سیستم تولید سلولی، پاسخی به نیازهای روز صنعتی کشور

دکتر جهانیار بامداد صوفی*

چکیده

در مقاله‌ی حاضر کوشش شده است تا ابتدا مقایسه‌ای بین سیستمهای مختلف تولید از جمله سیستمهای پیوسته، گسسته و سلولی با یکدیگر در ابعاد و جنبه‌های مختلف مدیریتشان صورت گیرد. سپس زمینه‌های پیدایش و رشد سیستمهای تولید سلولی در جهان صنعتی و همچنین نتایج حاصله از طراحی و استقرار این نوع سیستمها در برخی شرکتها تشریح شود و فرایند استقرار سیستمهای تولید سلولی و نقاط قوت و ضعف آنها نیز به‌صورت اجمالی بررسی و در خاتمه نکاتی در ارتباط با استفاده از این نوع سیستمها در واحدهای صنعتی کشورمان ارائه شود.

---

* - عضو هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبایی

مقدمه

سیستمهای تولید شناخته شده در جهان صنعتی را به‌طور کلی می‌توان به چهار گروه اصلی تقسیم کرد.

۱- سیستمهای تولید پیوسته [1] که به‌صورت خطی طراحی می‌شوند و در آنها از یک خانواده از محصول انبوه‌سازی می‌شود در این سیستمها ماشین‌آلاتی که وظایف مکمل یکدیگر را انجام می‌دهند بدنبال یکدیگر و به‌صورت کاملاً متعادل مستقر می‌شوند تا بتوانند با حداکثر کارآیی (نزدیک به ۱۰۰٪) و معمولاً به‌صورت تمام خودکار تولید کنند. نحوه‌ی استقرار ماشین‌آلات را در این سیستمها [2] استقرار به‌صورت محصول‌گرا [2] می‌نامند چرا که هدف از طراحی این سیستمها انبوه‌سازی از یک محصول خاص است. محدودیت این سیستمها نداشتن هیچگونه انعطاف‌پذیری به‌منظور تولید محصولات متنوع و حتی عدم امکان ایجاد نوسان در حجم تولید است. از جمله این سیستمها می‌توان از صنایع پالایش، غذائی، پتروشیمی، فولاد، نساجی، کاغذ.... نام برد.

۲- سیستمهای تولید گسسته [3] که به‌صورت کارگاهی و غیرخطی طراحی می‌شوند و در آنها از محصولات بسیار متنوعی به‌صورت واحدی یا سری تولید می‌شود. در این سیستمها ماشین‌آلات هم وظیفه در کارگاه‌های وظیفه‌گرا مستقر می‌شوند و سیستم از مجموعه‌ی چند کارگاه وظیفه‌گرا تشکیل می‌شود که امکان تولید محصولات (و خدمات) بسیار متنوعی را فراهم می‌کنند. انعطاف‌پذیری این نوع سیستمها با توجه به اینکه قادر به تولید از محصولات متنوع در حجمهای متنوع چه به‌صورت تکراری و چه به‌صورت منقطع می‌باشند، بسیار بالا است، ولی به علت اینکه فرایندهای متنوع و متغیر تولیدی باعث ایجاد گلوگاه، انباشت محصول، انتظار و تأخیر در کارکرد ماشین‌آلات وجریان مواد و همچنین باعث پیمودن مسافتهای طولانی و بیهوده در جریانات تولیدی می‌شوند، کارآیی سیستم به طریقی محسوس

1 -Flaw shop production system
2 -Product Oriented Lay-out Design
3 -Job shop production System

کاهش می‌یابد. نحوه‌ی استقرار ماشین‌آلات در این سیستمها به‌صورت " فرایندگرا [1]" است تا بتواند جابجائی مواد و قطعات را طی فرایندها و جریانات مختلف تولیدی به حداقل برساند. از نمونه‌های بارز این سیستها می‌توان از کارخانجات ماشین‌سازی، پوشاک، چاپ خانه‌ها و سیستمهای خدماتی مانند بانکها و بیمارستانها نام برد.

۳- سیستمهای تولید پروژه‌ای [2] که عبارت است از تولید یک محصول منحصر بفرد طی یک فرایند منحصر بفرد که می‌تواند به‌صورت تکراری یا منقطع (غیرتکراری) انجام شود. در این سیستمها نحوه‌ی استقرار ماشین‌آلات به‌صورت "استقرار ثابت [3]" می‌باشد چرا که هر پروژه‌ای نیاز به استقرار ماشین‌آلات در محل انجام پروژه (سایت) به‌صورت مخصوص به خود دارد. از آنجائی‌که تولید پروژه‌ای معمولاً نوعی فرایند تجربه نشده است، داشتن انعطاف‌پذیری در مواجهه با رویدادهای پیش‌بینی نشده به‌منظور انجام مانور در زمانهای انجام فعالیتها و همچنین تجدید نظر در بودجه‌ی مالی پروژه و هزینه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از سیستمهای پروژه‌ای تکراری می‌توان از تولید کشتی و هواپیما و از انوع غیر تکراری آن می‌توان از پروژه‌های ساخت توربینهای نیروگاه‌های هسته‌ای، ساخت فضاپیما و ماهواره و همچنین ساخت سد، پل، تونل،... نام برد.

