

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# چیدمان تولید



انتشارات  
جهاد دانشگاهی  
قزوین

سرشناسه: اعظمی، عادل، ۱۳۷۰ -  
عنوان و نام پدیدآور: چیدمان تولید/مؤلف عادل اعظمی.  
مشخصات نشر: قزوین: جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات، واحد قزوین،  
۱۳۹۸.

مشخصات ظاهری: ۹۴ ص.، مصور، جدول؛ ۱۴/۵×۲۱/۵ س.م.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۶۴۷-۳۳-۵

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: کتابنامه.

موضوع: تولید -- برنامه ریزی

موضوع: Production planning

موضوع: مدیریت تسهیلات -- الگوهای ریاضی

موضوع: Facility management -- Mathematical models

شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی. سازمان انتشارات. واحد قزوین

رده بندی کنگره: TS۱۷۶

رده بندی دیویی: ۶۵۸/۵

شماره کتابشناسی ملی: ۵۷۷۲۴۷۹

عنوان: چیدمان تولید

مؤلف: عادل اعظمی

گرافیک و صفحه آرایی: مرضیه حمیدی زاده

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۶۴۷-۳۳-۵

چاپ: نوبت اول - تابستان ۱۳۹۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بهاء: ۲۳۰۰۰۰ ریال

مصوبه شورای شعبه انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین

ناشر: انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین

کلیه حقوق محفوظ است ©

# چیدمان تولید

مؤلف:

عادل اعظمی

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران



## پیشگفتار مؤلف

طراحی یک چیدمان از مکان یابی بهینه تسهیلات تولیدی به منظور کاهش منابع موردنیاز برای جابجایی منابع و حرکت مواد، تشکیل شده است. بدیهی است که این امر منجر به کاهش هزینه می شود. به عبارت دیگر، طراحی یک چیدمان بهینه شامل مکان یابی تسهیلات تولیدی به منظور کاهش حرکت مواد و جابجایی مواد است. یک چیدمان بهینه، مدیریت را تسهیل کرده و چرخه های تولید و تعداد کارمندان را کاهش می دهد و در نهایت، فضای موردنیاز برای راه اندازی سیستم را کاهش می دهد. در نتیجه، کیفیت محصولات به دلیل کاهش خطرات ناشی از حمل و نقل و جابجایی، افزایش یافته و واکنش پذیری سیستم نیز افزایش و لذا، کار در جریان ساخت (WIP) کاهش می یابد.

پس از بیان مقدمه ای مختصر در فصل اول از این کتاب، مدل های چیدمان استاتیک در فصل دوم این کتاب، ارائه می شوند. این نوع مدل های چیدمان، زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که محیط می تواند ثابت در نظر گرفته شود. مدل های ایستای پایه و اساسی و ویژگی های آن ها، ارائه شده است. در ادامه، تحلیل K-میان که اغلب برای طراحی بخش های عملکردی و همچنین

تجزیه متقاطع، موردنیاز است و برای طراحی سلول‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ توضیح و به‌دقت تشریح می‌شود. توجه شود که این دو رویکرد معمولاً فراتر از طراحی چیدمان، مورد استفاده قرار می‌گیرند. رویکردهای استاندارد (CORELAP، INRIA-SAGEP و CRAFT) برای مکان‌یابی نهاده‌های تولیدی در فضای موجود، مورد بررسی و بازبینی قرار می‌گیرند.

در ادامه کتاب، مدل‌های چیدمان پویا، فصل سوم را تشکیل می‌دهند. این نوع مدل‌ها، به این دلیل مورد مطالعه قرار می‌گیرند که با محیط بازاری که همیشه در حال تغییر است؛ به خوبی متناسب و هماهنگ می‌شوند. رویکردهای چیدمان تسهیلات به صورت پویا که برای پیکربندی مجدد، انعطاف‌پذیر و آسان هستند و نیز تکنیک‌های چیدمان استوار که می‌توانند به‌طور مؤثری روی بسیاری از حجم‌ها و ترکیب‌های محصول، مورد استفاده قرار گیرند؛ این کتاب را تکمیل می‌کنند. در پایان در فصل چهارم کتاب، یک جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی از کتاب پیش‌رو، صورت گرفته و ارائه شده است.

حداکثر کوششی صورت گرفته تا کتاب حاضر در عین اختصار، مفاهیم چیدمان تسهیلات تولیدی را به صورت پویا و ایستا، پوشش دهد. هرچند در تألیف کتاب، بسیار تلاش شده است تا عاری از ایرادات نگارشی و اشتباهات تایپی باشد؛ ولیکن بدون شک این کتاب، خالی از ایراد نیست؛ از این رو صمیمانه پذیرای پیشنهادات و انتقادات خوانندگان علاقه‌مند جهت بهبود و به‌روزرسانی آن هستیم.

