هزینه یک ساعت کار}}{\text{تعداد قطعات تولید در ساعت}}$$

$$\text{هزینه تولید یک قطعه در واحد زمان} = \frac{C_1 + mC_2}{\frac{m}{T_C}} = \left[C_1 + mC_2\right] \times \frac{m}{T_C} =$$

حال برای تعیین این که چه تعداد ماشین برای هر اپراتور اقتصادی است داریم:

$$M = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\text{هزینه یک ساعت کار اپراتور}}{\text{هزینه یک ساعت کار ماشین}}$$

$$N = \frac{a+c}{a+b} = \frac{\text{زمان ماشین}}{\text{زمان اپراتور}}$$

irmgn.ir

$$\frac{M+[N]}{M+[N]+1}\times\frac{N}{[N]}=\delta$$

اگر
- $\delta<1$ ← اختصاص [N] ماشین اقتصادی است.
- $\delta>1$ ← اختصاص [N]+1 ماشین اقتصادی است.
- $\delta=1$ ← در این حالت تفاوتی نمی کند.

مثال: در کارگاهی ۳ کارگر مشغول کارند، در صورتی که برای یک نوع ماشین خاص هزینه هر ساعت کار ماشین ۳۰۰ تومان و دستمزد کارگر ۱۵۰ تومان در ساعت باشد، و همچنین زمان بارگذاری هر ماشین ۱۵ دقیقه و زمان کار ماشین ۲۳ دقیقه باشد و زمان بازرسی نیز ۲ دقیقه محاسبه شود، جمعاً چند ماشین در این کارگاه خواهد بود؟

$$\left.\begin{matrix}C_1=150\\C_2=200\end{matrix}\right\}\Rightarrow M=\frac{150}{200}=\frac{3}{4}=0/75$$

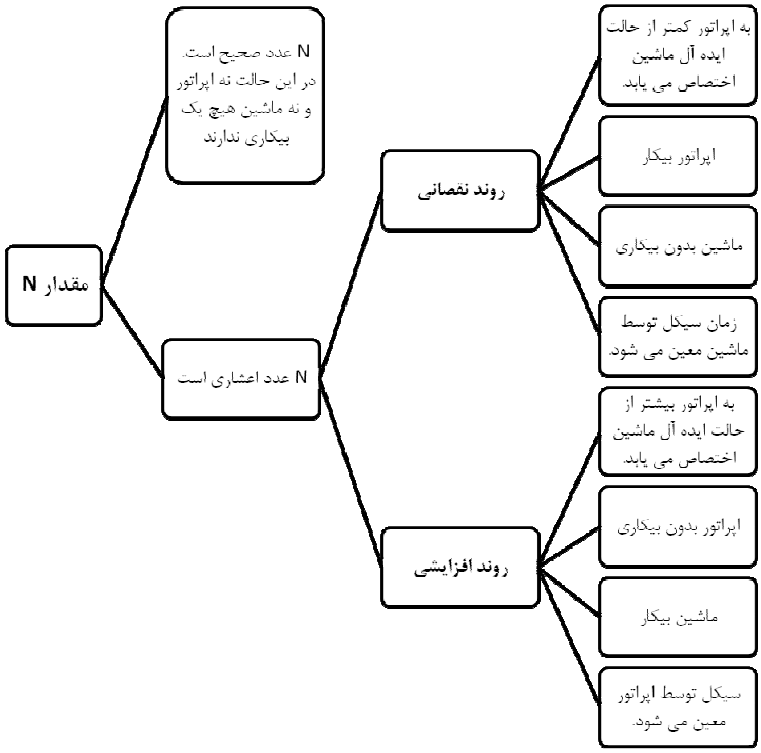
$$\left.\begin{matrix}\text{مدت زمان کار اپراتور}= & (2+15)=17\\ \text{مدت زمان کار ماشین}= & (23+15)=38\end{matrix}\right\}\Rightarrow N=\frac{a+c}{a+b}=\frac{38}{17}=2/23$$

$$\delta=\frac{M+[N]}{M+[N]+1}\times\frac{N}{[N]}=\frac{0/75+2}{0/75+2+1}.\frac{2/23}{2}=0/81<1$$

به هر اپراتور تا ۲ ماشین اختصاص می یابد و چون ۳ کارگر داریم پس $3\times2=6$ ماشین در کارگاه خواهد بود.

در شکل زیر کل شرایطی که در مدل های انسان ماشین با سویس دهی همزمان رخ می دهد را مشاهده می کنید:

irmgn.ir



۲-۴-۴- سرویس دهی تصادفی:

در این حالت فرض می شود که زمان انجام عملیات توسط ماشین و به تبع آن زمانی که ماشین نیاز به حضور کارگر دارد تصافی است. توجه کنید که نیاز به کارگر می تواند انجام بارگیری یا تخلیه و یا حتی تعمیرات باشد. پارامترهای این مدل به شکل زیر هستند:

$$P = \text{احتمال کار کرد ماشین}$$

$$q = \text{احتمال نیاز ماشین به اپراتور}$$

$$q = 1 - P$$

واضح است که در چنین شرایطی یک توزیع دو جمله ای داریم، فرض کنید از m ماشین که در کارگاه داریم، n تای ان نیاز به حضور کارگر ندارند و $m-n$ ماشین نیاز به اپراتور دارند و این به هر دلیلی می تواند باشد، در این حالت داریم:

$\binom{m}{n} P^n q^{m-n} \longrightarrow$ احتمال این که از m ماشین، n تا بدون حضور اپراتور فعالیت کنند.

مثلاً فرض کنید در کارگاهی ۳ ماشین داریم، آن گاه:

irmgn.ir

الف) احتمال این که هر ۳ ماشین بدون حضور اپراتور کار کنند: $\binom{3}{3}P^3q^0 = P^3$

ب) احتمال این که از ۳ ماشین ۱ ماشین به اپراتور نیاز داشته باشد: $\binom{3}{2}P^2q^1$

در حالت احتمالی روابط زیر را داریم:

درصد زمان از دست رفته برای m ماشین در یک شیفت $= w = \dfrac{mq - 1 + P^m}{m}$

زمان متوسط تولید هر قطعه بر حسب ساعت $= T_P = \dfrac{\text{(زمان تولید+زمان سرویس)}}{\text{(زمان های از دست رفته-۱)}} = \dfrac{\text{کل زمان کار اپراتورماشین}}{\text{زمان های مفید}} = \dfrac{\text{کل زمان کار اپراتور دستگاه}}{\text{1-W}}$

میزان تولید هر ماشین در ساعت $= PRODUCT = \dfrac{1}{T_P} = \dfrac{\text{1-W}}{\text{(زمان کار ماشین+ زمان کار اپراتور)}}$

$\Rightarrow$ میزان تولید در T ساعت توسط m ماشین $= m.T.p$

هزینه تولید یک واحد محصول با m ماشین در ساعت $= \dfrac{C_1 + MC_2}{\text{میزان تولید توسط m ماشین در ساعت}} = \dfrac{C_1 + M.C_2}{mp}$

تعداد تولید در یک سیکل کاری توسط m ماشین $= mp - 1 + p^m$

مثال: ۵ ماشین به یک اپراتور اختصاص داده شده اند، زمان متوسط ساخت و سرویس ماشین به هر قطعه ۰/۸ و ۰/۱ است. اگر ماشین ۱۲ درصد اوقات خراب باشد، تعداد قطعات تولیدی توسط ۵ ماشین چقدر است؟

$q = 0/12 \Rightarrow P = 0/88$

$\rightarrow W = \dfrac{mq - 1 + P^m}{m} = \dfrac{5 \times 0/12 - 1 + (0/88)^5}{5} = 0/02$

میزان تولید هر ماشین در ساعت $= \dfrac{1 - W}{\text{(زمان های کار)}} = \dfrac{0/98}{0/9} = 1/08$

میزان تولید توسط ۵ ماشین در یک ساعت $= 5 \times 1/08 = 5/4$ قطعه در ساعت

irmgn.ir

فصل پنجم

توازن خط تولید و مونتاژ (بالانس خط) و تعیین فضاها

۱-۵- مقدمه:

طراحی خطوط تولید و مونتاژ و ایجاد تعادل و بالانس در آنها با توجه به زمان سیکل تولید و تخصیص

irmgn.ir

فعالیت ها به ایستگاه های کار از مسائلی است که در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد.

✓ **منظور از بالانس خط چیست؟** منظور هماهنگی میان ایستگاههای مختلف مونتاژ و تعادل میزان کاری میان افراد، بخش ها و تجهیزات است.

✓ **منظور از زمان سیکل تولید چیست؟** زمان طولانی ترین مجموعه عناصر کاری (ایستگاه کاری) را زمان سیکل می گویند.

$$\text{زمان سیکل} = CT = \frac{\text{کل زمان کاری در دسترس در روز}}{\text{تعداد مورد نیاز محصول در روز}} \times (R)$$

که R همان راندمان ایستگاه است و البته تعداد موردنیاز محصول در روز منظور مقدار خروجی خط نیست بلکه منظور ورودی خط است که با توجه به ضایعات معین می شود.

$$\Rightarrow \text{حداقل تعداد ایستگاههای لازم} = \frac{\text{کل زمان انجام فعالیت ها}}{CT} = \frac{\sum t_i}{CT}$$

در تعادل خط تولید به دنبال افزایش بازده سیستم هستیم و این کار با کاهش تعداد ایستگاه ها و ادغام آنها با هم و یا افزایش تعداد ایستگاه ها و شکستن آنها انجام می دهیم.

$t_i \leftarrow$ مدت زمان انجام یک عنصر کاری

نکته ۱:

✓ کاهش ایستگاه های کار باعث کاهش زمان بیکاری کارگران می شود.

✓ افزایش ایستگاه های کاری باعث کاهش زمان سیکل و افزایش تولید می شود.

نکته ۲: اگر n را تعداد ایستگاه های کاری در نظر بگیریم، داریم:

$$\text{کل زمان} = n.CT$$

$$\text{نسبت تأخیر} = d = \frac{nc - \sum t_i}{nc}$$

$$\text{کل زمان بیکاری} = nc - \sum t_i$$

$$\text{بازده خط} = 1 - d = R_a$$

دربالانس خط از نمودار تقدم و تأخر استفاده می کنیم و در مسائل تقدم و تأخر ۳ حالت ممکن اتفاق بیافتد:

الف) زمان سیکل از تمام عناصر کاری بزرگ تر باشد و مقدار زمان سیکل را داشته باشیم و بخواهیم مقدار حداقل تعداد ایستگاه های کاری را معین کنیم.

ب) زمان سیکل را نداریم ولی هدفمان حداقل کردن بیکاری و ایجاد توازن در ایستگاه ها است.

irmgn.ir

ج) زمان سیکل را داشته باشیم ولی این زمان از حداقل یکی از عناصر کاری کوچکتر باشد و بخواهیم تعداد نیروی انسانی لازم و یا حداقل ایستگاه ها را معین کنیم.

۲-۵- بالانس خط در حالتی که زمان سیکل را داریم و این زمان از تمام عناصر کاری بزرگ تر است:

برای حل این مسائل قدم های زیر را طی می کنیم:

قدم اول: تعیین زمان سیکل

✓ گاهی مستقیماً مقدار زمان سیکل در سوال داده شده است.

✓ گاهی زمان سیکل به صورت تعداد ورودی ها یا خروجی ها و درصد ضایعات داده می شود که باید از رابطه زیر استفاده کنیم.

$$C = \frac{\text{کل زمان در دسترس}}{\text{نیاز}} \times R$$

که طبیعتاً میزان نیاز را باید از روش هایی که در فصل ۴ در مدل های افت در خط معرفی کردیم بدست آوریم البته در مسائل بالانس خط موارد پیش پا افتاده و ساده مدل های افت مورد سوال قرار می گیرد.

قدم دوم: تعیین ایستگاه های کاری به شکلی که:

- ✓ هر ایستگاه کاری از مجموعه ای از عناصر کاری تشکیل شده است.
- ✓ هر ایستگاه کاری باید زمانش از زمان سیکل کمتر باشد.
- ✓ در هر ایستگاه کاری باید فعالیت هایی قرار گیرند که یا مجاور باشند یا نزدیک هم باشند.
- ✓ البته از همه مهم تر این که رعایت موارد پیش نیازی شده باشد و هیچ ایستگاهی بدون رعایت مسائل پیش نیازی انتخاب نشده باشد. یعنی وقتی کار در ایستگاهی شروع می شود بدون نیاز به پیش نیازی تا انتها قابل انجام باشد.
- ✓ عناصر کاری تا آنجایی که ممکن است و به زمان سیکل نزدیک تر است به ایستگاه ها اختصاص یابند.

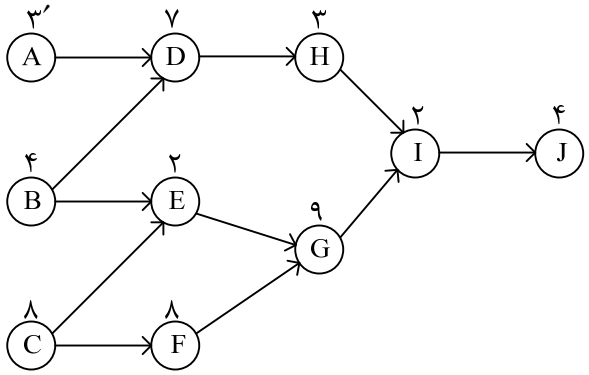
نکته: بهترین الگوریتم برای حل مسائل این فصل روش های ابتکاری است و روش هایی که در برخی کتاب ها معرفی شده اند زمان زیادی برده و مناسب حل کنکور نخواهد بود.

نکته مهم تر: اینکه باید تا آنجا که ممکن است و تقدم و تأخر اجازه می دهد تعداد ایستگاه ها را حداقل کرد.

مسئله با حل یک مثال کاملاً روشن می شود:

irmgn.ir

اگر زمان مفید روزانه ۸ ساعت باشد و ۴۸ قطعه از محصولی در روز مورد نیاز باشد، تعداد ایستگاه های کاری و زمان بیکاری را مشخص کنید:



قدم اول)

$$CT = \frac{480}{48} = 10 \quad \text{دقیقه}$$

$$\rightarrow \text{حداقل ایستگاه های کاری} = \frac{50}{10} = 5 \quad \text{ایستگاه}$$

منتها می دانیم که این مقدار در حالت تئوری است و باید مقدار عملی را معین کنیم.