۴- سیستمهای تولید سلولی [4] که مجموعه‌ای هستند از سلولهای تولیدی پیوسته و خطوط مونتاژ که آنها نیز ماهیتاً پیوسته هستند. سیستمهای سلولی از جدیدترین سیستمهای تولید در جهان صنعتی هستند. این سیستمها به‌منظور استفاده از مزایای سیستمهای پیوسته و گسسته و همچنین اجتناب از معایب آنها طراحی شده‌اند. در حقیقت این سیستمها تلفیقی هستند از سیستمهای تولید پیوسته و گسسته، چنین سیستمهائی توانائی حفظ کارآیی بالا و در عین حال انعطاف‌پذیری مطلوب به‌منظور تولید محصولات متنوع در حجم‌های مختلف به‌صورت تکراری یا منقطع را داشته و همزمان سرعت پاسخگوئی به نیاز بازار را دارند. امروزه در بیشتر جوامع پیشرفته

---

1 -Process Oriented Layout design
2 -Project Oriented Production System
3 -Fixed Position Layout design

صنعتی سیستمهای گسسته و حتی در مواردی، سیستمهای پیوسته تبدیل به سیستمهای تولید سلولی شده‌اند. بعنوان مثال کارخانجات خودروسازی، ماشین‌سازی، قطعه‌سازی، ساخت لوازم خانگی، ساخت موتورسیکلت،... از جمله سیستمهای گسسته‌ای بوده‌اند که همگی سیستمهای تولید سلولی را جایگزین سیستمهای قبلی خود کرده‌اند تا بتوانند با حفظ تنوع محصولات، کارآیی را به‌شکلی چشم‌گیری افزایش داده و در عین حال سرعت پاسخگوئی به نیاز بازار را داشته باشند. به‌علاوه، کارخانجاتی که معمولاً از چندین خط تولید پیوسته (یا خطوط مونتاژ پیوسته) تشکیل می‌شدند (مانند کارخانجات تولید مبلمان) و مشکل تنوع محصول و پوشش دادن به بازارهای مختلف [1] و در نتیجه رضایتمندی مشتری را همیشه داشتند، سیستم تولید خود را به‌صورت سلولی طراحی کردند تا علاوه بر کارآیی بالا و سرعت مانور، انعطاف لازم را برای تولید محصولات متنوع در سریهای مختلف و در نهایت رضایتمندی مشتریان داشته باشند. امروزه چیزی در حدود ۴۰٪ کارخانجات زیر ۱۰۰ نفر و ۷۴٪ کارخانجات بزرگ آمریکائی سیستمهای سلولی را جایگزین سیستمهای تولید قبلی خود کرده‌اند (هایزر و رندر، ۱۹۹۹، ص ۳۳۱). براساس یک پژوهش که در روزنامه وال ستریت به چاپ رسید، برخی از این کارخانجات فروش خود را تا ۳۰ برابر افزایش داده‌اند.[2]

در ادامه‌ی مقاله، به‌منظور شناخت بهتر سیستمهای فوق‌الذکر، علی‌الخصوص سیستم تولید سلولی، ویژگیهای مختلف آنها در چارچوب یک جدول به مقایسه گذاشته شده است.

1 -Prduct Market differantiation
2 -The Wall Street Journal , Sep. 13. 1996. P.81