**مهندس عادل اعظمی**



## فهرست

فصل ۱؛ مقدمه	۱
فصل ۲؛ چیدمان تسهیلات در محیط ایستا	۵
۱-۲- مدل های چیدمان پایه	۷
۲-۲- انتخاب یک نوع از چیدمان	۱۰
۳-۲- طراحی چیدمان	۱۴
۴-۲- طراحی نهادهای تولید	۱۵
۱-۴-۲- تحلیل K-میانہ	۱۶
۲-۴-۲- رویکردهای تجزیه و تحلیل متقاطع	۲۵
۵-۲- موقعیت نهادهای تولیدی روی یک فضای موجود	۴۱
۱-۵-۲- CORELAP (برنامه ریزی چیدمان ارتباطات کامپیوتری)	۴۱
۳-۵-۲- CRAFT (تخصیص نسبی کامپیوتری از روش تسهیلات)	۴۸
۶-۲- چیدمان درون نهادهای تولیدی	۴۹
۱-۶-۲- انتخاب منبع حمل و نقل	۴۹
۲-۶-۲- انواع چیدمان پایه	۵۰

۵۳	۳-۶-۲- آرایشی از منابع روی سطح موجود از یک ME
۵۳	۷-۲- متعادل سازی نهاده‌های تولیدی
۵۵	<b>فصل ۳: چیدمان تسهیلات در محیط پویا</b>
۵۷	۱-۳- تغییرات در نیازهای سیستم‌های تولید
۶۰	۲-۳- چیدمان‌های استوار
۶۰	۱-۲-۳- مورد تقاضای گسسته
۶۷	۲-۲-۳- مورد تقاضای پیوسته
۶۹	۳-۳- چیدمان پویای تسهیلات
۶۹	۱-۳-۳- مقدمه
۷۰	۲-۳-۳- مدل ریاضی
۷۱	۳-۳-۳- روش شبیه‌سازی تبرید
۷۳	۴-۳-۳- رویکرد برنامه‌ریزی پویا
۷۵	<b>فصل ۴: نتیجه‌گیری</b>
۷۹	مراجع

مقدمه

فصل ۱



یک چیدمان تولیدی، زمانی اجرا می‌شود که یک سیستم تولید جدید راه‌اندازی شود یا تغییرات مهمی در حجم و مسیرهای جریان یا منابع جدید (روبات‌ها، وسایل نقلیه بدون راننده و غیره) در یک سیستم تولید معرفی شوند. طراحی یک چیدمان بهینه شامل مکان‌یابی تسهیلات تولیدی به منظور کاهش حرکت مواد و جابجایی مواد است. یک چیدمان بهینه، مدیریت را تسهیل کرده (خصوصاً برای زمان بندی)، چرخه‌های تولید و تعداد کارمندان را کاهش می‌دهد و در نهایت، فضای موردنیاز برای راه‌اندازی سیستم را کاهش می‌دهد. در نتیجه، کیفیت محصولات به دلیل کاهش خطرات ناشی از حمل و نقل و جابجایی، افزایش یافته و واکنش‌پذیری سیستم نیز افزایش یافته و کار در جریان ساخت (WIP) کاهش می‌یابد.

تحقیقات در مورد این موضوع از دهه ۱۹۵۰ آغاز شد (Kuhn, 1955). علاقه به مسائل چیدمان در دهه ۱۹۸۰ به دلیل افزایش تنوع تقاضا، تغییرات مکرر در الزامات مشتریان و رقابت جهانی همواره قوی‌تر، افزایش یافت.

تاکنون، هدف مسائل چیدمان، بهینه‌سازی یک چیدمان بود؛ با فرض اینکه محیط اساساً پایدار (جریان مواد پایدار و زمان‌های عملیات قطعی) باقی می‌ماند.

ما به این مسائل به‌عنوان مسئله چیدمان تسهیلات استاتیک یا ایستا (SFL) اشاره می‌کنیم.