قدم دوم)

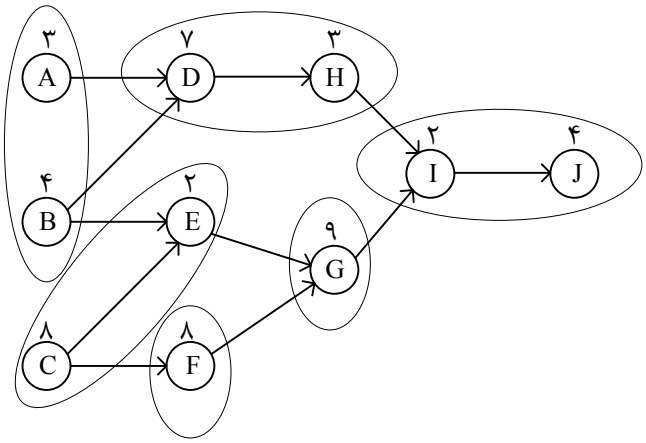
✓ زمان هیچ ایستگاهی نباید بیشتر از ۱۰ شود.

✓ رعایت تقدم و تأخر شود. مثلاً نمی توان ایستگاهی با حضورعناصر کاری C و I تعریف کرد. زیرا چنین ایستگاهی کارش را با فعالیت C شروع می کند اما در ادامه نمی تواند پس از اتمام کار C به سراغ کار I برود زیرا این کار نیازمند انجام کارهای F,G,E است.

پس فراموش نکنید کار در یک ایستگاه قابل قطع کردن نیست و اگر شروع شد باید بتواند بدون هیچ مشکلی از بابت پیش نیاز ها به اتمام برسد.

بدین ترتیب از ابتدای خط شروع به تخصیص می کنیم:

irmgn.ir



ایستگاه اول: A , B زمان ۷

ایستگاه دوم: E , C زمان ۱۰

ایستگاه سوم: F زمان ۸

ایستگاه چهارم: H , D زمان ۱۰

ایستگاه پنجم: G زمان ۹

ایستگاه ششم: I , J زمان ۶

$$\text{زمان بیکاری} = (6\times 10) - \sum t_i = 60 - 50 = 10$$

$$\text{راندمان خط} = R = \frac{50}{60} = \frac{5}{6}$$

نکته: در این حالت در هر ایستگاه کاری یک اپراتور قرار می دهیم.

۳-۵- بالانس خط در حالتی که مقدار زمان سیکل را نداریم:

در این حالت برای قدم اول یعنی تعیین زمان سیکل، کافی است زمان بزرگ ترین عنصر کاری را به عنوان زمان سیکل در نظر گرفته و مسئله را مثل حالت قبل حل کنیم.

نکته قابل توجه در این فصل این است که تنها و تنها با حل تمرین های فراوان می توان قدرت بالانس نمودارهای مختلف را به دست آورد.

۴-۵- بالانس خط در حالتی که زمان سیکل حداقل از یک عنصر کاری کوچک تر است.

در حالت های قبل که زمان سیکل بیشتر از کلیه عناصر کاری است و هر ایستگاه گاهی بیش از یک عنصر کاری را شامل می شود، به هر ایستگاه یک اپراتور اختصاص می دهیم اما در حالتی که زمان سیکل حداقل از یک عنصر کاری کوچک تر است در هر ایستگاه یک نفر فعالیت نمی کند و برخی ایستگاه ها (شامل همان ایستگاه هایی که شامل عنصری با زمان بزرگ تر از زمان سیکل هستند)

irmgn.ir

نیازمند بیش از یک اپراتور هستند بدیهی است که اینگونه ایستگاه ها هرگز بیشتر از یک عنصر کاری ندارند، مسائل مورد طرح در این بخش تعیین تعداد اپراتور های مورد نیاز سیستم و راندمان سیستم است که به صورت زیر بدست می آید:

$$\text{تعداد اپراتورهای ایستگاه} = \left\{ \frac{\text{زمان ایستگاه}}{C} \right\} \Rightarrow \text{رند به سمت بالا}$$

و در این حالت بازده سیستم به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R = \frac{\text{کل تعداد نیروی انسانی در حالت تئوری (رند شده)}}{\text{کل نیروی انسانی در حالت رند شده (عملی)}} \rightarrow \frac{\sum t_i}{CT}$$

در این حالت نیز مثل قبل: ابتدا زمان سیکل مشابه فرمول قدم اول بخش ۱-۵ محاسبه کرده و سپس تعداد اپراتور هر ایستگاه را معین می کنیم.

مثال: مونتاژ محصولی از ۸ عملیات مختلف تشکیل شده است که در ۸ ایستگاه به شکل جدول زیر انجام می شوند، اگر بخواهیم در یک شیفت با زمان ۸ ساعت و ۱۰ دقیقه، ۷۰۰ واحد تولید کنیم، حداقل به چند نیروی انسانی نیازمندیم؟

عملیات	زمان (دقیقه)
۱	۱/۲۵
۲	۱/۳۸
۳	۲/۸۸
۴	۳/۹۸
۵	۱/۲۷
۶	۱/۲۹
۷	۲/۴۸
۸	۱/۲۸

حل:

قدم اول: محاسبه زمان سیکل:

$$C = \frac{490}{700} = 0/7 \quad \text{دقیقه}$$

قدم دوم: با توجه به این که تمام زمان ها از زمان سیکل بزرگ تر هستند باید زمان های عملیات را برزمان سیکل تقسیم و تعداد نیروی انسانی لازم در هر ایستگاه را معین کنیم. (با روند رو به بالا)

irmgn.ir

عملیات	زمان	نیروی انسانی مورد نیاز	
۱	۱/۲۵	۱/۷۸	$\frac{1.25}{0.7}=1.78 \leftarrow$
۲	۱/۳۸	۱/۹۷	$\frac{1.38}{0.7}=1.97 \leftarrow$
۳	۲/۸۸	۴/۱۱	
۴	۳/۹۸	۵/۶۸	
۵	۱/۲۷	۱/۸۱	
۶	۱/۲۹	۱/۸۴	
۷	۲/۴۸	۳/۵۶	
۸	۱/۲۸	۱/۸۲	

در نهایت مقدار عملی نیروی انسانی هر ایستگاه برابر با روند اضافی اعداد ستون سوم جدول بالا می باشد که به شرح زیر خواهد بود:

عملیات	نیروی انسانی
۱	۲
۲	۲
۳	۵
۴	۶
۵	۲
۶	۲
۷	۴
۸	۲
	۲۵ نفر ← تعداد نیروی انسانی در حالت عملی (رند شده)

برای محاسبه راندمان باید ابتدا تعداد نیروی انسانی را در حالت تئوری معین کنیم:

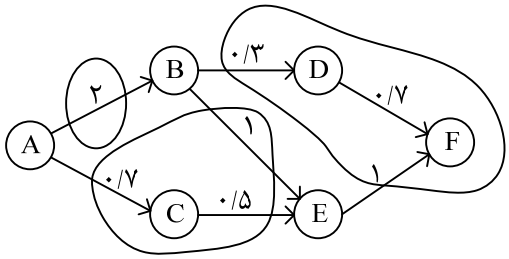
irmgn.ir

$$\text{تعداد نیروی انسانی در حالت تئوری} = \frac{\sum t_i}{C} = \frac{1/25+1/38+2/88+\cdots+1/28}{0/7} = 23$$

$$R = \frac{\text{کل تعداد نیروی انسانی در حالت تئوری (رند شده)}}{\text{کل نیروی انسانی در حالت رند شده (عملی)}} \Rightarrow R = \frac{23}{25}$$

۵-۵- چند مثال:

مثال ۱- در شبکه زیر قرار است در یک روز کاری ۸ ساعته و ۲ استراحت ۲۰ دقیقه ای ۲۰۰ قطعه تولید شود. تعداد ایستگاه ها و راندمان سیستم را معین کنید:



$$CT = \frac{440}{200} = 2/2$$

خط دارای ۳ ایستگاه است:

ایستگاه اول: کمان AB

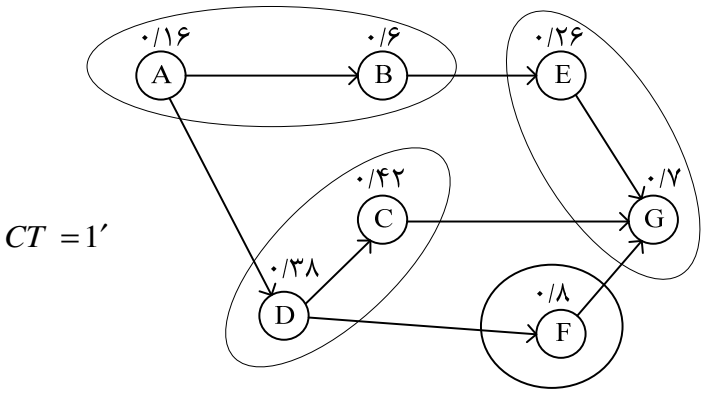
ایستگاه دوم: کمان های AC , CE , BE

ایستگاه سوم: کمان های BD , DF , EF

$$R = \frac{\sum t_i}{n.c} = \frac{6/3}{3\times 2/2} = 95/4$$

مثال ۲- در شبکه زیر اگر سیکل نهایی دلخواه یک دقیقه باشد، تعداد ایستگاه ها چقدر است؟

irmgn.ir



$CT = 1'$

بر اساس ۱ دقیقه ایستگاه ها را معین می کنیم و به ۴ ایستگاه می رسیم:

ایستگاه اول: A , B با زمان ۰/۷۶

ایستگاه دوم: C , D با زمان ۰/۸

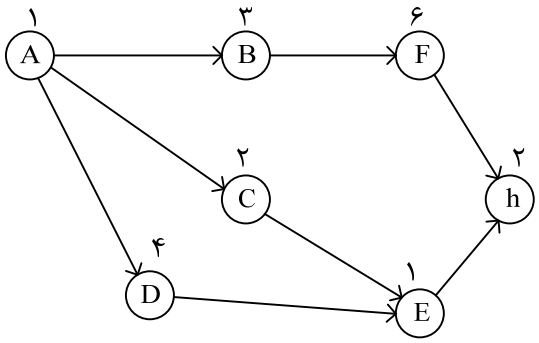
ایستگاه سوم: F با زمان ۰/۸

ایستگاه چهارم: E , G با زمان ۰/۹۶

چون زمان هیچ یک از ایستگاه ها به یک نرسید پس زمان سیکل ما ۰/۹۶ است پس داریم:

$$R = \frac{3/28}{4 \times 0/96} = 85/41$$

مثال ۳- اگر $CT = 5$ چند ایستگاه داریم:



در حل این مسئله ممکن است ۲ کار زیر را انجام دهید:

الف)

۱- ایستگاه اول← A,B ← زمان ۴ دقیقه ← زمان بیکاری ۱ دقیقه

۲- ایستگاه دوم← D ← زمان ۴ دقیقه ← زمان بیکاری ۱ دقیقه

۳- ایستگاه سوم← C,E,h ← زمان ۵ دقیقه

۴- ایستگاه چهارم← F ← زمان ۶ دقیقه ← زمان بیکاری ۴ دقیقه

irmgn.ir

در این حالت ۴ ایستگاه داریم که ۳ تای آن با یک کارگر و یکی با ۲ کارگر خواهد بود و زمان بیکاری نیر برابر ۶ دقیقه خواهد بود.

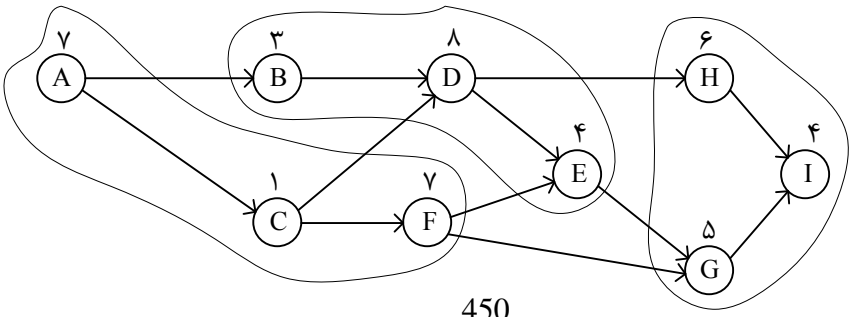
حالت دوم:

ایستگاه اول← A,D ← زمان ۵ دقیقه

ایستگاه دوم← B,C ← زمان ۵ دقیقه

ایستگاه سوم← F,h,E ← زمان ۹ دقیقه در این حالت تنها یک دقیقه بیکاری داریم. و به ۳ ایستگاه که ۲ تای آنها دارای یک اپراتور و یکی دارای ۲ اپراتور است می رسیم که شرایط مناسب تری است.

مثال ۴- ۳۰ عدد از محصول در روز نیاز است. هر روز ۸ ساعت کاری با دو استراحت ۱۵ دقیقه ای می باشد. تعداد ایستگاه ها و راندمان خط چقدر است؟



$$CT = \frac{450}{30} = 15$$

۳ ایستگاه خواهیم داشت:

ایستگاه اول: F,C,A با زمان ۱۵

ایستگاه دوم: E,D,B با زمان ۱۵

ایستگاه سوم: H,I,G با زمان ۱۵

⇐ زمان بیکاری نیز صفر است. پس داریم: $R = 100$

مثال ۵- کل تعداد نیروی انسانی لازم را در خطی که تقاضای آن ۵۰ واحد و ساعت کار آن ۸ ساعت با راندمان ۹۳/۸ درصد چقدر است؟ راندمان را نیز محاسبه کنید.