ویژگیها	سیستم تولید پیوسته	سیستم تولید گسسته	سیستم تولید سلولی
ماهیت تولید و حجم آن	انبوه‌سازی از یک خانواده از محصول به صورت کاملاً استاندارد شده و تکراری	تولید واحدی یاسری‌سازی در حجم کم و متوسط از محصولات بسیار متنوع به‌صورت تکراری یامنقطع	تولید سری در حجم کم و متوسط از محصولات متنوع ولی هم خانواده به‌صورت تکراری و استاندارد شده
آمایش فضای کارخانه و استقرار ماشین‌آلات	استقرار به‌صورت خطی و محصول‌گرا	استقرار به‌صورت غیرخطی، کارگاهی و فرایندگرا	استقرار به‌صورت فن‌آوری گروهی در سلولهای پیوسته
کارآیی سیستم	نزدیک به ۱۰۰٪	۳۰ الی ۷۰ ٪	۸۰ الی ۹۰٪
رابطه با بازار	فروش براساس تولید و موجودی انبار	تولید براساس نیاز بازار و بعضاً سفارش	مونتاژ براساس نیاز بازار و سفارش
برنامه‌ریزی تولید	به‌صورت ثابت و بسیار ساده و براساس پیش‌بینی بازار	به‌صورت بسیار متغیر و پیچیده براساس نوسانات بازار و ظرفیتهای موجود	برنامه‌ریزی متغیر براساس پیش‌بینی بازار و محصولات نیمه تمام در دسترس
ماشین‌آلات و تجهیزات	تک منظوره‌ای، سرمایه بر و تمام خودکار	چندمنظوره‌ای و کاربرتر	ربانی و منعطف و هم خانواده
زمانبندی تولید	به‌صورت کام به کام، پیوسته و بالانس شده	گروهبندی فعالیتها به‌صورت وظیفه‌گرا با جریانات تولید مختلف	زمانبندی تولید به‌صورت به هنگام JIT و تکراری
طراحی مشاغل	کم تعداد و تک تخصصی، به‌صورت تکراری	پرتعداد و بسیار ماهر، به‌صورت متغیر	کم تعداد و چند مهارتی با تکرارهای کم و تغییرات گاه‌به گاه
وضعیت انبارها و موجودی	کم تعداد و کم حجم بویژه برای مواد اولیه و محصولات نیمه تمام و پرحجم برای محصولات نهائی	کم حجم برای محصولات نهائی و پر تعداد و پرحجم برای مواد اولیه و محصولات نیمه تمام	با استفاده از فنون JIT حجم انبارها به حداقل ممکنه می‌رسد
جریانات فیزیکی مواد	حرکت خطی و یکنواخت به‌صورت تمام خودکار با استفاده از Conveyor	حرکت متغیر با استفاده از ماشین‌آلات حمل و نقل Lift-truck و Fork Lift	حرکت در مسیرهای مشخص با استفاده از رباتهای حمل و نقل‌کننده AGV
سیکل تولید	پایین، بعضاً نزدیک به صفر	طویل مدت	متغیر، عمدتاً کوتاه مدت
هزینه‌های تولید	هزینه‌های جاری کم و هزینه‌های ثابت بالا	هزینه‌های جاری بالا و هزینه‌های ثابت کم	هزینه‌های جاری نسبتاً کم و زیاد هزینه‌های ثابت براساس انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات
هدف از طراحی کارخانه	برقراری توازن کامل بین ظرفیتهای ماشین‌آلات	به حداقل رساندن زمان جریانات فیزیکی مواد	تسهیل در جریان مواد و توازن سلولهای منعطف
برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات	رویکرد نگهداری پیشگیرنده Preventive maint	رویکرد تعمیراتی	رویکردPM و برنامه‌ریزی تغییرات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری ماشین‌آلات TPM

AGV: Automated Guided Vehicle
TPM: Total Preventive Maintenance

زمینه‌های ایجاد و رشد سیستمهای تولید سلولی در جهان

ایده‌ی طراحی سیستمهای تولید سلولی برای اولین بار در سال ۱۹۲۵ میلادی توسط " فلاندرز " بر پایه‌ی استفاده از فن‌آوری گروهی شکل گرفت، اما استفاده از این نوع سیستمها توسط واحدهای صنعتی عملاً به سالهای پس از جنگ دوم جهانی باز می‌گردد. گرایش به طراحی این سیستمها توسط کارخانجات (و حتی ادارات و بخشهای خدماتی) پاسخی است به وضعیت پرتلاطم بازار و تغییرات سریع و

غیرمنتظره‌ای که در محیط سازمانها به وقوع پیوسته است. در زیر شمه‌ای از زمینه‌های بوجود آمدن سیستمهای تولید سلولی را برمی‌شمریم.

۱- ضرورت کاهش قیمت تمام شده‌ی محصولات و کنترل کامل هزینه‌های تولید از طریق به حداقل رساندن حجم موجودی انبارها (و حتی حذف آنها)، به حداقل رساندن ضایعات صنعتی، به حداقل رساندن دوباره کاریها، گلوگاه‌ها، و زمان جریانات فیزیکی مواد، به حداقل رساندن محصولات معیوب و مرجوعی، به حداقل رساندن خرابی ماشین‌آلات،....

۲- لزوم افزایش کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده به بازار از طریق مدیریت کیفیت جامع فرایندهای مدیریتی از جمله طراحی و مهندسی محصولات، ساخت، خدمات پس از فروش،...

۳- ضرورت کوتاه کردن دوره‌ی عمر محصولات[1] و جایگزینی سریع آنها توسط محصولات جدیدتر و کارآمدتر از طریق نوآوری پی‌درپی و دائمی. به‌عنوان نمونه، دوره‌ی عمر محصولی مانند خودرو که زمانی به‌طور متوسط بین ۱۵الی ۲۰ سال بود، امروزه به زیر ۵ سال رسیده است.