علاقه رو به رشد دیگر برای مسائل چیدمان در اواسط دهه ۱۹۹۰، زمانی رخ داد که مشخص شد ترکیب چیدمان موجود، در یک افق منطقی قادر به پاسخگویی به نیازهای شرکتی که با تولید چند محصولی در بازار در حال تغییر سریع، مواجه خواهد بود؛ نیست. ایده چیدمان‌های سازگار، یعنی طرح‌هایی که باید به حالت بهینه یا نزدیک به حالت بهینه برسند؛ زمانی که تقاضا به شدت تغییر می‌کند؛ در آن زمان به وجود آمد. ما به مسائل چیدمان اشاره می‌کنیم که به طور پویا، طرح چیدمان را با مسائل چیدمان تسهیلات دینامیک یا پویا (DFL) تطبیق می‌دهد. در ادامه این کتاب، ما مدل‌های SFL و DFL را ارائه می‌کنیم. ما همچنین، برخی از چشم‌اندازها را به چیدمان‌های استوار فراهم می‌کنیم که روش دیگری برای مواجهه با تغییرات پیش‌بینی نشده در محیط هستند.

---

1 - Static Facility Layout

2 - Dynamic Facility Layout

# چیدمان تسهیلات در محیط ایستا

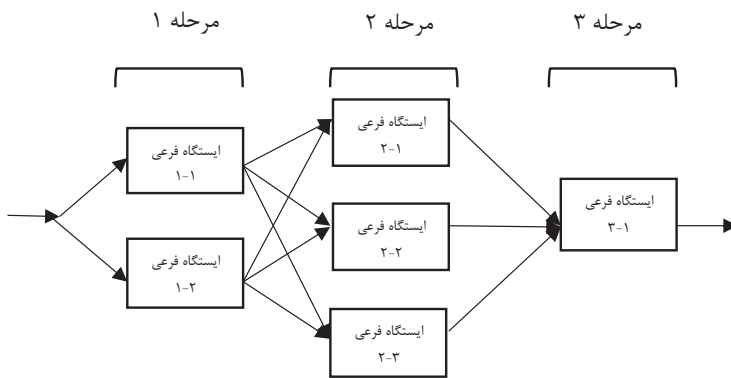
## فصل ۲





## ۱-۲- مدل‌های چیدمان پایه

سه نوع چیدمان تولید معمولاً در ادبیات ذکر می‌شوند: چیدمان خطی، بخش کارکردی و چیدمان سلولی.



شکل ۱: یک چیدمان خطی

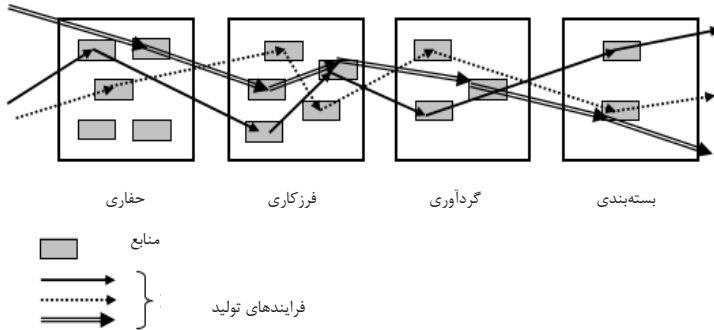
یک چیدمان خطی، مانند آنچه در شکل ۱ نشان داده شده است؛ برای سیستمی بکار می‌رود که انواع محدودی از محصولات را در حجم ثابت، تولید می‌کند. چنین

سیستمی می‌تواند بیشتر یا کمتر خودکار باشد. اتوماسیون بالا، بهره‌وری بسیار زیادی را با داشتن چابکی پایین تضمین می‌کند؛ درحالی‌که یک اتوماسیون پایین منجر به چابکی بالا اما بهره‌وری پایینی می‌شود. باید توجه شود که چیدمان خطی با اتوماسیون پایین، ما را به تعادل خط می‌فرستد؛ زیرا در این حالت همه ایستگاه‌ها معمولاً برای انجام هر یک از عملیات، مورد نیاز طراحی می‌شوند.

در برخی مراحل از سیستم تولید پیشنهادشده در شکل ۱، ایستگاه‌های موازی که عملیات مشابهی را انجام می‌دهند؛ به منظور جبران خرابی‌های برخی ایستگاه‌های فرعی یا کمک به تطبیق جریان تولید با تقاضاها، در دسترس هستند.