عملیات	زمان
۱	۱۸/۵
۲	۱۵/۵
۳	۱۴/۳
۴	۲۵/۷

irmgn.ir

۵	۲۹/۱
۶	۳۳/۸
۷	۴/۱

$$CT = \frac{480}{50} \times 0/938 = 9'$$

تعداد اپراتور در حالت تئوری $= \frac{141}{9} = 15/6 \square 16$ نفر

در جدول زیر نیروی انسانی عملی را محاسبه می کنیم:

عملیات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمان	۱۸/۵	۱۵/۵	۱۴/۳	۲۵/۷	۲۹/۱	۳۳/۸	۴/۱
نیروی انسانی	۳	۲	۲	۳	۴	۴	۱

$$\frac{18/5}{9} = 2/05 \square 3 \qquad \frac{15/5}{9} \square 2$$

$$\Rightarrow \text{تعداد اپراتور در حالت عملی} = 19 \text{ نفر}$$

$$\Rightarrow R = \frac{16}{19} = 0/842$$

۶-۵- تعیین منابع مورد نیاز برای حالتی که از خط تولید (استقرار محصولی) استفاده می کنیم:

در این حالت هر منبع در هر ایستگاه تنها یک بار محاسبه می شود یعنی مثلاً در جدول زیر:

	منبع مورد نیاز	عملیات	ایستگاه
A,B,C,D,E تنها یک بار	A,B,C B,C C,D,E	۱ ۲ ۳	۱
E,D,C,B,A تنها یک بار	A,B C,D E,A A,B,C,D	۳ ۵ ۶ ۷	۲
A,B,C,D تنها یک بار	A,B A C D,C	۸ ۹ ۱۰ ۱۱	۳

irmgn.ir

یعنی در مجموع تنها ۳ منبع از A ، ۳ منبع B ، ۳ منبع C و ۳ منبع D و ۲ منبع E مورد نیاز است.

۷-۵-تعیین فضاهای مورد نیاز:

در تعیین فضاهای مورد نیاز برای انبار ها یا هر مکان دیگری کافی است تعداد کالا ها را بر اساس کارتن ها و مساحت آنها که یک ضرب و تقسیم ساده است بدست آوریم، سپس در تعیین فضای کل اگر در سوال گفته بود مثلاً ۱۰ درصد از فضای کل انبار فضای راهرو است باید عدد بدست آمده را بر ۰/۹ تقسیم کنیم و اگر گفته باشد ۱۰ درصد فضای مجاز انبار برای راهرو ها استفاده می شود باید در ۱/۱۰ ضرب کنیم.

فصل ششم

روش های استقرار دستی

۱-۶- منظور از استقرار چیست؟

الگویی است برای هر یک از بخش ها جهت نشان دادن مساحت هر بخش و نحوه چیدمان بخش ها در کنار یکدیگر که بر اساس ارتباطات کمی یا کیفی می تواند باشد.

روش های استقرار بر دو دسته عمده ی:

- ✓ روش های دستی
- ✓ روش های کامپیوتری

تقسیم بندی می شود. روش های کامپیوتری اغلب بر اساس روش های دستی شکل گرفته اند. ضمناً روشهای ارائه شده اغلب روش های ابتکاری هستند و هیچ کدام جواب بهینه واقعی را نمی دهند.

مهمترین اطلاعات ورودی برای طرح استقرار عبارتند از:

- ✓ اطلاعات مربوط به حجم جریان مواد (نمودار از – به)
- ✓ رابطه بین بخش ها (نمودار رابطه بین فعالیت ها)
- ✓ فضای بخش ها → (طول و عرض مورد نیاز هر بخش) → مساحت بخش ها
- ✓ هزینه حمل ونقل → هزینه جابجایی
- ✓ محدودیت ها

انواع روش های دستی نیز عبارتند از:

- ✓ روش مارپیچ یا حلزونی

irmgn.ir

✓ روش خط مستقیم
✓ روش جدول بندی سفر
✓ روش الگویی
✓ روش توالی تقاضا

نکته: در هر روش کافی است به هدف دقت کنید تا به راحتی بتوانید مسائل هر روش را حل کنید.

۲-۶- روش مارپیچی یا حلزونی:

❋ **اطلاعات اولیه مورد نیاز:**

۱- نمودار از – به
۲- مساحت بخش ها

❋ **هدف:** حداکثر کردن جریان میان بخش های مجاور و حداقل کردن جریان میان بخش های غیر مجاور

این روش یک روش کمی است. و برای رسیدن به هدف لازم است که معیاری برای مقایسه حالات مختلف داشته باشیم. لذا معیار ارزیابی یا کارآیی به شکل زیر معرفی می شود:

$$\text{معیار ارزیابی(حداقل شود)} = \frac{\text{حجم جریان میان بخش های غیر مجاور}}{\text{حجم کل جریان}}$$

و البته معیار کارآیی نیز به شکل زیر بدست می آید:

معیار ارزیابی -۱ = معیار کارآیی ← حداکثر شود

این معیار در واقع با هم معادل هستند و رسیدن به هر کدام دیگری را نیز نتیجه می دهد. یعنی حداقل کردن معیار ارزیابی، حداکثر شدن معیار کارآیی را نتیجه می دهد.

در سوالات کنکور اغلب با دادن نحوه چیدمان بخش ها و نمودار از – به، معیار ارزیابی را مورد سوال قرار می دهد و یا این سوال را مطرح می کند که بر اساس نمودار از – به کدام یک از استقرار های زیر مناسب تر است که کافی است با استفاده از معیار ارزیابی مقایسه ای میان گزینه ها صورت گیرد و هر کدام کمتر بود به عنوان جواب سوال انتخاب شود.

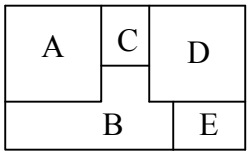
اگر لازم بود بر اساس این روش استقرار را از ابتدا مشخص کنیم گامهای زیر را دنبال می کنیم:

۱- دپارتمان ها را دو به دو به صورت نزولی بر حسب مقدار جریان فی مابین مرتب می کنیم.
۲- بدون در نظر گرفتن مساحت ها، دپارتمان ها را بر اساس قدم اول طوری کنار هم قرار می دهیم که

irmgn.ir

مقدار جریان میان دپارتمان های همسایه حداکثر شود.

مثال: با استفاده از روش حلزونی معیار ارزیابی چیدمان زیر را بدست آورید:

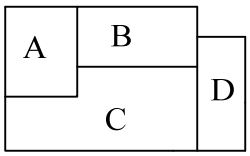


	A	B	C	D	E
A	-	۱۰	۵	۲۰	۱۵
B	-	-	۱۰	۳۰	۴۵
C	۱۰	-	-	۲۰	۱۰
D	-	۱۰	-	-	۱۵
E	۱۵	۱۰	-	۲۰	-

$AD + AE + CE$

$$\text{معیار ارزیابی} = \frac{\text{حجم جریان بخش های غیر مجاور}}{\text{کل جریان}} = \frac{۲۰+۱۵+۱۰}{۲۴۵} = \frac{۴۵}{۲۴۵}$$

مثال: بر اساس چیدمان روبرو، معیار ارزیابی را محاسبه کنید.



	A	B	C	D
A	-	۴۰	۳۰	۲۰
B	۲۰	-	۳۰	۴۰
C	-	۲۰	-	۴۰
D	-	-	-	-

نکته: هر گاه در سوالی از معیار ارزیابی نام برد منظور همان روش حلزونی است.

AD

$$\text{معیار ارزیابی} = \frac{۲۰}{۲۴۰} = \frac{۱}{۱۲}$$

۳-۶- روش خط مستقیم:

اطلاعات ورودی:

۱- مساحت هر بخش:

۲- حجم جریان مواد میان بخش ها

irmgn.ir

۳- مسیر و روند ساخت

هدف: حداقل کردن برگشت عقب ها

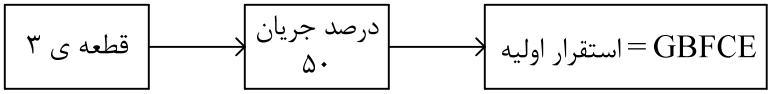
در واقع در این روش باید جریان مستقیم و رو به جلو حداکثر شود. ضمن اینکه مهم نیست که مسیر حتماً یک خط مستقیم باشد. بلکه شاید حتی یک مسیر مارپیچ یا زیگزاگ باشد اما مهم این است که برگشت به عقب نداشته باشیم.

با یک مثال به راحتی می توان قدم های حل مسأله را تشریح کرد. معمولاً در مسائل به عنوان ورودی جدولی شبیه جدول زیر داریم:

قطعه	سیستم تولید	درصد جریان
۱	ABDE	۳۰
۲	BCD	۱۰
۳	GBFCE	۵۰
۴	CDE	۱۰

قدم های حل مسأله به شرح زیر است:

۱- قطعه ای را که بیشترین درصد جریان را دارد انتخاب کرده و مسیر تولید آنرا به ترتیب می نویسیم. این استقرار اولیه است:



۲- پس از آن به سراغ دومین قطعه ای که بالاترین حجم جریان را دارد می رویم و اینکار را تا زمانی ادامه می دهیم که تمام بخش ها در استقرار قرار بگیرند. بخش هایی که قرار است به استقرار اولیه اضافه شوند را با همان ترتیب در میان استقرار اولیه جا می دهیم یعنی در مثال ما قطعه اول دومین حجم جریان را دارد پس:

ABDE

باید به ترتیب باشند در این میان بخش های E و B قبلاً استقرار یافته اند و تنها بخش های A و D را باید اضافه کرد. بخش A لازم است که قبل از B قرار گیرد و بخش D نیز پس از B قرار گیرد. پس داریم:

GABDFCE

نکات:

✓ در این روش فاصله مهم نیست و تنها تقدم و تأخر بخش ها مهم است. یعنی مثلاً اگر لازم بود بخش B بعد از A قرار گیرد، تنها کافی است B پس از A باشد و این که چند دپارتمان میان B و A فاصله

irmgn.ir

باشد اهمیتی ندارد.

✓ قدم ها را تا انتها و برای تمام قطعات ادامه دهید تا بهترین چیدمان به دست آید.

مثال: با توجه به جدول زیر استقرار را براساس روش خط مستقیم معین کنید:

قطعه	مسیر	درصد وزنی
۱	DBF	۲۰
۲	ADEH	۳۰
۳	CDFHG	۱۰
۴	ACDG	۱۴
۵	BEFHG	۸
۶	BDEFH	۱۸

قدم اول: $A \quad D \quad E \quad H \rightarrow$ قطعه ۲

قدم دوم: $A \quad D \quad E \quad H \quad B \quad F \rightarrow$ قطعه ۱

در این قدم مشخص می شود که BF باید پس از D باشند.

قدم سوم: $A \quad D \quad B \quad E \quad F \quad H \rightarrow$ قطعه ۶

در این قدم دپارتمان های EFH ترتیبشان معلوم می شود زیرا تا قدم دوم تنها ترتیب BF و EH را می دانستیم و این که باید پس از D باشند.

قدم چهارم: $A \quad C \quad D \quad G \quad B \quad E \quad F \quad H \rightarrow$ قطعه ۴

در این قدم C را باید میان D و A قرار داد و G نیز هر جایی پس از D می رود.

قدم پنجم: $A \quad C \quad D \quad B \quad E \quad F \quad H \quad G \rightarrow$ قطعه ۳

در این قدم ترتیب FHG معلوم شد.

قدم ششم: $A \quad C \quad D \quad B \quad E \quad F \quad H \quad G \rightarrow$ قطعه ۵

در این قدم ترتیب BE هم معلوم شد و این استقرار نهایی است.

۴-۶- روش جدول بندی سفر:

اطلاعات ورودی:

۱- نمودار از- به جریان

۲- نمودار از- به مسافت یا فاصله میان بخش ها

۳- مساحت هر بخش

irmgn.ir

هدف: حداقل کردن گشتاور حمل و نقل که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{Min } Z = \text{حجم جریان} \times \text{فاصله}$$

که به صورت ضرب درایه ای (و نه ماتریسی) چند نمودار از-به می باشد.

جهت بهبود باید:

- ✓ حجم جریان حول قطر اصلی زیاد شود.
- ✓ حجم جریان زیر قطر اصلی تا حد امکان کم شود.

حالت ایده آل این است که جریان زیر قطر اصلی صفر باشد.

قدم های حل مسئله به شرح زیر است:

گام اول: ابتدا ماتریس هزینه کل یا همان ماتریس گشتاور را به دست آورید. این ماتریس از ضرب متناظر ماتریس های فاصله، حجم جریان و . . . به دست می آیند یعنی لازم نیست ضرب ماتریسی انجام شود و تنها اعداد متناظر را در هم ضرب می کنیم.

گام دوم: با جمع کردن اعداد ماتریس به دست آمده شاخص نمودار سفر را به دست آورید. این شاخص هر چه کمتر باشد بهتر است.

گام سوم: با جابجایی بخش ها (به همان صورتی که در نمودار از- به آموزش دادیم) سعی کنید این مقدار را حداقل کنید. در این مسائل باید تنها در یکی از ماتریس ها (که معمولاً ماتریس فاصله است) جابجایی انجام گرفته و سپس به مجدداً گام اول برویم.

نکته: در این روش اغلب فاصله ها به صورت مرکز به مرکز در نظر گرفته می شود.

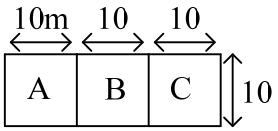
مثال: طرح استقرار اولیه ۳ دپارتمان و جداول از- به و حجم جریان داده شده است. هزینه حمل و نقل چقدر است؟

جریان

	A	B	C
A	-	۱۰	۱۵
B	۳	-	-
C	۵	۲	-

هزینه

	A	B	C
A	-	۵	۸
B	۵	-	۱
C	۸	۱	-



حل: ابتدا بایست ماتریس فاصله را به دست آوریم:

	A	B	C
A	-	۱۰	۲۰

irmgn.ir

B	۱۰	-	۱۰
C	۲۰	۱۰	-

حال هر سه ماتریس را در هم ضرب می کنیم و کل اعداد را با هم جمع کرده و هزینه کل را محاسبه می کنیم:

$$\text{هزینه کل} = (5\times10\times10)+(8\times15\times20)+(5\times3\times10)+(1\times0\times10)$$
$$+(8\times5\times20)+(1\times2\times10)=3870$$

۵-۶- روش توالی تقاضا:

در این روش خط تولید باید به شکل استقرار محصولی باشد.

- در این روش معمولاً جدول مسیر تولید هر قطعه و حجم جریان آن داده می شود.