۴- لزوم به حداقل رساندن زمان فرایندهای مدیریتی تحت عنوان ایده‌ای به‌نام "رقابت براساس زمان[2]". امروزه تمامی شرکتها در کشورهای پیشرفته صنعتی در پی به حداقل رساندن زمان خرید مواد و قطعات و تحویل به انبارها، به حداقل رساندن زمان طراحی و مهندسی محصولات جدید، به حداقل رساندن زمان ساخت و تحویل به مشتری، به حداقل رساندن زمان ارائهٔ خدمات پس از فروش،... هستند. برای نمونه، شرکتهایی مانند تویوتا و هوندا موتورز توانسته‌اند زمان فرایندهای طراحی و مهندسی محصولات جدید خود را به زیر دو سال برسانند، در صورتی‌که همین فرایندها در آمریکا به‌طور متوسط سه سال و در برخی شرکتهای خودروسازی اروپائی تقریباً ۴ سال بطول می‌انجامد. (هایزر و رندر، ۱۹۹۹، ص

1 - Product Life Cycle
2 - Time Based Competition

۱۹۵). بدیهی است که کوتاه شدن زمان فرایندهای توسعه‌ی محصولات جدید نه تنها هزینه‌ها را کاهش می‌دهد، بلکه شرکت را در موقعیت بهتر رقابتی قرار می‌دهد.

۵- ضرورت افزایش قابلیت انعطاف سیستمهای تولید و همراه با آن افزایش کارآیی و تسریع پاسخگویی به تغییرات بازار به‌صورت سیستماتیک. در نتیجه، لزوم ارتقاء سیستمهای ارتباطی و اطلاع‌رسانی سریع و بموقع، فراگیر و با کیفیت از طریق ایجاد شبکه‌های ارتباطاتی و اطلاعاتی الکترونیکی، انفورماتیکی و ماهواره‌ای (هوا – فضا) بین عرضه‌کنندگان، سازندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان.

بدیهی است که سیستمهای تولید پیوسته با توجه به تک محصولی بودن و غیرمنعطف بودنشان قابلیت نوآوری پی‌در پی، تنوع در محصولات، پوشش دادن به بازارهای مختلف و رضایتمندی مشتریان متفاوت را ندارند. از طرف دیگر، سیستمهای تولید گسسته با توجه به کارآیی ضعیفشان و طولانی بودن سیکل چرخه‌ی تولیدشان و همچنین بالا بودن هزینه‌های جاریشان قابلیت پاسخگویی سریع به نیاز بازار و همچنین کاهش قیمت تمام شده‌ی محصولات خود را ندارند. اما سئوال اساسی این‌است‌که سیستمهای تولید سلولی چگونه قادرند همزمان محاسن سیستمهای پیوسته و گسسته را داشته باشند و از معایب آنها اجتناب ورزند.

همانطوریکه قبلاً گفته شد، سیستمهای تولید سلولی مجموعه‌ای هستند از سلولهای تولیدی پیوسته که در آنها ماشین‌آلات به‌صورت فن‌آوری گروهی[1] و به‌شکل خطی مستقر می‌شوند و قادرند از قطعات ومحصولات نیمه ساخته سری‌سازی کنند. فن‌آوری گروهی عبارت است از ماشین‌آلات هم خانواده که وظایف مکمل یکدیگر را بر روی قطعات هم خانواده (تقریباً هم شکل و هم اندازه) در جهت سری‌سازی از محصولات هم خانواده انجام می‌دهند. فرق این سلولهای تولیدی پیوسته با سیستمهای سنتی پیوسته در این‌است‌که، سلولهای پیوسته مدرن دارای انعطاف‌پذیری بالاتری بوده و قادر به تولید قطعات متنوع‌تری هستند. در ضمن، جریانات فیزیکی مواد در این سلولها طی یک مسیر مشخص و یکسان به‌صورت تکراری و یکنواخت و ۱۰۰ ٪ متوازن صورت نمی‌گیرند، بلکه می‌توانند دارای

زمان‌بندیهای متفاوت، مسیرهای متفاوت و تکرارهای متغیر باشند. در نتیجه سیستمهای سلولی دارای کارآیی ۱۰۰ ٪ نبوده ولی ماهیتاً کارآیی بسیار بالاتری نسبت به سیستمهای گسسته دارند. در ضمن، در این سیستمها علاوه بر مجموعه‌ای از سلولهای تولیدی که در آنها کلیه‌ی قطعات و محصولات نیمه تمام براساس برنامه‌های از پیش تعیین شده سری‌سازی می‌شوند، تعدادی خطوط مونتاژ چند منظوره‌ای[1] وجود دارند که براساس نیاز بازار فعال شده و محصولات نهائی را مونتاژ می‌کنند. درست مانند محل تولید و فروش غذاهای فوری[2] که نوعی سیستمهای خدماتی سلولی هستند که در آنها مواد اولیه در چارچوب سلولهای تولیدی مختلف تبدیل به مواد غذایی نیمه آماده می‌شوند تا براساس سفارشات دریافتی بسرعت مونتاژ شده و به‌صورت غذای آماده با کمترین زمان انتظار در اختیار مشتریان قرار گیرند. بدیهی است که سرعت پاسخگویی به نیاز بازار و سفارشات دریافتی در چنین سیستمهایی نسبت به سیستمهای گسسته (برای مثال رستورانهای معمولی) به‌طرز چشمگیری افزایش می‌یابد چرا که جریانات تولیدی به جای طی کردن مسیرهای بسیار متغیر و طولانی و همچنین مواجه شدن با گلوگاه‌ها، تأخیرات، و دوباره کاریها از مجموعه‌ای از سلولهای تولیدی پیوسته و خطوط مونتاژ پیوسته عبور می‌کنند تا در اختیار مشتریان قرارگیرند. البته تنوع محصولات در این سیستمها هرگز طیف وسیع و نامحدود سیستمهای گسسته را نمی‌تواند داشته باشد. این‌چنین است که کارخانجات خودروسازی و موتورسیکلت‌سازی توانسته‌اند آنقدر رشد کنند که حتی به‌صورت سفارشی (البته در چارچوب مشخصی) ۲۴ الی ۴۸ ساعته سفارشات دریافتی را تحویل مشتری بدهند، در ادامهٔ بحث خود به تشریح نتایج بدست آمده، از طراحی این نوع سیستمها در برخی کارخانجات که به‌طور سنتی دارای سیستمهای گسسته یا پیوسته بودند می‌پردازیم.