ما زمانی به چیدمان بخش کارکردی رجوع می‌کنیم که منابع هم‌نوع باشند یا به عبارت دیگر، منابعی که قادر به انجام وظایف مشابه هستند؛ در بخش یکسان جمع می‌شوند. محور چیدمان بخش کارکردی یک سازمان، کارهاست. معمولاً، چیدمان‌های بخش کارکردی، وقتی کارا در نظر گرفته می‌شوند که انواع زیادی از محصولات را در حجم‌های کوچک تولید می‌کنند. این نوع سازمان، زمانی پایدار است که تولید تنها در حجم، رشد و گسترش می‌یابد. با این حال، چنین چیدمانی به تعداد زیادی از حرکات و فعالیت‌های حمل‌ونقل منتهی می‌شود. لذا این سیستم، به نوبه خود منجر به برنامه‌ریزی پیچیده و مخاطرات ناشی از آسیب رساندن به محصولات می‌شود. علاوه بر این، تمایل در موقع استفاده از این نوع سازمان، این است که بخش‌های کارکردی به‌طور مستقل از یکدیگر مدیریت شوند که به داشتن یک سازمان در دیپارتمان‌ها برمی‌گردند. ما مشکلات ناشی از این نوع سازمان را می‌دانیم: افزایش در WIP، تعداد کارگران و چرخه تولید (صرفاً نقل شده در تعدادی از منابع). این سازمان مخالف تمایل مدرن سازمان‌های زنجیره تأمین است. ما می‌توانیم در نظر بگیریم که چیدمان‌های بخش کارکردی، راه نجات از سازمان‌های قبلی هستند؛ اما در مواجهه با الزامات فزاینده برای محصولات سفارشی، ضروری هستند.

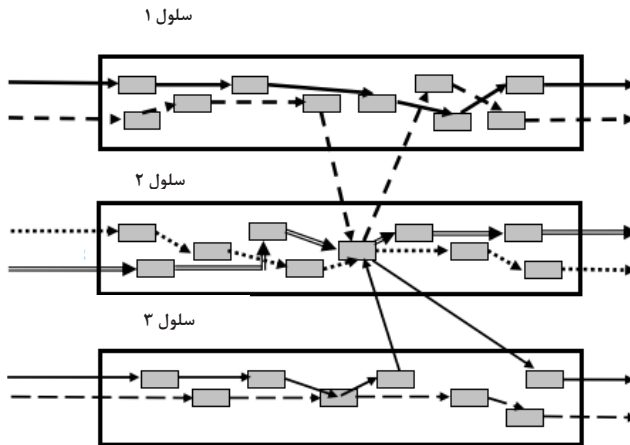
یک مثال از چیدمان کارکردی در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲: چیدمان بخش کارکردی

در چیدمان‌های سلولی، سیستم تولید به سلول‌ها تقسیم می‌شود که هر سلول برای تولید بخش عمده خانواده‌ای معین از محصولات یا مجموعه‌ای از عملیات، طراحی شده است. این سازمان بر اساس این فرض است که خانواده‌های محصول در یک افق به اندازه کافی بزرگ، تولید خواهند شد تا از عهده هزینه طراحی یک چیدمان جدید با افق مشخص، برآیند که به دلیل تغییرات مکرر نیازهای مشتریان، معمول نیست. اگر چنین وضعیتی رخ دهد؛ یک چیدمان سلولی به خاطر ساده‌سازی حرکات و جابجایی محصولات، دارای عملکرد مناسبی نیست. در حقیقت، تولید سلولی ناکارآمد است؛ در صورتی که نیاز بازار به‌طور مکرر در حجم و نوع محصول، نوسان داشته باشد.

چنین طراحی در شکل ۳ نشان داده شده است. توجه کنید که برخی از محصولات ممکن است مجبور باشند که از سلولی غیر از سلول عمومی خود برای انجام یک عملیات خاص، عبور کنند؛ زمانی که منبع مربوطه بیش از حد گران است و به ندرت برای محصولات سلول‌های دیگر، مورد نیاز است.



شکل ۳: چیدمان سلولی

باید توجه شود که وقتی سلول‌ها به دست می‌آیند؛ چندین تصمیم باقی می‌ماند از جمله مهمترین‌ها: محل منابع درون هر سلول و محل سلول‌ها در سطح موجود. این آخرین تصمیم، زمانی لازم و ضروری است که محصولات باید از چندین سلول عبور نمایند تا کامل شوند یا زمانی که هر سلول از یک منبع منحصر به فرد تشکیل می‌شود که این مورد در حالتی رخ می‌دهد که انواع زیادی از فرآیندهای تولیدی در خطر هستند.

## ۲-۲- انتخاب یک نوع از چیدمان

در این بخش، برخی چشم‌اندازها را برای پاسخ به این سؤال مطرح می‌کنیم: چگونه از میان این سه نوع چیدمان، یکی را انتخاب کنیم؛ با فرض اینکه حداقل یکی از آن‌ها مناسب باشد؟

پارامترهای اصلی برای تصمیم‌گیری جهت این انتخاب عبارت‌اند از:

۱- دوره‌ای که انتظار می‌رود محصولات به فروش برسند که عمر محصول مورد انتظار نیز نامیده می‌شود ( $PL^1$ ). اگر این دوره به اندازه کافی طولانی باشد؛ یعنی برابر با چندین سال بدون تغییر قابل توجه در محصولات و یا فن‌آوری باشد؛ آن‌گاه سیستم‌های تولید خودکار را می‌توان با هزینه چابکی در نظر گرفت. متأسفانه، تمایل به تنوع محصول به منظور رقابتی ماندن در رابطه با کشورهای در حال توسعه است. در واقع، چندین حوزه تولید مانند تولید خودرو به شدت خودکار باقی می‌مانند.