الگوریتم حل:

قدم اول: ابتدا جدول ماشین- مکان را به دست می آوریم. این جدول یک جدول مربع شکل است و اگر n ماشین داشتیم، n محل هم داریم. با توجه به مسیر تولید و حجم جریان هر قطعه میزان حجم جریان هر ماشین را در صورت قرارگیری در هر مکان را در جدول می نویسیم. (ماشین ها در هر سطر و مکان ها در هر ستون)

قدم دوم: جمع کل جریان هر ماشین را با جمع زدن اعداد هر سطر به دست می آوریم.

قدم سوم: جمع وزنی هر ماشین را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کنید:

(حجم جریان× وزن مکان) = جمع وزنی

قدم چهارم: میانگین وزنی هر ماشین را با تقسیم جمع وزنی بر جمع کل محاسبه کنید.

قدم پنجم: میانگین های وزنی به دست آمده را به ترتیب از کم به زیاد مرتب کنید. این همان طرح استقرار است.

مثال: با توجه به جدول زیر و با استفاده از روش توالی تقاضا طرح استقرار را معلوم کنید:

قطعه ی	مسیر تولید	حجم تولید
۱	ABCDE	۵۰
۲	BCDEA	۳۰
۳	CDEAB	۱۰
۴	ACDEB	۱۰

۵ ماشین A, B, C, D , E را داریم پس ۵ مکان هم داریم. به طور مثال ماشین A در ۲ قطعه ی ۱ و ۴ در مکان اول قرار گرفته است پس حجم جریان ماشین A در مکان اول ۶۰ واحد است.

irmgn.ir

مکان / ماشین	۱	۲	۳	۴	۵	جمع کل	جمع وزنی	میانگین وزنی
A	۶۰	-	-	۱۰	۳۰	۱۰۰	۲۵۰= (۱۵۰+۴۰+۶۰)	۲۵۰/۱۰۰=۲/۵
B	۳۰	۵۰	-	-	۲۰	۱۰۰	۲۳۰	۲/۳
C	۱۰	۴۰	۵۰	-	-	۱۰۰	۲۴۰	۲/۴
D	-	۱۰	۴۰	۵۰	-	۱۰۰	۳۴۰	۳/۴
E	-	-	۱۰	۴۰	۵۰	۱۰۰	۴۴۰	۴/۴

(۳×۱۰)+(۴×۴۰)+(۵۰×۵۰) =۴۴۰

$\Rightarrow$ طرح استقرار $= BCADE$

۶-۶- روش الگویی:

این روش برخلاف روش های قبلی از جدول رابطه میان فعالیت ها استفاده کرده و در واقع یک روش کیفی است.

- اطلاعات ورودی:
  ۱- نمودار رابطه ی بین فعالیت ها
  ۲- مساحت هر بخش

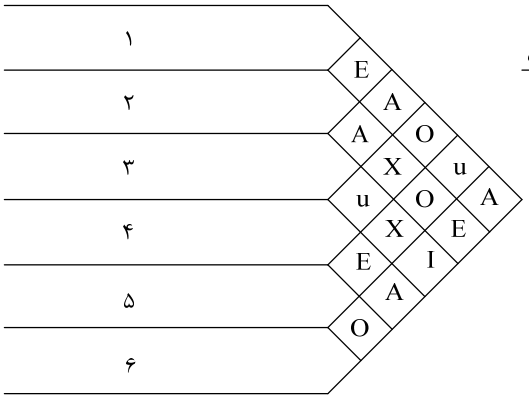
- هدف: حداکثر کردن درجه فیزیکی میان بخش ها، در واقع هدف این روش در کنار هم قرار دادن دپارتمان هایی است که بیشترین درجه نزدیکی را دارند.

- در این روش باید با توجه به وزن هر درجه نزدیکی مجموع درجه فیزیکی میان بخش های مجاور را حداکثر کرد، معمولاً در سؤالات عدد معادلی برای هر درجه نزدیکی داده می شود. که در این صورت با جمع کردن عدد درجه نزدیکی بخش های مجاور، بیشترین مقدار، بهترین استقرار است اما اگر این اعداد معادل داده شده باشد بهترین استقرار را از بررسی تعداد A ها و X ها بررسی می کنیم و کاری به دیگر درجات نداریم. و استقراری بهتر است که بیشترین تعداد A و بدون هیچ X در کنار هم باشد.

مثال: نحوه ی استقرار در کدام یک از گزینه های زیر مناسب تر است؟ اگر برای هر درجه نزدیکی، وزنی معادل جدول زیر در نظر بگیریم:

irmgn.ir

درجه نزدیکی	A	E	I	O	u	X
وزن	۶	۵	۴	۳	۲	۰



۱)

۶	۱	۵
۴	۳	۲

۲)

۲	۴	۳
۱	۶	۵

۳)

۳	۱	۴
۲	۶	۵

۴)

۵	۲	۱
۶	۳	۴

برای حل این مسائل ابتدا گزینه هایی که دارای درجه ی X باشند را حذف کنید. سپس بخش های مجاور را به دست آورده و درجه نزدیکی آنها را با هم جمع کنید، در هر کدام عدد بزرگ تری به دست آمد آن گزینه بهتر است:

در سؤال بالا گزینه ۲ به دلیل رابطه ی X میان ۲-۴ و ۳-۵ که مجاور هستند حذف می شود.

حال گزینه های دیگر را باید مقایسه کنیم:

گزینه (۱)

$$(1,3)+(1,5)+(1,6)+(2,3)+(2,5)+(3,4)+(4,6)=31$$
$$A \quad u \quad A \quad A \quad O \quad u \quad A$$

گزینه (۳)

$$(1,3)+(1,4)+(1,6)+(2,6)+(2,3)+(6,5)+(4,5)=34$$
$$A \quad O \quad A \quad E \quad A \quad O \quad E$$

گزینه (۴)

$$(5,2)+(6,3)+(5,6)+(2,3)+(2,1)+(3,4)+(1,4)=26$$
$$O \quad I \quad O \quad A \quad E \quad u \quad O$$

پس پاسخ گزینه سوم است.

irmgn.ir

نکته ۱- در یادگیری روش های مختلف استقرار لازم نیست دقیقاً روش را و چگونگی به دست آمدن طرح استقرار را فرا گیرید. بلکه کافی است به این نکته توجه کنید که کدام بخش ها قابلیت طرح سؤال دارند و آن ها را فرا گیرید. در این کتاب سعی شده تمام مطالبی که قابلیت طرح سؤال دارند آموزش داده شود و به مسائلی که به درد کنکور نمی خورند توجهی نشده است.

نکته ۲- دو دپارتمان در صورتی همسایه هستند که دارای مرز مشترک باشند.

نکته ۳- در قرار گیری بخش ها کنار هم، بخشی که دارای بیشترین درجه نزدیکی با سایرین است در مرکز قرار می گیرد.

فصل هفتم

روش های استقرار کامپیوتری

الگوریتم ها و نرم افزارهای کامپیوتری استقرار اغلب براساس روش های دستی شکل گرفته اند و بر همین اساس روش هایی ابتکاری هستند و جواب بهینه را تضمین نمی کنند، اما به دلیل استفاده از کامپیوتر ساختار بهتری داشته و سریع تر عمل می کنند.

الگوریتم های کامپیوتری به دو دسته ی سازنده و بهبود دهنده تقسیم می شوند.

۱- الگوریتم های سازنده:

این الگوریتم ها استقرار را خودشان می سازند و استقرار اولیه به عنوان ورودی به آنها داده نمی شود.

این الگوریتم ها عبارتند از:

کیفی
- ۱- آلدپ Aldep
- ۲- کورلپ Corelap

irmgn.ir

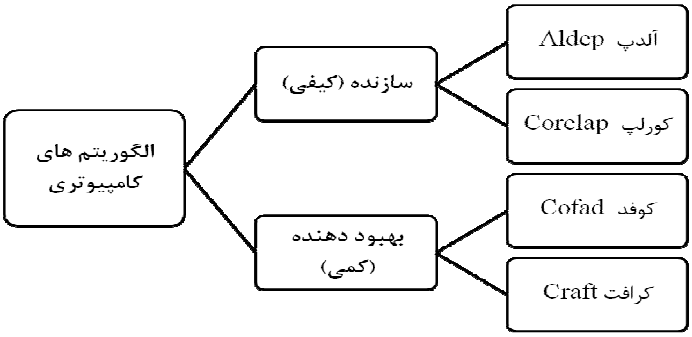
۲- الگوریتم های بهبود دهنده:

در این الگوریتم ها یک استقرار اولیه به عنوان داده به نرم افزار وارد می شود و نرم افزار آن را بهبود می دهد. این الگوریتم ها عبارتند از:

۱- کوفد Cofad
۲- کرافت Craft
} کمی

* لازم به ذکر است الگوریتم پلانت (Planet) نیز هم سازنده و هم بهبود دهنده است. هر چند در اغلب مراجع به عنوان الگوریتم سازنده معرفی شده است.

نکته: الگوریتم های کرافت و کوفد الگوریتم های کمی و آلدپ و کورلپ الگوریتم های کیفی هستند.



۱-۷- الگوریتم کرافت:

- ✓ الگوریتم کرافت یک روش کمی و بهبود دهنده است.
- ✓ اولین الگوریتمی است که به منظور طراحی کارخانه ساخته شده است.
- ✓ این الگوریتم توسط بوفا و آرمور (Buffa , Armonr) در سال ۱۹۶۳ تهیه گردید.
- ✓ هدف الگوریتم حداقل کردن هزینه حمل و نقل است.
- ✓ در نظر گرفتن چند نوع سیستم حمل و نقل از مزایای آن محسوب می شود. مثلاً: می تواند هزینه واحد بار میان بخش های مختلف را متفاوت در نظر بگیرد.
- ✓ تا ۴۰ بخش ۳۰×۳۰ را می تواند بپذیرد.
- ✓ مسافت ها در کرافت به صورت پله ای محاسبه می شود و مرکز به مرکز است.

ورودی های کرافت:

- ✓ طرح استقرار اولیه
- ✓ نمودار از- به
- ✓ ماتریس هزینه حمل و نقل بین دپارتمان ها

irmgn.ir

- ✓ تعداد دپارتمان هایی که محلشان ثابت است. (معمولاً راهروها و ستون ها را ثابت در نظر می گیریم)

مراحل الگوریتم کرافت:

قدم اول- ابتدا یک طرح به عنوان استقرار اولیه به برنامه داده می شود.

قدم دوم- مرکز ثقل بخش ها را در نظر گرفته و فاصله ی میان بخش ها را معین می کند. (فواصل به صورت پله ای و مرکز به مرکز است)

قدم سوم- نرم افزار ماتریس هزینه را محاسبه می کند:

ضرب ها به صورت متناظر انجام می شود.

$$\text{هزینه طرح} = \left[\text{جدول از- به مسافت}\right] \times \left[\text{از- به هزینه}\right] \times \left[\text{از- به حجم جریان}\right] \times \ldots$$

قدم چهارم- با جابه جایی بخش ها، هزینه استقرارهای مختلف را معین می کند. نکته قابل توجه این که در جابجایی دو بخش کافی است یکی از ماتریس ها را که همان ماتریس مساحت است تغییر دهیم.

قدم پنجم- در نهایت طرحی که حداقل هزینه را داشت بهترین است.

نکات:

نکته ۱- الگوریتم کرافت جواب بهینه را نمی دهد زیرا تمام ترکیبات مختلف را در نظر نمی گیرد.

نکته ۲- خروجی نهایی تا حد زیادی به ورودی اولیه بستگی دارد. چرا؟ → نکته ۳

نکته ۳- در این الگوریتم تنها تعویض های:

- ✓ ابتدا ۲تایی
- ✓ سپس ۳ تایی
- ✓ سپس ۲ تایی و بعد ۳ تایی
- ✓ تعویض ۳ تایی و بعد ۲ تایی
- ✓ بهترین حالت از میان ۲ تایی ها و ۳ تایی ها

یعنی در کل تنها تعویض های ۲ تایی و ۳ تایی را انجام می دهد.

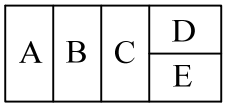
نکته ۴- در تعویض های ۲ تایی یکی از دو شرط زیر باید برقرار باشد تا بتوان جایجائی را انجام داد:

- ✓ بخش های هم مرز
- ✓ بخش های هم مساحت را می تواند جابجا کند و جز این امکان پذیر نیست.

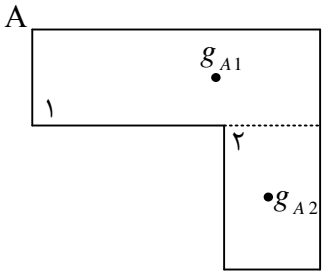
به عنوان مثال:

irmgn.ir

در شکل زیر جابجایی های (A,B) و (B,C) مقدور است اما جابجایی (A,D) مقدور نیست.



نکته ۵- اگر دپارتمان ها دارای اشکال نامتقارن باشند مرکز ثقل آنها به شکل زیر محاسبه می شود:



$$X_{gA} = \frac{S_1}{S_1+S_2} X_{gA_1} + \frac{S_2}{S_1+S_2} X_{gA_2}$$

$$Y_{gA} = \frac{S_1}{S_1+S_2} Y_{gA_1} + \frac{S_2}{S_1+S_2} Y_{gA_2}$$

که gA_1, gA_2 مراکز ثقل دو بخش ۱ و ۲ و S_1 و S_2 مساحت بخش های ۱ و ۲ هستند.

نکته ۶- در این الگوریتم اگر دو بخش جابجا شده دارای مساحت یکسان نباشند هزینه به دست آمده احتمالاً تخمینی خواهد بود اما اگر دو بخش جابجا شده دارای مساحت یکسان باشند هزینه به دست آمده واقعی است.

نکته ۷- این الگوریتم به دنبال آن است که مرکز بخش ها را به هم نزدیک کند.

نکته ۸- خروجی الگوریتم به شکل مثلث چاپ می شود.

نکته ۹- در خط تولید u شکل و دایره ای شکل فضای خالی میان بخش ها را به صورت یک دپارتمان ثابت در نظر می گیریم.

نکته ۱۰- این الگوریتم تا حدودی شبیه روش استقرار دستی جدول بندی سفر است.

۲-۷- الگوریتم Craft-M:

۱- این الگوریتم در واقع شکل توسعه یافته کرافت است.

۲- می تواند بخش های غیرهمسایه یا غیرمساوی از لحاظ مساحت را هم جابجا کند.