1 - Mixed Model Assembly line
2 - Fast food

نتایج حاصله از طراحی و استقرار سیستمهای تولید سلولی

۱- در صنعت تولید موتورسیکلت شرکت "هارلی دیویدسون[1]" از قدیمی‌ترین شرکتهایی است که سالهاست رهبری بخشهایی از بازار را به‌عهده دارد. این شرکت در تولید مدلهایی از موتورسیکلت با حجم موتور بالای ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب به حدی شهرت دارد که بسیاری از شرکتهای ژاپنی و چینی از مدتها قبل اقدام به کپی‌کردن از مدلهای مشهور و سنتی آن البته با حجمهای بمراتب پایین‌تر کردند. از این‌رو، شرکت مذکور به‌منظور حفظ رهبری بازارهای خود تصمیم گرفت کلیه‌ی عملیات ساخت قطعات مختلف موتور و بدنه‌ی موتورسیکلتهای تولیدی خود را در سلولهای تولیدی متعددی انجام دهد. به‌عنوان مثال کلیه‌ی قطعات هم خانواده‌ی انواع موتورها در کارخانه‌ی "میل و ووکی[2]" ساخته و سپس مونتاژ می‌شوند. سپس موتورها به‌صورت به هنگام (JIT) به کارخانه‌ی شهر «یورک[3]» واقع در ایالت پنسیلوانیا[4] ارسال می‌شوند. در کارخانه‌ی یورک نیز کلیه‌ی قطعات بدنه در سلولهای مختلف ساخته و مونتاژ می‌شوند، و سپس ۹۵ نوع موتورسیکلت مختلف مونتاژ نهایی می‌شوند. این ۹۵ نوع موتورسیکلت شامل ۱۳ رنگ، دو نوع موتور در سه حجم متفاوت، ۲۰ نوع سیستم چرخ و فنر و دو نوع سیستم هدایت می‌شوند که به‌صورت موتورسیکلتهای پلیس، سنتی و مدرن، بعضاً به‌صورت سفارشی تحویل مشتری می‌گردند. در چارچوب سیاست جدید تولیدی شرکت هارلی دیویدسون حداقل ۲۰ هزار قطعهٔ مختلف باید به‌صورت محصولات نیمه ساخته یا محصولات نهائی مونتاژ شوند (هاینرر و رندر، ۱۹۹۹، ص ۲۳۱).

۲- سیاستی مشابه شرکت "هارلی دیوید سون" توسط کمپانی فولکس واگن در کارخانجات ۲۵۰ میلیون دلاری ساخت کامیون و اتوبوس در شهر "رزند[5]" برزیل به مرحله‌ی اجرا درآمد. هفت قطعه‌ساز بزرگ از جمله شرکت VDO Rienzle آلمانی

---

1 -Harley - Davidson
2 -Milwau Kee
3 -York

قطعات مربوط به محصولات نیمه تمام را در سلولهای مختلف تولیدی ساخته و مونتاژ می‌کنند. شرکت VDO Rienzle مسئولیت ساخت کلیه‌ی قطعات اتاق راننده و مونتاژ آنرا بر روی شاسی به‌عهده دارد (از صندلی راننده گرفته تا قطعات داشبورد و غیره). کل سیستم تولید به‌صورت به هنگام (JIT) برنامه‌ریزی شده است و تمامی قطعات، حداکثر یکساعت قبل از مونتاژ به‌صورت کاملاً هماهنگ ساخته می‌شوند. جایگزینی سیستمهای سلولی جدید به جای سیستمهای تولیدی سنتی باعث کاهش زمان مونتاژ نهائی به میزان ۱۲ ٪ و افزایش کیفیت محصولات و همچنین کاهش هزینه‌های تولید شده است (David,Woodruff,1996,P52-56).