۲- حجم متوسط ( $AV^2$ ) برای تولید در هر واحد زمان. یک حجم متوسط بزرگ از اتوماسیون بالا حمایت می‌کند؛ با فرض اینکه محصولات دارای ارزش افزوده بالایی هستند.

۳- تنوع محصولات ( $VP^3$ ) در معرض خطر. معمولاً، انواع زیادی از محصولات که نیازمند عملیات خاص‌اند؛ نیازمند خطوط تولید / مونتاژی هستند که در آن‌ها، سطح اتوماسیون کم و مشارکت نیروی انسانی بالاست. تعداد زیاد نیروی انسانی با سطح اتوماسیون کم منجر به یک سیستم چابک می‌شود.

۴- تعداد متوسط تغییرات احتمالی در مقدار تولید و خصوصیات محصولات طی زمان ( $CH^4$ ). با ویژگی‌هایی که ما کارکردهای ثانویه مانند شکل، رنگ و غیره می‌نامیم؛ در صورتی که تغییرات مهم باشند؛ خطوط تولید / مونتاژ چابک، به وضوح جواب هستند.

توجه داشته باشید که در این بخش، فرض می‌کنیم که یک چیدمان منحصر به فرد انتخاب شده است. مفاهیم بالا در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

---

1 - Product Life

2 - Average Volume

3 - Variety of Products

4 - Change

جدول ۱: پارامترهایی برای انتخاب چیدمان

چیدمان خطی		چیدمان بخشی کارکردی		چیدمان سلولی	
چابک	خودکار	چابک	خودکار	چابک	خودکار
کوتاه		x	x		
بلند	x	x			
پایین		x			
متوسط	x	x	x	x	x
بالا	x				x
بسیار پایین	x				x
متوسط		x	x	x	x
بالا			x		
پایین	x	x	x	x	
متوسط		x			x
بالا					x

در ادامه، مثال‌هایی را پیشنهاد می‌کنیم که نشان می‌دهند چگونه جدول ۱ را می‌توان مورد استفاده قرار داد:

### مثال ۱

اگر عمر محصولات، کوتاه باشد؛ متوسط حجم تولید در حالت میانگین خود باشد؛ تنوع محصولات بالا و شدت تغییرات در طول زمان پایین باشد؛ آن‌گاه

جدول ۱ انتخاب یک چیدمان سلول کارکردی با اتوماسیون پایین را پیشنهاد می‌دهد که چابکی را تضمین می‌کند.

### مثال ۲

اگر عمر محصولات، طولانی باشد؛ متوسط حجم تولید پایین باشد؛ تنوع محصولات بسیار پایین و شدت تغییرات در طول زمان، متوسط باشد؛ آن‌گاه جدول ۱ هیچ نوع چیدمانی را پیشنهاد نمی‌کند. دلیل آن، این است که حجم تولید پایین مرتبط با انواع بسیار پایین محصولات احتمالاً موقعیت مناسبی نیست.

### مثال ۳

اگر عمر محصولات، زیاد باشد؛ متوسط حجم تولید در حالت میانگین خود باشد؛ تنوع محصولات خیلی پایین و شدت تغییرات در طول زمان کم باشد؛ آن‌گاه جدول ۱ پیشنهاد می‌کند که یک سیستم خودکار سلولی را انتخاب کنید.

### مثال ۴

اگر عمر محصولات، کوتاه باشد؛ متوسط حجم تولید، بالا باشد؛ تنوع محصولات بسیار پایین و شدت تغییرات در طول زمان کم باشد؛ آن‌گاه جدول ۱ هیچ نوع چیدمانی را پیشنهاد نمی‌کند. همان‌طور که در بخش اصلی بعدی خواهیم دید؛ این وضعیت مستلزم چیدمانی پویا از تسهیلات است (DFL).

### مثال ۵

اگر عمر محصولات، زیاد باشد؛ متوسط حجم تولید، بالا باشد؛ تنوع محصولات بسیار پایین و شدت تغییرات در طول زمان، پایین باشد؛ آن‌گاه جدول ۱ پیشنهاد می‌کند که انتخاب هر دو چیدمان‌های خطی یا سلولی با اتوماسیون، مناسب است.