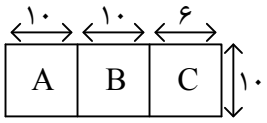
۳- در آن تنها جابجایی های ۲ تایی مجاز است.

۴- این الگوریتم در چیدن دپارتمان ها بسیار شبیه الگوریتم Aldep که در ادامه آن را معرفی خواهیم کرد عمل می کند یعنی از گوشه شمال غربی شروع به چیدن کرده و بخش ها را به طور زیگزاگ

irmgn.ir

می چیند.

مثال: در استقرار اولیه زیر، ماتریس هزینه و جریان را داریم. ابتدا بگویید کدام بخش ها را می توان با الگوریتم کرافت جابجا کرد، سپس با تغییر مکان A و B میزان بهبود تابع هدف را معین کنید.



	A	B	C
A	-	۳	۴
B	۵	-	۱۰
C	۲	۸	-

ماتریس هزینه

	A	B	C
A	-	۵	۱۰
B	۱۵	-	۱۵
C	۱۰	۱۵	-

ماتریس جریان

حل: جابجایی های مجاز: (A,B) و (B,C)، دو بخش A و C را نمی توان جابجا کرد چرا که نه مساحت یکسان دارند و نه مجاورند.

ماتریس فاصله فعلی:

	A	B	C
A	-	۱۰	۱۸
B	۱۰	-	۸
C	۱۸	۸	-

$$\text{هزینه استقرار فعلی} = \begin{bmatrix} - & 5 & 10 \\ 15 & - & 15 \\ 10 & 15 & - \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} - & 3 & 4 \\ 5 & - & 10 \\ 2 & 8 & - \end{bmatrix} \begin{bmatrix} - & 10 & 18 \\ 10 & - & 8 \\ 18 & 8 & - \end{bmatrix} =$$

$$(5\times3\times10)+(10\times4\times18)+(15\times5\times10)+(15\times10\times8)+(10\times2\times18)+(15\times8\times8)=5640$$

ماتریس فاصله در حالت تغییر مکان A و B:

	B	A	C
B	-	۱۰	۸
A	۱۰	-	۱۸
C	۸	۱۸	-

irmgn.ir

$$\text{هزینه استقرار جدید} = \begin{bmatrix} - & 5 & 10 \\ 15 & - & 15 \\ 10 & 15 & - \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} - & 3 & 4 \\ 5 & - & 10 \\ 2 & 8 & - \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} - & 10 & 18 \\ 10 & - & 18 \\ 8 & 18 & - \end{bmatrix} =$$

$$= (5\times3\times10) + (10\times4\times18) + (15\times5\times10) + (15\times10\times18) + (10\times2\times8) + (15\times8\times18) = 6640$$

$$\text{میزان بهبود} = 5640 - 6640 = -1000 \rightarrow \text{تغییر اقتصادی نیست.}$$

۳-۷- الگوریتم Cofad:

- ✓ این الگوریتم یک الگوریتم کمی و بهبود دهنده است.
- ✓ مدل تکامل یافته کرافت است.
- ✓ می تواند سیستم حمل و نقل و استقرار را همزمان در نظر بگیرد و از این لحاظ تنها الگوریتم است. تفاوت آن با کرافت این است که مقایسه میان روش های مختلف حمل و نقل را انجام می دهد اما کرافت نمی تواند.
- ✓ می تواند همزمان و حداکثر ۶ وسیله حمل و نقل گوناگون را همزمان بررسی کند.
- ✓ ابتدا یک طرح اولیه دریافت کرده و آن را توسط Craft بهبود می دهد.
- ✓ توانایی محاسبه فاصله را به صورت خط شکسته یا مستقیم دارد.

اطلاعات ورودی کوفاد:

- ✓ همان اطلاعات کرافت
- ✓ تجهیزات حمل و نقل
- ✓ هزینه انتقال مواد به وسیله تجهیزات مختلف
- ✓ نمودار از- به جریان برای وسایل مختلف حمل و نقل

هدف: حداقل کردن هزینه سیستم انتقال مواد.

مراحل الگوریتم:

قدم ۱- الگوریتم را دریافت و ابتدا توسط Craft آن را بهبود دهد.

قدم ۲- محاسبه هزینه استقرار

قدم ۳- محاسبه هزینه حمل و نقل

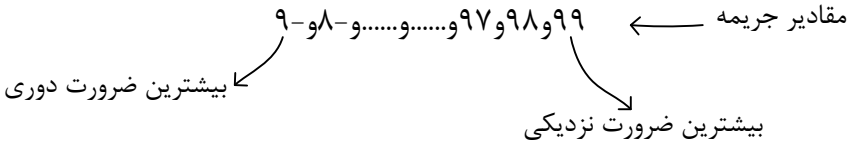
قدم ۴- تکرار جابجایی ها تا رسیدن به بهترین حالت.

۴-۷- الگوریتم پلانت (Planet):

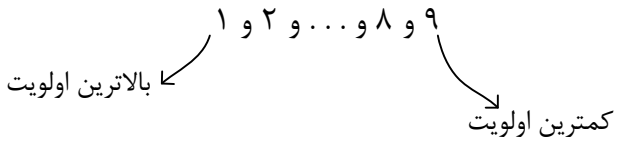
- ✓ این الگوریتم فی مابین الگوریتم های سازنده و بهبود دهنده است و در واقع یکی از بهترین و قوی ترین الگوریتم های سازنده می باشد.
- ✓ روش پلانت یک روش کمی (و به نوعی کیفی) است.

irmgn.ir

- ✓ منعطف ترین الگوریتم است.
- ✓ در این الگوریتم هدف حداکثر کردن ارتباط بین بخش ها است.
- ✓ این الگوریتم اطلاعات ورودی خود را به ۳ حالت می گیرد که همه این حالات نهایتاً به یک جدول از- به تبدیل می شوند:
  - ورودی به صورت ترتیب مراحل ساخت
  - به صورت نمودار (از- به)
  - به صورت نمودار جریمه که اعداد داخل این نمودار از ۹- تا ۹۹+ هستند.



- ✓ اولویت هر بخش برای ورود به طرح استقرار (این اعداد از ۱ تا ۹ هستند)



مثلاً بخش های ارسال و دریافت اولویت ۸ یا ۹ می گیرند.

- ✓ داده های این الگوریت شبیه کرافت است و می تواند به بهبود نیز بپردازد.
- ✓ این الگوریتم با داده های ورودی یکسان می تواند ۳۲ مدل ایجاد کند.
- ✓ داده هایی که در مورد اطلاعات جریان مواد هستند. مثل:
  ۱. برگه مسیر تولید
  ۲. جدول جریمه
  ۳. نمودارهای از- به

به هر نوعی که باشند به شکل جدول هزینه متقابل تبدیل می شوند. این جدول شبیه جدول از- به است با این تفاوت که نسبت به قطر اصلی متقارن است. مثلاً طریقه تبدیل نمودار از- به جریان را به جدول هزینه متقابل مشاهده می کنید:

	A	B	C
A	-	۱۰	۳۵
B	۳۵	-	۷۰
C	۲۰	۳۰	-

→

	A	B	C
A	-	۴۵	۵۵
B	۴۵	-	۱۰۰
C	۵۵	۱۰۰	-

در واقع اعداد متناظر بالا و پایین قطر اصلی را با هم جمع کرده ایم.

irmgn.ir

۱-۴-۷- نحوه ی کار الگوریتم پلانت:

این برنامه طی ۳ فاز حرکت می کند:

فاز ۱: تبدیل اطلاعات ورودی به جدول نرمالیزه شده هزینه متقابل

فاز ۲: تعیین ترتیب ورود دپارتمان ها به طرح استقرار

فاز ۳: چیدن دپارتمان ها کنار هم

۱-۱-۴-۷- فاز اول: فرض کنید برای هر قطعه اطلاعات زیر را داریم:

قطعه	ترتیب ساخت	هزینه حمل	حجم جریان
۱	ABC	۲	۳۰
۲	ACBC	۴	۱۵

ابتدا این جدول را باید به جدول از- به تبدیل کرد:

	A	B	C	
A	-	۶۰	۶۰	→۴×۱۵
B	۰	-	۱۲۰	→(۲×۳۰+۴×۱۵)
C	۰	۶۰	-	

حال این جدول را به جدول نرمالیزه شده هزینه متقابل تبدیل می کنیم:

	A	B	C
A	-	۶۰	۶۰
B	۶۰	-	۱۸۰
C	۶۰	۱۸۰	-

پس از به دست آوردن جدول نرمالیزه شده از- به به فاز دوم می رویم.

۲-۱-۴-۷- فاز دوم:

در این فاز سه روش داریم تا به وسیله آنها اولویت ورود بخش ها به طرح را معین کنیم:

- روش A:

- ✓ **قدم اول:** ابتدا تمام بخش ها مجموع ارتباطات را در جدول نرمالیزه شده محاسبه می کنیم. این اعداد از جمع سطری تمام اعداد یک سطر جدول برای هر بخش به دست می آیند.
- ✓ **قدم دوم:** از میان بخش هایی که بالاترین اولویت را دارند (مثلاً اولویت ۱) ۲ بخش را که بیشتر مقدار جمع ارتباط ها را به دست آوردند انتخاب کرده و به عنوان اولین بخش ها در

irmgn.ir

مرکز طرح قرار می دهیم.

- ✓ **قدم سوم:** براساس اولویت ها، از میان بخش های استقرار نیافته، بخشی را که بیشترین ارتباط در جدول نرمالیزه با آخرین بخش استقرار یافته دارد را به عنوان ورودی بعدی در نظر می گیریم و این کار را تا اتمام تمام بخش ها ادامه می دهیم.

روش B:

- ✓ قدم اول و قدم دوم آن درست مثل روش A است.
- ✓ **قدم سوم:** بخش بعدی برای انتخاب بخشی است که با توجه به اولویت آن، بیشترین مجموع ارتباط را با بخش های استقرار یافته داشته باشد.

روش C:

- ✓ قدم اول مثل قبل.
- ✓ **قدم دوم:** بخش ها را به ترتیب اولویتشان، براساس بیشترین مجموع ارتباط با سایر بخش ها (چه انتخاب شده و چه نشده) از بالا به پایین مرتب می کنیم.

پس در واقع انتخاب دو بخش اول در هر ۳ روش یکسان است.

۳-۱-۴-۷-فاز سوم:

- ✓ در این فاز نحوه ی چیدمان بخش ها معین می شود.
- ✓ در این فاز بخش ها را براساس مقیاس آنها استقرار می دهیم پس در الگوریتم پلانت مقیاس اندازه هر بخش را داریم.
- ✓ فواصل به صورت پله ای و مرکز به مرکز محاسبه می شوند.

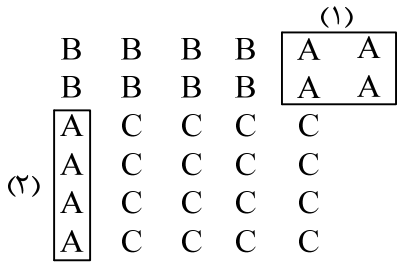
قدم اول: دو بخش اول که انتخاب شده اند در مرکز طرح و در کنار هم قرار می گیرند.

قدم دوم: بخش بعدی طوری مستقر می شود که کمترین هزینه حمل و نقل را ایجاد کند.

(جریان × فاصله) = هزینه حمل و نقل = امتیاز طرح

مثلاً فرض کنید دو بخش B و C استقرار یافته اند و بخش A را به عنوان بخش سوم در یکی از نقاط ۱ یا ۲ باید استقرار دهیم. امتیاز نقاط ۱ و ۲ به شکل زیر محاسبه می شود:

irmgn.ir



فاصله مرکز (۱) با $B \rightarrow 3$ و $C \rightarrow 5$

فاصله مرکز (۲) با $B \rightarrow 5$ و $C \rightarrow 3$

ارتباط A با C = ۳۰ واحد

ارتباط A با B = ۴۵ واحد

امتیاز استقرار ۱ $= (3\times45)+(5\times30)=135+150=285$

امتیاز استقرار ۲ $= (5\times45)+(3\times30)=225+90=315$

پس محل یک مناسب تر است.

مثال: با توجه به الگوریتم پلانت دو دپارتمان اول ورودی به طرح استقرار را معین کرده و سپس با هر کدام از روش های A ، B و C دپارتمان سوم را هم معین کنید:

	A	B	C	D	E	F
A	-	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
B	۱۵	-	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰
C	۱۰	-	-	۳۰	۱۰	۲۰
D	۱۰	۱۵	-	-	۲۰	۳۰
E	۳۰	۴۰	۱۰	۱۰	-	۱۵
F	۱۵	۲۰	۲۵	۱۰	۱۰	-

حل: ابتدا جدول نرمال شده هزینه متقابل را به دست می آوریم:

	A	B	C	D	E	F	مجموع ارتباطات
A	-	۲۵	۳۰	۴۰	۷۰	۶۵	= ۲۳۰
B	۲۵	-	۲۵	۳۵	۵۵	۳۰	= ۱۷۰
C	۳۰	۲۵	-	۳۰	۲۰	۴۵	= ۱۴۵
D	۴۰	۳۵	۳۰	-	۳۰	۴۰	= ۱۷۵
E	۷۰	۵۵	۲۰	۳۰	-	۲۵	= ۲۰۰

irmgn.ir

F	۶۵	۳۰	۴۵	۴۰	۲۵	- = ۲۰۵

در گام دوم مجموع ارتباطات را با جمع کردن اعداد هر سطر محاسبه می کنیم.
حال با توجه به اعداد به دست آمده دپارتمان های A با ۲۳۰ و F با ۲۰۵ امتیاز اولین دپارتمان های ورودی هستند.
انتخاب دپارتمان سوم:
روش A: دپارتمانی که با F بیشترین ارتباط را دارد:
دپارتمان C با ۴۵ درجه نزدیکی با F
روش B: دپارتمانی که با A و F مجموعاً بیشترین ارتباط را دارد:

$B \Rightarrow 55$
$C = 75$
$D = 80$
$E = 95 \longrightarrow$ پس دپارتمان E انتخاب می شود.

روش C: به ترتیب مجموع می شود پس دپارتمان سوم دپارتمان E با ۲۰۰ امتیاز است.