۳- رقابت بین‌المللی در بازار لوازم برقی خانگی بمراتب شدیدتر و سخت‌تر از بازار خودرو وموتورسیکلت است. رقابت بی‌وقفه‌ی بین‌المللی باعث شد که شرکت "وستینگ هاووس[1]" علی‌رغم افزایش قیمت مواد اولیه، افزایش هزینه‌های سربار و همچنین هزینه‌های پرسنلی، تصمیم به کاهش قیمت محصولات نهایی خود بگیرد و سیستم تولید سلولی را جایگزین سیستم تولید سنتی خود بکند. استقرار سیستم تولید سلولی نتایج زیر را برای شرکت مذکور بدنبال داشت

- دستیابی به "جایزه ملی کیفیت"[2]
- صرفه‌جوئی ۲۲ میلیون دلاری در طی یکسال
- کاهش هزینه‌های مواد به میزان ۷۰٪
- کاهش زمان طراحی محصولات از ۹۰ روز به ۱۰ روز
- کاهش هزینه‌های تولیدی بمیزان ۳۰ ٪
- کاهش زمان تحویل به مشتری از ۱۴ روز به ۶ ساعت که به نوبهٔ خود باعث کاهش هزینه‌های دریافت و آماده‌سازی سفارشات از ۸۶ میلیون به ۱۲ میلیون دلار شد.
- کاهش فضای ساخت و مونتاژ قطعات از ۳۴ هزار مترمربع به صرفاً ۱۴ هزارمتر مربع[3]

---

1 - Westinghous
2 - Baldrige Nafional Quality Award
3 - The Wall Street Journal ,March 16 ,1993,A1Industrial Engineering , March 1995 , P20

۴- بازار کامپیوترهای خانگی بسیار پرتلاطم و رقابتی است. نوآوری سریع فن‌آوری باعث شده است که دوره‌ی عمر محصولات به‌طور متوسط به ۶ ماه کاهش یابد. از این‌رو، شرکت "کمپاک[1]"، تولیدکننده‌ی انواع رایانه‌های خانگی، تصمیم گرفت با استفاده از سیستم تولید سلولی انعطاف‌پذیری کارخانه‌ی خود را افزایش دهد. این شرکت خط مونتاژ سنتی خود را توسط ۴۸ سلول تولید جایگزین کرد تا بتواند سیاست نوآوری دایمی خود را بهتر دنبال کند. در هر سلول سه کارگر مشغول بکارند و مسئولیت ساخت، تست و حمل مدلهای مختلف رایانه‌ای را به‌صورت روزانه عهده دارند. طراحی و برپایی این سلولها باعث افزایش تولید سرانه کارگران به‌میزان ۲۳ ٪ و همچنین افزایش کیفیت محصولات تمام شده به‌میزان ۲۵ ٪ شده است. البته هزینه این تغییرات نیز نسبتاً بالا بوده است. خط مونتاژ ۲/۵ میلیون دلاری تبدیل به سلولهای ۱۰ میلیون دلاری شد. هر سلول نیاز به یک گروه کامل از ابزارآلات و ماشین‌آلات هم خانواده داشت. به‌علاوه، هزینه‌های آموزش کارگران و چند مهارتی شدن آنها و بدنبال آن افزایش دستمزدشان نیز مزید برعلت شد. امروزه، کارخانه‌ی مذکور دارای خطوط مونتاژ چند منظوره‌ای و سلولهای منعطف تولیدی است. خطوط مونتاژ برای مونتاژ چند ماه اول از دورهٔ عمر محصولات جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بتوانند از طریق انبوه‌سازی جوابگوی تقاضای بالای بازار باشند و پس از کاهش تقاضای بازار تولید به‌صورت سلولی انجام می‌شود (راسل و تیلور، ۲۰۰۰، ص ۳۰۴).

۵- مشکل اساسی بازار مبلمان همیشه این بوده که اولاً، مشتریان متقاضی تنوع بیشتری در محصولات عرضه شده در نمایشگاه‌های فروش مبلمان هستند، ثانیاً، خریداران علاقه‌ای باینکه ماه‌ها برای تحویل یک سفارش خاص انتظار بکشند را ندارند. در بیشتر کارخانجات تولید مبلمان تعداد معدودی از محصولات استاندارد شده مونتاژ می‌شوند. بنابراین امکان تولید سفارشی از محصولات خاص و تحویل سریع به مشتری در چنین کارخانجاتی وجود ندارد. "شرکت تولید مبمان رو[2]"