## ۲-۳- طراحی چیدمان

یک چیدمان خطی به هیچ تکنیک طراحی خاصی نیاز ندارد: تسهیلات به شکل ایستگاه‌های متعادل، گردآوری می‌شوند؛ برخی ایستگاه‌ها را می‌توان با چندین ایستگاه فرعی، جایگزین کرد تا تنظیم جریان مواد با تقاضا را تسهیل کنند. ایستگاه‌ها در نهایت به ترتیبی که مورد بازدید قرار خواهند گرفت؛ ترتیب داده می‌شوند. خطوط U شکل ممکن است بکار بروند تا کارگران را قادر به مدیریت چندین تسهیلات در مراحل مختلف تولید کنند.

از نظر تئوری، یک چیدمان بخش کارکردی به هیچ تکنیک خاصی نیاز ندارد؛ زیرا شامل گروه‌بندی منابعی است که عملیات مربوط به بخش‌های عملکردی را انجام می‌دهند و این بخش‌ها را در سطح موجود، پیدا می‌کنند. زمانی که هر منبع، چندین عملیات را انجام می‌دهد؛ انتخاب منابع برای تخصیص به همان بخش، دشوار است. در این حالت، آنالیز K-میان، تکنیکی است که می‌تواند مفید واقع شود. علاوه بر این، چندین تکنیک برای تعیین منابع در سطح موجود، در این بخش ارائه خواهند شد.

چیدمان سلولی به روش خاصی برای ساخت سلول‌ها، نیاز دارد. این کار، ساخت دووجهی است: ابتدا انواع محصول را که در همان سلول تولید خواهند شد؛ انتخاب کنید و سپس تعداد منابع همان نوع را برای معرفی در هر سلول برای متعادل کردن سیستم، تعیین کنید.

در نهایت، مکان منابع درون بخش‌های کارکردی یا سلول‌ها، نیازمند رویکردهای خاصی است که بعداً ارائه خواهند شد.

به طور خلاصه، چهار نوع فعالیت‌ها برای طراحی یک چیدمان ضروری هستند:



- ۱- طراحی نهادهای تولیدی، مربوط به موارد زیر است:
  - چیدمان خطی که در آن ایستگاه‌ها به‌طور هم‌زمان با تعادل خط، طراحی می‌شوند.
  - چیدمان بخش کارکردی که گاهی به تحلیل K-میانه، نیاز دارد.
  - چیدمان سلولی که برای آن تجزیه و تحلیل متقاطع، مورد نیاز است. ما روش GP ساده و کارآمد را ارائه می‌کنیم.
- ۲- موقعیت نهادهای تولیدی بر روی سطح موجود که عمدتاً مربوط به چیدمان‌های بخش کارکردی است که در آن، حرکت از بخشی به بخش دیگری، بدون وقفه است. این مرحله، ممکن است به چیدمان سلولی مربوط شود؛ وقتی که منابع خاصی در یک سلول، واقع می‌شوند؛ اما مورد استفاده اغلب محصولات قرار می‌گیرند؛ این وضعیت زمانی اتفاق می‌افتد که برخی منابع، گران‌تر از آن هستند که در چندین سلول تکرار شوند.
- ۳- محل منابع درون نهادهای تولیدی. این مسئله به چند پارامتر بستگی دارد: وزن محصولات، تعداد منابع موجود در نهادهای تولیدی، شدت جریان محصول، سیستم حمل و نقل و غیره.
- ۴- آخرین مرحله طراحی چیدمان، شامل توازن حجم کار اجرایی است. این چهار مرحله در جدول ۲ خلاصه شده‌اند.

## ۲-۴- طراحی نهادهای تولید

هنگامی که چیدمان‌های خطی مورد توجه قرار می‌گیرند، نهادها در طول فرآیند متعادل‌سازی، طراحی می‌شوند. همان‌طور که ذکر شد؛ ممکن است چیدمان‌های بخش کاربردی به تحلیل K-میانه نیاز داشته باشند زمانی که شباهت‌های بین منابع، واضح نیستند.

جدول ۲: مراحل طراحی چیدمان

انواع چیدمان			مراحل طراحی
چیدمان خطی	چیدمان بخشی کارکردی	چیدمان سلولی	
×	× (برخی اوقات)	× (تبادل خط)	طراحی نهادهای تولید
× (برخی اوقات)	×	×	مکان نهادهای تولیدی
×	×	× (تبادل خط)	تبادل بار کاری

طراحی سلول‌ها نیازمند یک رویکرد تجزیه و تحلیل متقاطع است. ما روش GP را پیشنهاد می‌کنیم. این روش‌ها در ادامه، ارائه می‌شوند.