نکات:

نکته ۱- در این الگوریتم می توان محل بعضی از بخش ها را ثابت فرض کرد.
نکته ۲- از نظر انعطاف پذیری بهترین روش است.
نکته ۳- معیار ارزیابی ندارد.
نکته ۴- اگر مساحت دپارتمان ها پس از مقیاس کردن برابر یک واحد شود هزینه تقریبی حمل و نقل و واقعی آن یکسان است.
نکته ۵- فاصله ها مرکز به مرکز است.
نکته ۶- در این الگوریتم درجه اولویت است که انتخاب بخش ها را معین می کند و پس از آن جدول هزینه متقابل.

۵-۷- الگوریتم آلدپ ALDEP:

- ✓ آلدپ یک الگوریتم کیفی و سازنده است.
- ✓ این الگوریتم توسط شرکت IBM ساخته شده است.

ورودی های آلدپ:

irmgn.ir

- ✓ نمودار رابطه ی فعالیت ها
- ✓ مساحت هر بخش و تعداد طبقات
- ✓ تعداد طرح های تولیدی
- ✓ تعداد دپارتمان ها
- ✓ حداقل درجه نزدیکی که بخش ها براساس آن انتخاب می شوند.
- ✓ حداقل امتیاز مجاز برای چاپ طرح
- ✓ معرفی عرض نوار برای چیدن
- ✓ بخش هایی که باید ثابت بمانند.

هدف آلدپ: هدف آلدپ برقراری حداکثر ارتباط (درجه نزدیکی) میان بخش های مجاور است.

۱-۵-۷- نحوه عملکرد الگوریتم آلدپ:

قدم اول- دپارتمان اول را به صورت تصادفی انتخاب و در گوشه شمال غربی قرار می دهد.

قدم دوم- برای انتخاب دپارتمان دوم، از میان بخش های موجود، بخشی که رابطه ی A با بخش اول را دارد بر می گزینیم.

قدم سوم- دپارتمان سوم به بعد نیز طوری انتخاب می شوند که از میان بخش های موجود با آخرین بخش استقرار یافته مقایسه می شوند و هر کدام درجه نزدیکی بالاتری با آخرین بخش استقرار یافته داشته باشد به عنوان ورودی انتخاب می گردد. پس:

- ✓ مبنای انتخاب آخرین بخش استقرار یافته است.
- ✓ اگر بیش از یک بخش واجد شرایط ورود بودند بررسی را روی بخش قبلی که استقرار یافته و رابطه آن با این بخش هایی که شرایط یکسان دارند بررسی می شود.
- ✓ اگر باز هم شرایط برابر بود یک به بخش به طور تصادفی انتخاب می گردد.

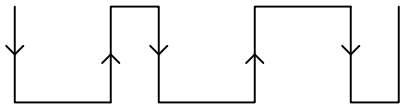
۲-۵-۷- نحوه ی استقرار بخش ها:

پس از آن که ترتیب ورود بخش ها به طرح استقرار معین شد آلدپ از گوشه شمال غربی و با توجه به عرض نوار چیدمان، به صورت زیگزاگ شروع به چیدن بخش ها می کند.

مثلاً اگر عرض نمودار ۲ بود و ترتیب ورود A، B ، C و D بود آن گاه شکلی به صورت زیر داریم: (اندازه هر بخش را ۸ فرض کنید)

irmgn.ir

A A B B B B C C D D
A A B B B B C C D D
A A A A C C C C D D DD



۳-۵-۷- نحوه ی محاسبه امتیاز در آلدپ:

آلدپ در ابتدا حداقل امتیاز قابل قبول برای چاپ طرح را می گیرد، در هر مرحله استقرار به دست آمده باید به این حداقل امتیاز برسد، نحوه ی محاسبه ی امتیاز هر طرح به صورت زیر است:

قدم ۱: ابتدا دپارتمان های همسایه معین می شوند.

قدم ۲: درجه نزدیکی دپارتمان های همسایه را معین می کند.

قدم ۳: مجموع نمرات حاصل از درجه نزدیکی بخش های همسایه را با هم جمع می کند.

نمرات اختصاص یافته به شکل زیر است:

$$A = 4^3 \qquad O = 4^0 = 1$$
$$E = 4^2 \qquad u = 0$$
$$I = 4 \qquad X = -4^5$$

قدم ۴: مجموع به دست آمده را در عدد ۲ ضرب می کند، این عدد امتیاز طرح است.

۴-۵-۷- نکات:

نکته۱- آلدپ تا ۶۳ بخش را در ابعاد ۵۰×۳۰ می تواند بپذیرد.

نکته۲- آلدپ تا ۳ طبقه ساختمان را می تواند بپذیرد.

نکته۳- بخش هایی را می تواند ثابت در نظر بگیرد.

نکته۴- جهت بهبود هم می توان از آن استفاده کرد.

نکته۵- از لحاظ عملکرد بسیار شبیه Corelap است.

نکته۶- با روابط کیفی کار می کند.

نکته۷- فرآیندهای تولیدی را کمتر می توان با آن بررسی کرد.

نکته۸- بخش ها را تصادفی انتخاب می کند.

irmgn.ir

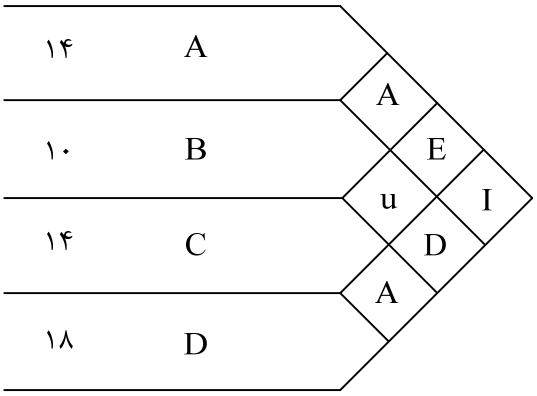
نکته۹- برای ارزیابی خودش از Craft استفاده می کند.

نکته۱۰- نسبت به کورلپ نقشه های بهتری ارائه می دهد و استفاده مؤثرتری از دیاگرام رابطه فعالیت ها می کند.

نکته۱۱- شاید به نوعی بتوان گفت شباهت هایی با روش الگوئی در الگوریتم های دستی دارد.

مثال: فرض کنید جدول رابطه ی فعالیت ها به صورت زیر است. عرض نوار را ۴×۲ در نظر بگیرید و اندازه هر بخش هم کنار آن نوشته شده است.

۱- نرم افزار ابتدا یک بخش را به صورت تصادفی انتخاب می کند و در گوشه شمال غربی قرار می دهد. فرض کنید این بخش، بخش C باشد:

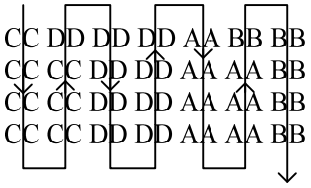


C C
C C C C
C C C C
C C C C

۲- در میان بخش های A ، B و D بخشی که رابطه ی A با بخش C دارد انتخاب می شود. این بخش D است که با C رابطه ی A دارد.

CC DD DD DD
CC CC DD DD
CC CC DD DD
CC CC DD DD

۳- بخشی که با بخش D رابطه ی بالاتری دارد بخش A است پس داریم:



۴- بخش آخر نیز بخش B است.

امتیاز طرح نیز به صورت زیر محاسبه می شود:

irmgn.ir

بخش های همسایه: $4^3 = 64 \leftarrow A \leftarrow (C, D)$

$4^1 = 4 \leftarrow I \leftarrow (D, A)$

$4^3 = 64 \leftarrow A \leftarrow (A, B)$

امتیاز طرح $= 2 \times (64 + 4 + 64) = 2 \times 132 = 264$

۶-۷- الگوریتم کورلپ (Corelap):

- ✓ کورلپ یک الگوریتم سازنده و کیفی است.
- ✓ الگوریتم کورلپ به شکل ساختمان ها احتیاجی ندارد اما می توان نسبت طول به عرض را در آن مشخص کرد.
- ✓ این الگوریتم حداکثر ۷۰ بخش را در ابعاد ۳۹×۳۹ می پذیرد.
- ✓ این روش تنها یک استقرار تولید می کند.

ورودی های Corelap:

- ✓ جدول رابطه فعالیت ها
- ✓ تعداد و مساحت دپارتمان ها
- ✓ مقیاس طرح خروجی
- ✓ نسبت طول به عرض هر بخش
- ✓ مقادیر عددی یا درجات نزدیکی که نرخ محل براساس آنها محاسبه می شود.

این مقادیر که به عنوان ورودی مشخص می شود به اختیار خودمان است و مثلاً می تواند به صورت زیر باشد:

$A = 800$

$E = 200$

$I = 100$

$O = 10$

$u = 0$

$X = -100$

فقط توجه داشته باشید که این مقادیر در TCR استفاده نمی شوند و تنها مربوط به نرخ محل هستند.

هدف کورلپ:

برقراری حداکثر ارتباط بین بخش ها.

irmgn.ir

۱-۶-۷- مراحل الگوریتم Corelap:

قدم اول- محاسبه ی نرخ نزدیکی (TCR) برای هر بخش:

TCR(i)= مجموع درجات نزدیکی بین بخش i با سایر بخش ها $= \sum a_{ij} \qquad \forall_i$

که a_{ij} درجه نزدیکی بین دو بخش i و j است.

این الگوریتم به هر درجه نزدیکی، وزنی معادل زیر نسبت می دهد:

$$A = 6 \qquad E = 5 \qquad I = 4 \qquad u = 2 \qquad X = 1$$

قدم دوم- انتخاب اولین دپارتمان:

اولین دپارتمان، بخشی است که بزرگ ترین TCR را دارد. در صورت تساوی TCR چند بخش هر کدام مساحت بیشتری داشت ابتدا انتخاب می شود و در صورت تساوی حروف الفبا معین کننده دپارتمان اول است.

قدم سوم- انتخاب دپارتمان های بعدی:

هر دپارتمانی که با اولین دپارتمان ورودی بزرگ ترین درجه نزدیکی را داشت انتخاب می شود.

۲-۶-۷- نحوه ی چیدمان در کورلپ:

این برنامه ۲ معیار برای چیدن دپارتمان ها دارد:

۱- نرخ محل

۲- بیشترین طول مرز مشترک

پس از تعیین بخش ها و ترتیب آنها باید شکل قرارگیری بخش ها معلوم شود. مبنای قرارگیری بخش ها نرخ محل است.

نرخ محل= حاصل جمع نرخ نزدیکی بخش مورد نظر با بخش های همسایه.

اگر نرخ محل برای دو نقطه مساوی باشد آن گاه طول همسایگی یا طول مرز مشترک مبنای انتخاب است. طول همسایگی بیشتر باعث انتخاب محل خواهد بود.

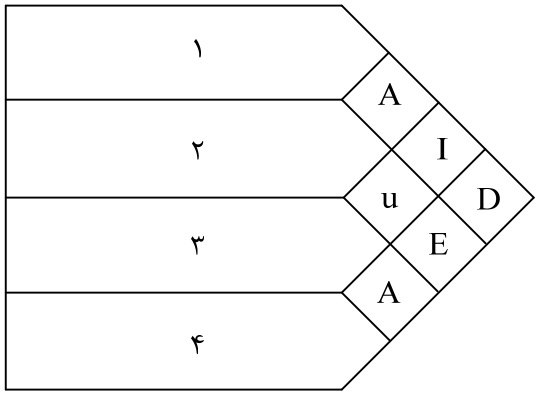
در نهایت می بایست امتیاز طرح را محاسبه کرد:

امتیاز طرح = Σ (درجه نزدیکی) × فاصله

فاصله در این الگوریتم به صورت کوتاه ترین فاصله ی پله ای محاسبه می شود. یعنی در واقع فاصله ی پله ای بین نزدیک ترین دو نقطه ی دو بخش به هم، با این تعریف فاصله ی دو بخش همسایه صفر است. پس در واقع در کورلپ برای محاسبه امتیاز طرح باید بخش های غیر همسایه را در محاسبه منظور کرد.

irmgn.ir

با مثال زیر قدم های این الگوریتم را بهتر درک خواهیم کرد:



فرض کنید اندازه دپارتمان به شرح زیر است:

یک $\rightarrow 2\times6$

دو $\rightarrow 2\times4$

سه $\rightarrow 1\times4$

چهار $\rightarrow 3\times4$

گام اول:

ابتدا باید اولویت های ورود به طرح را مشخص کرد، TCR هر بخش را محاسبه می کنیم:

$$TCR(1)=A+I+O=6+4+3=13$$

$$TCR(2)=A+u+E=6+2+5=13$$

$$TCR(3)=u+I+A=2+4+6=12$$

$$TCR(4)=A+E+O=6+5+3=14$$

در نتیجه بخش ۴ اولین دپارتمان ورودی است. دپارتمان های بعدی براساس ارتباطشان با بخش ۴ و اولویت بندی می شوند، پس داریم:

دپارتمان اول ← بخش ۴

دومین دپارتمان ← بخش ۳ ← چون با ۴ رابطه A دارد.

سومین دپارتمان ← بخش ۲ ← چون با ۴ رابطه E دارد.

چهارمین دپارتمان ← بخش ۱

پس ترتیب ورود ۴ ← ۳ ← ۲ ← ۱ شد.

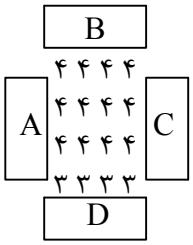
حال باید دپارتمان ها را بچینیم. ابتدا دپارتمان چهارم در مرکز قرار می گیرد و دپارتمان های بعدی به ترتیب با توجه به نرخ محل و در صورت تساوی با توجه به طول همسایگی بیشتر انتخاب می شوند.

دپارتمان ۴ دارای اندازه ۳×۴ است.

irmgn.ir

۴ ۴ ۴ ۴
۴ ۴ ۴ ۴
۴ ۴ ۴ ۴

حال باید دپارتمان ۳ را در کنار آن قرار دهیم به دلیل این که ۳ نیز ۴×۱ است. پس در سمتی قرار می گیرد که بیشترین مرز مشترک را با ۴ داشته باشد پس:



حال دپارتمان ۲ را در یکی از مکان های A ، B و C یا D می توان قرار داد. نرخ هر محل را محاسبه می کنیم:

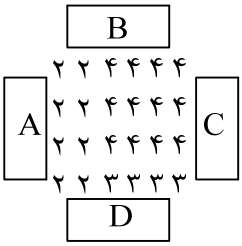
نرخ محل A $= (2,4) + (2,3) = E + u = 7$

نرخ محل B $= (2,4) = E = 5$

نرخ محل C $= (2,4) + (2,3) = 7$

نرخ محل D $= (2,3) = 2$

نتیجه این که B را در محل های A یا C می توان قرار داد. آن را در محل A قرار می دهیم.