1 - Compaq

به‌منظور فایق آمدن به مشکل فوق اقدام به ایجاد یک شبکه‌ی رایانه‌ای کرد تا مشتریان بتوانند سفارشات خود را از روی یک کاتالوگ از مبلمان متنوعی که تلفیقی از صنعت و هنر را در هم آمیخته بودند بدهند. اما مشکل اصلی "شرکت مبلمان رو" تحویل سریع مبلمان سفارش داده شده به مشتریان بدون افزایش هزینه خرید آنها بود. بدین منظور "شرکت مبلمان رو" خط مونتاژ سنتی خود را توسط تعدادی سلولهای تولیدی که در آنها کارگران آموزش دیده و چند مهارتی[1] به وظایف دوزندگی، عدل‌بندی، لائی زنی و چسب‌کاری مشغول بودند جایگزین کرد. در حدود سه دو جین از کارگران آموزش دیده و چند مهارتی به جای کارکردن بر روی خطوط مونتاژ شروع به کار در سلولهای تولیدی کردند. از طریق آموزش دیدن، چسب کارها بهتر به نیازهای کاری عدل‌بندها پی بردند و لائی‌زنها بهتر نیازهای کاری دوزندگان را دریافتند. تیمهای کاری از طریق ارتباطات بهتر توانستند مشکلات روزمره خود را به تنهائی حل و فصل کنند و با کمک مدیران روشهای کارآمدتری را جایگزین روشهای قدیمی نمایند. در نهایت، بهره‌وری در "کارخانهٔ مبلمان رو" به‌طریقی محسوس افزایش یافت و سرعت پاسخگوئی به سفارشات مشتریان از محصولات متنوع نیز افزایش چشمگیری پیدا کرد[2].

فرایند استقرار سیستمهای سلولی

شکل ۱ نحوه‌ی استقرار ماشین‌آلات هم وظیفه را در چهار کارگاه مجزا در یک سیستم گسسته نشان می‌دهد (مثلاً کارگاه برش، ماشین‌کاری، رنگ و شستشو). قطعاتی که فرایندهای مختلفی را طی چهارکارگاه مذکورمی‌پیمایند به‌صورت سری ساخته می‌شوند تا در نهایت وارد خط مونتاژ نهایی شده و تبدیل به محصول تمام شده گردند. ۸ قطعه‌ی مختلف به‌منظور آماده‌سازی برای مونتاژ نهائی باید از ۱۲ ماشین صنعتی عبور کنند.جریان عبور قطعات A، B و C بر روی شکل ۱ نشان داده شده است. همانطوری‌که مشاهده می‌شود، این قطعات در مسیر عبور خود مسافتهای

1 -Multi – Skilled workers
2 -Wall street Journal , Sep.13 , 1996 , P81 Furniture Today , Jany 13 1997

گاهاً طولانی و بی‌موردی را باید طی کنند تا آماده برای مونتاژ نهائی شوند. برنامه‌ریزی جریانات تولیدی قطعات و عملیات انجام شده توسط ماشین‌ها بر روی آنها بسیار پیچیده بوده و ایجاد گلوگاه، انباشت محصول و تأخیرها و زمانهای انتظار را غیرقابل اجتناب می‌کند. کارگرانی که در کارخانه مشغول بکارند نیز براساس وظیفه هر کارگاه از نظر مهارتی تقسیم شده‌اند و قادر به انجام وظیفه بر روی تعدادی از ماشین‌های هم وظیفهٔ مستقر در هر کارگاه هستند. جدول ماتریسی ۱ نیز جریانات تولید هر ۸ قطعه را به‌صورت یکجا نشان می‌دهد.[۱] ظاهراً هیچ الگوی خاصی را نمی‌توان به‌منظور "تجزیه و تحلیل جریانات تولیدی[۲]" قطعات پیدا کرد. اما با استفاده از آلگوریتم‌هائی نظیر "کینگ[۳]" و "کیوزیاک[٤]" براحتی می‌توان گروههائی از ماشین‌های هم خانواده را که بر روی قطعات مشابه و هم اندازه وظائف مکمل یکدیگر را طی فرایندهای نظیر هم به‌منظور سری‌سازی از آن قطعات انجام می‌دهند شناسائی و در سلولهای مختلف مستقر کرد (تشریح دقیق این آلگوریتمها از حوصلهٔ بحث مقالهٔ حاضر خارج است[٥]).

M / P	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_{11}	M_{12}
A	١	٢		٢				٢		٥		
B					١		٢				٢	٢
C			١			٢			٢			
D	١	٢		٢				٢		٥		
E					١	٢						٢
F	١			٢				٢				
G			١			٢			٢			٢
H							١				٢	٢

جدول ۱ : ماتریس جریان عبور ۸ قطعه از ۱۲ ماشین صنعتی[٦]

۱- اعداد داخل جدول اولویتهای عبور قطعات از ماشین‌ها را نشان می‌دهند.