## ۲-۴-۱- تحلیل K-میانه

### معرفی روش

فرض کنید مجموعه‌ای از  $n$  شیء  $I_1, \dots, I_n$  (یا فرد) چنین هستند که هر شیء با پارامترهای یکسان  $q$  مشخص می‌شود که با  $C_1, \dots, C_q$  نشان داده شده است. این پارامترها مقادیر عددی دارند. ما با  $C_1^k, \dots, C_q^k$  مقادیر عددی  $I_k$  مشخصه فردی را نشان می‌دهیم. بنابراین،  $I_k$  توسط یک نقطه‌ای که هنوز با  $I_k$  مشخص شده است؛ می‌تواند نشان داده شود و مختصات آن‌ها در فضای  $R^q$  هستند.

هدف از تجزیه و تحلیل  $k$ -میانه، تقسیم بندی مجموعه‌ای از اعضا به خوشه‌هایی از این قبیل است که دو فرد که در یک خوشه، گروه بندی می‌شوند؛ به یکدیگر نزدیک هستند.

زدیگی دو نفر را می‌توان با استفاده از فاصله اقلیدسی، و همچنین با استفاده از یک شاخص ناسازگاری، اندازه‌گیری کرد.

فرض می‌کنیم چند مورد پایه‌ای را فراخوانی کنیم.

فاصله اقلیدسی بین فرد  $I_r$  و  $I_k$  است به شرطی که مشخصات ذیل حفظ شوند:

$$-۱ \quad d(I_k, I_r) = 0 \text{ اگر و فقط اگر } I_k \equiv I_r$$

فاصله بین دو عضو برابر با صفر است اگر و فقط اگر این اعضا، دقیقاً یکسان و مشابه باشند.

$$-۲ \quad d(I_k, I_r) = d(I_r, I_k)$$

فاصله بین عضو  $I_r$  و  $I_k$  برابر است با فاصله بین عضو  $I_r$  و  $I_k$  (ویژگی تقارن)

-۳  $d(I_k, I_r) \leq d(I_k, I_u) + d(I_u, I_r)$  که هر سه عضو  $I_k$  و  $I_r$  و  $I_u$  می‌توانند هر چه باشند.

این خاصیت نابرابری مثلثی نامیده می‌شود.

فاصله اقلیدسی بین  $I_r$  و  $I_k$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d(I_k, I_r) = \sqrt{\sum_{i=1}^q (c_i^k - c_i^r)^2}$$

هنگامی که خاصیت مثلثی برقرار نشود؛ آن‌گاه  $d$  شاخص ناسازگاری، نامیده می‌شود.

### الگوریتم $K$ -میان

الگوریتم  $K$ -میان به طور تکراری به سمت مجموعه‌ای از خوشه‌های همگن، همگرا می‌شود. نتیجه ممکن است به حالت آغازین بستگی داشته باشد که به طور تصادفی تولید می‌شود.

**الگوریتم ۱ (k-میان به پارامترهای کمی):**

۱- h فرد تصادفی  $P_1, \dots, P_h$  را به طور مصنوعی در دامنه  $I_1, \dots, I_n$  تولید کنید.  
معمولاً،  $h = n/5$

۲- برای  $i = 1, \dots, n$  انجام دهید:

$$1-2 \quad u \text{ را طوری پیدا کنید که } d(I_i, P_u) = \min_{s=1, \dots, h} d(I_i, P_s)$$

۲-۲  $I_i$  را به خوشه  $S_u$  اختصاص دهید.

۳- خوشه‌های تهی را حذف کنید. تعداد خوشه‌های باقیمانده برابر است.

۴- مراکز ثقل خوشه‌ها را حساب کنید. ما این مراکز ثقل را با  $g \leq h$  نشان می‌دهیم.

۵- اگر  $\{P_1, \dots, P_h\} \neq \{V_1, \dots, V_g\}$  آن‌گاه:

۵-۱- قرار دهید  $h = g$

۵-۲- قرار دهید  $P_i = V_i$  برای  $i = 1, \dots, h$

۵-۳- به گام دو بروید.

۶- پایان.

اجازه دهید تا تعریف مرکز ثقل را یادآوری کنیم. فرض کنید که ما به هر فرد  $I_k$  یک پارامتر کمی اضافی  $W_k$  که ما آن را وزن  $I_k$  می‌نامیم؛ اختصاص می‌دهیم. این وزن برای دادن اهمیت بیشتری یا کمتر به فرد، تعریف می‌شود.