حال دپارتمان ۱ را در یکی از مکان های A ، B و C یا D می توان قرار داد، نرخ محل را محاسبه می کنیم:

نرخ محل A $= (1,2) = A = 6$

نرخ محل B $= (1,2) + (1,4) = 6 + 3 = 9$

نرخ محل C $= (1,4) + (1,3) = D + I = 4 + 3 = 7$

irmgn.ir

نرخ محل D $= (1,2) + (1,3) = A + I = 6 + 4 = 10$

پس یک در محل D قرار می دهیم.

چیدمان نهایی طرح برابر است با:

۲ ۲	۴ ۴ ۴ ۴
۲ ۲	۴ ۴ ۴ ۴
۲ ۲	۴ ۴ ۴ ۴
۲ ۲	۳ ۳ ۳ ۳
۱ ۱	۱ ۱ ۱ ۱

حال امتیاز طرح را هم محاسبه می کنیم:

نام دو بخش	فاصله	نرخ نزدیکی	حاصل ضرب
(۱و۲)	۰	A= ۶	۰
(۱و۳)	۰	I= ۴	۰
(۱و۴)	۱	D= ۳	۳
(۲و۳)	۰	u= ۲	۰
(۲و۴)	۰	E= ۵	۰
(۳و۴)	۰	A= ۶	۰

۳ = امتیاز طرح

۳-۶-۷- نکات:

نکته ۱- این الگوریتم قادر نیست محل بخش ها را ثابت نگه دارد.

نکته ۲- این الگوریتم تنها یک استقرار تولید می کند.

نکته ۳- انعطاف مناسبی ندارد و طرح های مختلف را نمی تواند ارزیابی کند.

نکته ۴- اگر نسبت طول و عرض به نرم افزار داده نشود، خودش آن را یک در نظر می گیرد.

۷-۷- تفاوت های الگوریتم Aldep و Corelap:

- ✓ در Aldep اولین انتخاب تصادفی است اما در کورلپ براساس TCR.
- ✓ در Aldep چندین طرح استقرار تولید می شود اما در کورلپ تنها یکی.
- ✓ Aldep استفاده مؤثرتری از نمودار رابطه فعالیت ها می کند.
- ✓ در Corelap می توان طول و عرض را به نرم افزار نداد اما در آلدپ نمی توان.
- ✓ Aldep می تواند برخی بخش ها را ثابت در نظر بگیرد اما کورلپ نه.

irmgn.ir

فصل هشتم

مدل های مکان یابی (Location)

در مدل های مکان یابی در واقع به دنبال یافتن محل بهینه یک دپارتمان در میان تعدادی دپارتمان موجود با فرض ارتباط میان دپارتمان موجود و جدید هستیم. هدف اکثر این مدل ها حداقل کردن هزینه حمل و نقل است.

هدف: حداقل کردن هزینه حمل و نقل است (مثلاً : حجم جابجایی × فاصله)

۱-۸- انواع مدل های جایابی:

مدل های جایابی به دو دسته کیفی و کمی تقسیم بندی می شوند:

۱-۱-۸- مدل های کیفی:

در مدل های کیفی به دنبال انتخاب یک مکان یا گزینه از میان چندین گزینه ممکن و با توجه به مؤلفه هایی که هر کدام برای تصمیم گیری به ما کمک می کنند هستیم. این مؤلفه ها هر کدام می توانند وزن به خصوصی داشته باشند. روش عملکرد در این مدل ها بسیار ساده است. کافی است برای هر آلترناتیو (گزینه) مجموع وزن در امتیاز مؤلفه را به دست آوریم.

هر مکانی که بالاترین مطلوبیت را داشته باشد بهترین گزینه است. البته گاهی برخی مؤلفه ها کمتر بودنشان بهتر است. مثلاً مولفه هزینه کمتر بودنش و مؤلفه ایمنی بالاتر بودنش بهتر است که تصمیم گیرنده باید در محاسبه آن مجموع امتیاز به این نکات توجه کند و با علامت مثبت یا منفی امتیاز را محاسبه کند.

مثال: فرض کنید قصد تأسیس فروشگاه رفاه را در نقطه ای داریم و می خواهیم بهترین مکان را برای این فروشگاه پیدا کنیم. ۴ مکان A ، B ، C و D را به عنوان نقاط قابل ساخت در نظر گرفته ایم و ۵ مؤلفه هزینه زمین، نزدیکی به مناطق مسکونی، مسیر دسترسی، امکان احداث انبار، نزدیکی به کارخانجات تولیدی را در نظر گرفته ایم. در این حالت با توجه به جدول زیر بهترین آلترناتیو کدام است؟

نزدیکی به کارخانجات	امکان احداث انبار	مسیر دسترسی	نزدیکی به مناطق مسکونی	هزینه	

irmgn.ir

A	۱۰	۸	۱۰	۸	۳
B	۱۵	۷	۷	۷	۴
C	۵	۶	۶	۱۰	۷
D	۱۰	۳	۱۰	۱۰	۲
وزن	۱۰	۸	۸	۵	۵

D (۴ C (۳ B (۲ A (۱

حل:

امتیاز آلترناتیو A $= (10\times -10)+(8\times 8)+(10\times 8)+(8\times 5)+(3\times 5)=99$

امتیاز B $= (10\times -15)+(7\times 8)+(7\times 8)+(7\times 5)+(4\times 5)=17$

امتیاز C $= (10\times -5)+(6\times 8)+(6\times 8)+(10\times 5)+(7\times 5)=131$

امتیاز D $= (10\times -10)+(3\times 8)+(10\times 8)+(10\times 5)+(2\times 5)=64$

پس بهترین مکان آلترناتیو C است.

۲-۱-۸- مدل های ریاضی مکان یابی:

در این روش ها به دنبال تعیین محل بهینه یک وسیله در میان چندین وسیله موجود هستیم. مهمترین امر در این روش محاسبه فاصله ها است:

انواع روش های محاسبه فاصله میان دو دپارتمان:

- ✓ فاصله به صورت مختصاتی یا پله ای یا خطی شکسته
- ✓ فاصله به صورت مستقیم یا اقلیدسی
- ✓ فاصله به صورت مجذور فاصله ی مستقیم (مجذور فاصله اقلیدسی)

معرفی چند پارامتر:

$(a_i , b_i)\leftarrow$ مختصات دپارتمان موجود i ام

$(x , y)\leftarrow$ مختصات دپارتمان جدید

$w_i \leftarrow$ وزن یا حجم حمل و نقل از دپارتمان موجود i ام به دپارتمان جدید

$d \leftarrow$ فاصله

۱-۲-۱-۸- فاصله ی مختصاتی یا پله ای:

در این روش فاصله به صورت زیر به دست می آید:

$$d = |x - a_i| + |y - b_i|$$

در این حالت تابع هدف یا در واقع هزینه حمل و نقل به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

irmgn.ir

$$Min\ Z = \sum w_i (|x - a_i| + |y - b_i|)$$
$$\Rightarrow Min\ Z = \sum w_i |x - a_i| + \sum w_i |y - b_i|$$

۲-۲-۱-۸- فاصله ی مستقیم یا اقلیدسی:

در این حالت فاصله به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d = \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}$$

و تابع هدف نیز به صورت زیر نوشته می شود:

$$Min\ Z = \sum w_i \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}$$

۳-۲-۱-۸- فاصله ی مجذور فاصله مستقیم:

در حالت فاصله به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d = (x - a_i)^2 + (y - b_i)^2$$

و تابع هدف هم به شکل زیر نوشته می شود:

$$Min\ Z = \sum w_i \left[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2\right] = \sum w_i (x - a_i)^2 + \sum w_i (y - b_i)^2$$

۲-۸- روش های حل مسائل مکان یابی ریاضی:

۱-۲-۸- روش میانه:

این روش در حالتی کاربرد دارد که فواصل را پله ای یا مختصاتی در نظر بگیریم:

قدم های حل:

قدم اول- xها و yها رابه صورت صعودی مرتب کنید.

قدم دوم- در مقابل ستون xها و yها به طور جداگانه ستونی نیز برای w_iهای متناظر تشکیل دهید.

قدم سوم- حالت تجمعی w_iها را هم در یک ستون دیگر یادداشت کنید.

قدم چهارم- جمع نهایی $\sum w_i$ ها را به عدد ۲ تقسیم کنید.

قدم پنجم- عدد به دست آمده از $\frac{\sum w_i}{2}$ را با ستون تجمعی w_iها مقایسه کنید و اولین وزن تجمعی را که از این مقدار بزرگ تر یا مساوی بود را در نظر بگیرید:

۱- اگر $\frac{\sum w_i}{2}$ با وزن تجمعی دقیقاً برابر بود آن گاه فاصله ی $[x, x+1]$ متناظر با xی که مقدار $\frac{\sum w_i}{2}$ با وزن تجمعی اش برابر بوده جواب است.

irmgn.ir

۲- اگر این عدد $\left(\frac{\sum w_i}{2}\right)$ از مقدار وزن تجمعی کمتر بود آن گاه مختصات X برابر با همان وزن تجمعی جواب سؤال است.

به طور مثال با توجه به جدول زیر محل بهینه ماشین جدید را محاسبه کنید:

مختصات ماشین های موجود	(۰و۰)	(۳و۱۳)	(۵و۱۴)	(۲و۸)	(۴و۷)
وزن ارتباط	۵	۱۰	۱۴	۳	۴

برای هر کدام از xها و yها جدا یک جدول رسم می کنیم:

X_i	W_i	$\sum W_i$	
۰	۵	۵	
۲	۳	۸	
۳	۱۰	۱۸	$= \frac{۳۶}{۲}$
۴	۴	۲۲	
۵	۱۴	۳۶	
		۳۶/۲=۱۸	

با توجه به $\frac{\sum w_i}{2}$ یعنی $\frac{36}{2}$ مقدار 18 به دست می آید. چون مقدار 18 دقیقاً در ستون تجمعی برابر می شود پس فاصله ی $x^* = [3,4]$ جواب مسأله است.

حال همین جدول را برای yها رسم می کنیم:

y	W_i	$\sum W_i$	
۲	۵	۵	
۷	۴	۹	
۸	۳	۱۲	
۱۳	۱۰	۲۲	$\frac{۳۶}{۲}$
۱۴	۱۴	۳۶	
		$\frac{۳۶}{۲}=۱۸$	

در ستون $\sum w_i$ ها اولین عددی که بزرگ تر از ۱۸ باشد را انتخاب می کنیم. این عدد ۲۲ است پس چون ۲۲>۱۸ می باشد نقطه ی $y^* = 13$ جواب مسأله است.

پس نقطه بهینه دارای مختصات $x^* = [3,4], y^* = 13$ می باشد.

در این حالت پاسخ مسأله، یعنی نقطه بهینه قرار دادن ماشین جدید یک خط است و در واقع بیشمار نقطه ی بهینه داریم.

نکته: در این روش مسأله در دو حالت می تواند بیشمار نقطه ی بهینه داشته باشد. اگر x یا y به تنهایی

irmgn.ir

یک فاصله باشند و دیگری یک نقطه. در این حالت یک خط جواب مسأله است و اگر هر دوی xها و yها فاصله باشند آن گاه یک مستطیل پاسخ مسأله است.

۲-۲-۸- روش ترسیم تابع هدف (محاسبه از طریق شیب خط):

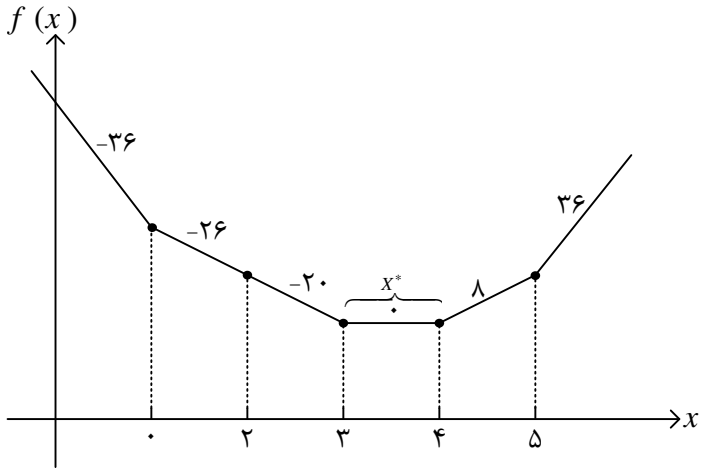
در این روش تابع هدف را در حالتی که فواصل به صورت پله ای محاسبه می شود به دو بخش مجزای x و y تقسیم می کنیم. و هر یک از این دو تابع را به شکل زیر در نمودار رسم می کنیم، نقطه ی بهینه نقطه ای است که شیب تابع عوض شود:

شیب تابع چیست؟

$$\text{شیب هر نقطه} = \left(\sum w_i\right)_{\text{نقاط بعدی}} - \left(\sum w_i\right)_{\text{نقاط قبلی}}$$

یعنی در واقع شیب تابع در هر نقطه برابر است با مجموع w_iهای نقاط قبلی منهای مجموع w_iهای نقاط بعدی. مثلاً در همان مثال قبل داریم:

ابتدا نمودار را برای xها رسم می کنیم:



* واضح است که نیازی به رسم شکل هم نیست و هر جا علامت شیب عوض شد همان جا پاسخ است و اگر شیب صفر شد نیز یک خط پاسخ مسأله است.