مرکز ثقل خوشه  $S_u$ ،  $u = 1, \dots, h$ ، یک نقطه در فضای  $R^q$  است که مختصات آن  $S_1^u, \dots, S_q^u$  به شکل زیر تعریف شده است:

$$S_i^u = \frac{(\sum_{k|I_k \in S_u} W_k C_i^k)}{(\sum_{k|I_k \in S_u} W_k)} \text{ for } i = 1, \dots, q$$

ثابت شده است که الگوریتم بالا، همگرا می‌شود. با این وجود، اجرای این الگوریتم برای چندین بار، می‌تواند به خوشه‌های متفاوتی منجر شود. دلیل آن این است که مجموعه اولیه  $P_1, \dots, P_h$  که به طور تصادفی ایجاد می‌شود؛ (مرحله ۱ از این الگوریتم) می‌تواند متفاوت باشد. افرادی که در خوشه یکسان در تمامی آزمایش‌ها باقی می‌مانند؛ به مجموعه "خاکستری" افراد تعلق دارند؛ یعنی افرادی که به یک خوشه خاص نزدیک نیستند. معمولاً، یک قانون اکثریت برای تخصیص این افراد به خوشه‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### یک مثال با پارامترهای عددی

به دلیل فضای محدود موجود، ما یک مثال کوچک با ۵ پارامتر و ۲۰ عضو را انتخاب می‌کنیم. وزن افراد برابر با ۱ است. پارامترها در جدول ۳ داده شده‌اند. ما ۴ عضو مصنوعی را به طور تصادفی تولید کردیم تا شروع کنیم. الگوریتم تحلیل K-میانه، ۳ خوشه را فراهم می‌کند.

جدول ۳: داده‌های کمی برای تحلیل K-میانه

$I_{10}$	$I_9$	$I_8$	$I_7$	$I_6$	$I_5$	$I_4$	$I_3$	$I_2$	$I_1$	
۱	۱۷	۱	۱	۱۳	۱	۲۰	۱	۰	۱۲	$C_1$
۴	۲۰	۱	۴	۱۷	۲	۱۸	۰	۰	۱۵	$C_2$
۲۰	۲	۲۰	۲	۰	۱۸	۱	۰	۲۰	۲	$C_3$
۲۵	۵	۲۵	۲۵	۰	۱۵	۰	۲۰	۱۸	۱	$C_4$
۱	۳	۱	۳۰	۰	۰	۰	۲۵	۱	۱	$C_5$

$I_{20}$	$I_{19}$	$I_{18}$	$I_{17}$	$I_{16}$	$I_{15}$	$I_{14}$	$I_{13}$	$I_{12}$	$I_{11}$	
۲	۳	۲۰	۵	۵	۱۹	۷	۱	۱	۳	$C_1$
۳	۲	۱۵	۴	۳	۱۸	۵	۱۸	۵	۱	$C_2$
۲۰	۵	۱	۲۱	۶	۱	۲۰	۱۷	۱	۲	$C_3$
۲۰	۳۰	۲	۲۰	۲۹	۱	۲۵	۲۰	۲۰	۱۵	$C_4$
۱	۱۸	۱	۲	۲۵	۱	۱	۱	۲۰	۱۸	$C_5$

• خوشه ۱:

اعضا:  $I_2, I_5, I_8, I_{10}, I_{13}, I_{14}, I_{17}, I_{20}$

مرکز ثقل:  $۲/۲۵, ۴/۶۲۵, ۱۹/۵, ۲۱/۰, ۱/۰$

• خوشه ۲:

افراد:  $I_1, I_4, I_6, I_9, I_{15}, I_{18}$

مرکز ثقل:  $۱۶/۸۳۳۳۳, ۱۷/۱۶۶۷, ۱/۱۶۶۶۷, ۱/۵, ۱/۰$

• خوشه ۳:

افراد:  $I_3, I_7, I_{11}, I_{12}, I_{16}, I_{19}$

مرکز ثقل:  $۲/۳۳۳۳۳, ۲/۵, ۲۳/۱۶۶۷, ۲۲/۶۶۶۷$

این الگوریتم در تکنولوژی گروهی برای ساخت خوشه‌های انواع مختلف محصول (خانواده‌های مختلف) مورد استفاده قرار می‌گیرد که تقریباً همان مقدار زمان را صرف منابع می‌کنند؛ این امر برنامه‌ریزی را ساده می‌کند. مثلاً فرض کنید که یک کارگاه کاری متشکل از  $q$  ماشین است که برای تولید  $n$  محصول طراحی شده‌اند. همچنین فرض کنید که یک تحلیل آماری، نشان داده است که نرخ تولید محصول