شیب تابع در نقطه ی صفر $= 0 - 36 = -36$

شیب تابع در نقطه ۲ $= 5 - 21 = -26$

شیب تابع در نقطه ۳ $= 8 - 28 = -20$

شیب تابع در نقطه ۴ $= 18 - 18 = 0 \longrightarrow$ خط $[3,4]$ ← فاصله ی بهینه

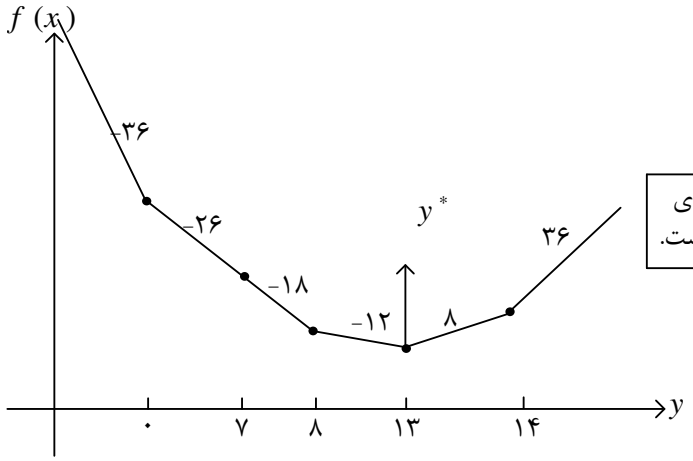
شیب تابع در نقطه ۵ $= 22 - 14 = 8$

irmgn.ir

برای yها به همین شکل عمل می کنیم:

	شیب خط در نقطه ی
۰ − ۳۶ = −۳۶	۰
۵ − ۳۱ = −۲۶	۷
۹ − ۲۷ = −۱۸	۸
۱۲ − ۲۴ = −۱۲	۱۳
۲۲ − ۱۴ = ۸	۱۴
۳۶ − ۰ = ۳۶	پس از ۱۴

در این فاصله شیب عوض شده پس نقطه ی $y^* = 13$ بهینه است



در واقع شیب در فاصله ی مثلاً [۷ و ۰] برابر ۲۶- است.

۳-۲-۸- روش منحنی های هم تراز:

منحنی های هم تراز در واقع خطوط شکسته محدبی هستند که به صورت یک منحنی بسته رسم شده و نقاط با هزینه یکسان را نمایش می دهند و استقرار دپارتمان در هر جای این منحنی یک هزینه دارد. اگر نقطه بهینه دقیقاً در جایی قرار گرفت که دپارتمان موجود قرار دارد آن گاه مجبوریم جای دپارتمان جدید را عوض کنیم. این روش همان روش خطوط هم تراز است.

این روش تقریباً شبیه روش ترسیم تابع هدف است و تعیین نقطه ی بهینه در حالتی که از روش منحنی های هم تراز می رویم با حالتی که از شیب خط استفاده می کنیم یکسان است.

تنها نکته ای که در این بخش می تواند مورد سؤال قرار گیرد شیب منحنی هم تراز در فاصله ی خاص است که طراح آن را مورد سؤال قرار می دهد.

روش به دست آوردن شیب منحنی هم تراز به شکل زیر است:

$$\text{شیب منحنی هم تراز } M = -\frac{S_x}{S_y}$$

irmgn.ir

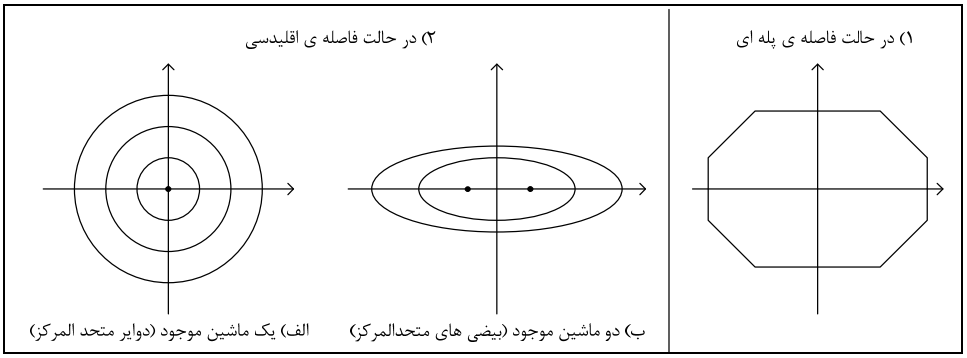
$S_x \leftarrow$ همان شیب x در فاصله ی موردنظر است.

$S_y \leftarrow$ همان شیب y در فاصله ی موردنظر است.

مثلاً در همان مثال قبل شیب منحنی هم تراز در فاصله ی $y=[8,13]$ و $x=[2,3]$ برابر است با:

$$\left.\begin{array}{ll} S_X=-20 & \text{در فاصله ی } [۳ \text{ و } ۲] \\ S_y=-12 & \text{در فاصله ی } [۱۳ \text{ و } ۸] \end{array}\right\} \Rightarrow M=-\frac{-20}{-12}=-\frac{20}{12}=-\frac{5}{3}$$

شکل منحنی هم تراز:



- در حالتی که از روش های هم تراز استفاده می کنیم و فواصل به صورت مجذور فاصله مستقیم است داریم:

تابع هدف

شعاع منحنی های هم تراز در روش مجذور در فاصله سیستم

$$\Rightarrow r=\sqrt{\frac{k=f(z)}{\sum W_i}+x^2+y^2-\frac{\sum W_i(a_i^2+b_i^2)}{\sum W_i}}$$

در این حالت کافی است r به دست آمده را با x بهینه که غیر قابل قبول بوده جمع کنیم.

۴-۲-۸- روش حل در حالت مجذور فاصله مستقیم:

در این حالت y و x بهینه از طریق فرمول های زیر به دست می آیند:

$$x^*=\frac{\sum w_i a_i}{\sum w_i}$$

$$y^*=\frac{\sum w_i b_i}{\sum w_i}$$

irmgn.ir

مثال: در کارگاهی ۴ ماشین با مختصات زیر داریم:

$P_1=(3,2)$, $P_2=(4,8)$, $P_3=(5,2)$, $P_4=(8,4)$

با فرض فواصل به صورت مجذور فاصله ی مستقیم و ارتباط یکسان ماشین جدید با ماشین های موجود:

الف) نقطه ی بهینه را معین کنید.

ب) اگر نقطه ی بهینه قابل استفاده نباشد بهترین نقطه در امتداد طولی که هزینه اش برابر ۵۴ واحد است را به دست آورید؟

حل: الف)

$$x^*=\frac{\sum w_i a_i}{\sum w_i}=\frac{3+4+5+8}{4}=5$$

$$y^*=\frac{\sum w_i b_i}{\sum w_i}=\frac{2+8+2+4}{4}=4$$

نقطه بهینه $=(5,4)$

ب) در این حالت دو روش برای حل داریم: (x را خواسته چون گفته در فاصله ی طولی)

روش اول: نوشتن تابع هدف و به دست آوردن a بهینه:

$$f(z)=\sum w_i\left[(x-a_i)^2+(y-b_i)^2\right]$$

$$\Rightarrow 54=(x-3)^2+(x-4)^2+(x-5)^2+(x-8)^2+$$
$$(4-2)^2+(4-8)^2+(4-2)^2+(4-4)^2$$

در این حالت یک معادله ی تک مجهولی داریم که در شرایط حل تست با چک کردن گزینه در این رابطه مقدار x را به راحتی به دست می آوریم:

روش دوم: استفاده از منحنی هم تراز:

$$r=\sqrt{\frac{k=54}{4}+5^2+4^2-\frac{(9+4+\cdots+64+16)}{4}}$$

$\Rightarrow r=2\Rightarrow$ حال $r+x^*=2+5=7\Rightarrow$ r را با x^* به دست آمده از مرحله ی الف جمع می کنیم.

نقطه ی $x=7$ جواب است.

۵-۲-۸- روش حل مسأله در حالت مستقیم یا اقلیدسی:

روش حل در حالتی که فواصل اقلیدسی است یک روش مبتنی به تکرار است که با استفاده از آن حل تست ها بسیار سخت و طولانی خواهد بود. در این حالت دو روش تستی را معرفی می کنیم:

irmgn.ir

روش اول: گذاشتن گزینه در فرمول تابع هدف و انتخاب گزینه ای که کمترین مقدار تابع هدف را دارد:

$$\text{تابع هدف} = f(z) = \sum w_i \left(\sqrt{(x - a_i)^2 + (y + b_i)^2} \right)$$

روش دوم: استفاده از فرمول زیر که یک پاسخ تقریبی را می دهد:

$$x^* = \sum \frac{w_i (a_i)}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}}$$

$$y^* = \sum \frac{w_i (b_i)}{\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}}$$

نکته: اگر تمام ماشین ها یا دپارتمان های موجود در امتداد یک خط راست قرار داشتند (افقی یا عمودی) آن گاه هزینه در روش پله ای یا مختصاتی با روش اقلیدسی یکسان می شود.

۳-۸- حل مسأله تخصیص در مکان یابی دپارتمان ها:

گاهی در مکان یابی دپارتمان لازم است که از روش تخصیص استفاده کنیم. این حالت در شرایطی به وجود می آید که مسأله دارای چندین دپارتمان جدید و چندین دپارتمان موجود است.

در این شرایط ورودی های مسأله به قرار زیر هستند:

$$\left[\text{ماتریس هزینه} \right], \left[\text{ماتریس فاصله} \right], \left[\text{ماتریس حجم جریان} \right]$$

در این شرایط برای به دست آوردن ماتریس هزینه کل باید این ماتریس ها را در هم به صورت ماتریسی ضرب کرد. ماتریس به دست آمده را برای حل استفاده می کنیم:

گام های حل:

۱- در ماتریس هزینه کل کمترین مقدار هر سطح را معین کرد. و آن را از تمام اعداد سطر کسر کنید.

۲- در ماتریس حاصل از گام ۱، کمترین مقدار هر ستون را معین کرده و آن را از تمام اعداد ستون کم کنید.

۳- در ماتریس به دست آمده از گام ۲، کمترین تعداد خطوط افقی و عمودی را به گونه ای رسم کنید که تمام آرایه های صفر پوشانده شوند.

۴- اگر با توجه به این خطوط رسم شده در گام سوم تمام ماشین ها به مکان ها اختصاص داده شد که مسأله حل است در غیر این صورت به گام۵ بروید. (تعداد خطوط باید به اندازه تعداد ماشین ها باشد)

- هر صفر در هر سطر یا ستون نشان دهند تخصیص است. در واقع اعداد این ماتریس هزینه هستند و اگر بتوانیم تمام ماشین ها را به مکان ها اختصاص دهیم حل مسأله همین جا تمام است.

irmgn.ir

۵- کوچک ترین عددی که روی آن خط کشیده نشده را معین و آن را از تمام عددهایی که خط روی آن کشیده نشده کم کرده و به نقاط تقاطع خطوط اضافه کنید. (به گام ۴ بروید)

مثال: با توجه به ماتریس زیر ۴ ماشین A و B و C و D را در ۴ مکان ۱ و ۲ و ۳ و۴ به گونه ای اختصاص دهید که هزینه حداقل شود.

	۱	۲	۳	۴
A	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۱۰۰
B	۱۸۰	۲۰۰	۹۰	۱۲۰
C	۱۲۰	۸۰	۹۰	۲۰۰
D	۱۰۰	۹۰	۷۰	۱۳۰

گام اول- کمترین عدد در هر سطر را از کلیه اعداد کسر می کنیم:

	۱	۲	۳	۴
A	۰	۵۰	۱۰۰	۰
B	۹۰	۱۱۰	۰	۳۰
C	۴۰	۰	۱۰	۱۲۰
D	۳۰	۲۰	۰	۶۰

گام دوم- حال کوچک ترین عدد در هر ستون را هم از اعداد ستون کسر می کنیم:

با توجه به این که در هر ستون صفر وجود داشت پس ماتریس فرقی نکرد.

	۱	۲	۳	۴
A	۰	۵۰	۱۰۰	۰
B	۹۰	۱۱۰	۰	۳۰
C	۴۰	۰	۱۰	۱۲۰
D	۳۰	۲۰	۰	۶۰

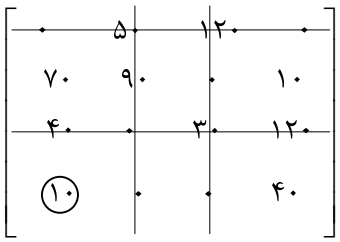
گام سوم- در این مرحله تمام صفرها را با حداقل خطوط می پوشانیم:

~~۰~~	~~۵۰~~	~~۱۰۰~~	~~۰~~
۹۰	۱۱۰	۰	۳۰
~~۴۰~~	~~۰~~	~~۱۰~~	~~۱۲۰~~
۳۰	(۲۰)	۰	۶۰

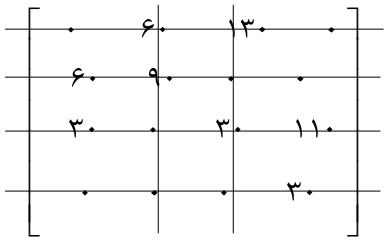
با توجه به این که تعداد خطوط ۳تاست امکان تخصیص تمام ماشین ها امکان ندارد باید کوچک ترین

irmgn.ir

عددی که روی آن خط کشیده نشده را از اعداد مشابه اش کم کرده و به نقاط تقاطع اضافه کنیم. این عدد ۲۰ است.



حال دوباره با خطوط صفرها را می پوشانیم. باز هم امکان تخصیص وجود ندارد پس مجدداً کمترین عددی که با خطوط پوشانده داده نشده را انتخاب و همان کار را مجدداً تکرار می کنیم و مجدداً صفرها را با خط می پوشانیم:



حال امکان تخصیص وجود دارد پس از سطری که تنها یک صفر دارد شروع کرده و هر صفر را در هر سطر انتخاب و ماشین به ستون متناظرش اختصاص داده و آن را سطر و ستون را حذف می کنیم تا تمام ماشین ها اختصاص یابد. پس:

C به ۲

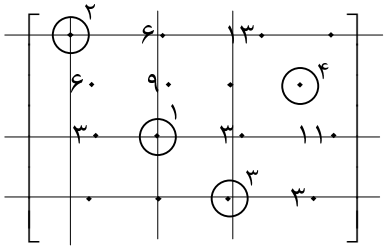
A به ۱

B به ۴

D به ۳

اختصاص یافت.

irmgn.ir



نکته: هزینه تخصیص از طریق جمع کردن هزینه نقاطی که به هر ماشین اختصاص یافته در ماتریس اولیه به دست می آید.