2 - Production Flow Analysis

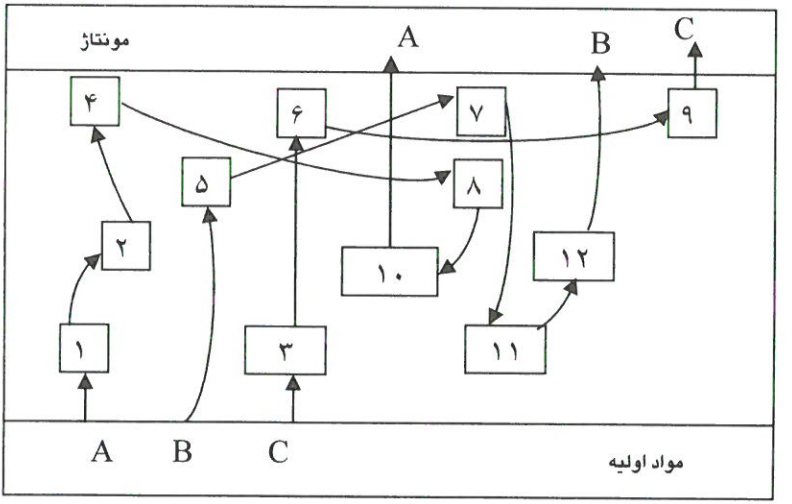
3 -King

4 -Kugiack

۵- بمنظور مطالعهٔ این الگوریتم‌ها مراجعه شود به منابع زیر:

- A.Courtois , C.Martin –Bonnefous ,M.Pillet (1995)
"Gestion de Proruction",ed.organisation ,1995

- Andrew Kugiak, "Intelligent Manufacturing systems" Prentice-Hall int. inc. 1990



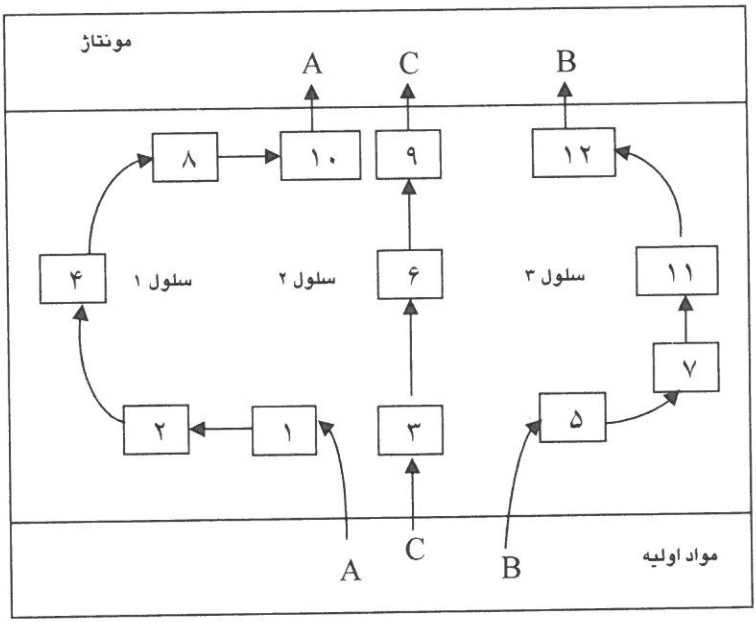
شکل ۱ : جریان عبور قطعات از ماشین‌های مستقر در یک سیستم تولید [۱] گسسته

جدول ۲ نشاندهنده‌ی شکل‌گیری سه سلول تولیدی مجزا و استقرار ماشین‌ها در هر یک از سه سلول می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود، ماشین‌های ۱، ۲،۴، ۸ و ۱۰ که عملیاتی را بر روی قطعات A، D و F انجام می‌دهند در سلول اول، ماشین‌های ۳، ۶ و ۹ که وظایف مکمل یکدیگر را طی فرایندهای مشابه بر روی قطعات C و G انجام می‌دهند در سلول دوم، و بالاخره ماشین‌های ۵، ۷، ۱۱ و ۱۲ که بر روی قطعات B، H و E کار می‌کنند در سلول سوم مستقر می‌شوند. همانطور که مشاهده می‌شود، قطعات G و E تنها قطعاتی هستند که از ماشینهای مستقر در دو سلول عبور می‌کنند. قطعهٔ G پس از عبور از ماشینهای ۳، ۶ و ۹ که در سلول دوم مستقر هستند باید در مرحلهٔ آخر از ماشین ۱۲ که در سلول سوم مستقر می‌باشد عبور کند تا آمادهٔ مونتاژ نهائی شود. قطعهٔ E نیز پس از عبور از ماشین ۵ در سلول ۳ وارد سلول ۲ می‌شود و از ماشین ۶ عبور می‌کند تا در نهایت مجدداً وارد سلول سوم شده و از ماشین ۱۲ عبور کند و آماده‌ی مونتاژ نهایی شود.

۱- مثال برگرفته شده از منبع

R.S.Russel , B.W.TaylorIII,2000,P297

در چنین مواقعی بهتر است ماشینهایی را که با قطعاتی کار دارند کـه از سـلولهای دیگر می‌آیند در مرز بین دو سلول مستقر کرد. این ماشین‌ها عبارتند از ماشین‌های ۶ و ۱۲. شکل ۲ بهترین نحوهٔ استقرار ماشین‌آلات را در سه سلول تولیدی مجـزا نـشان می‌دهد.



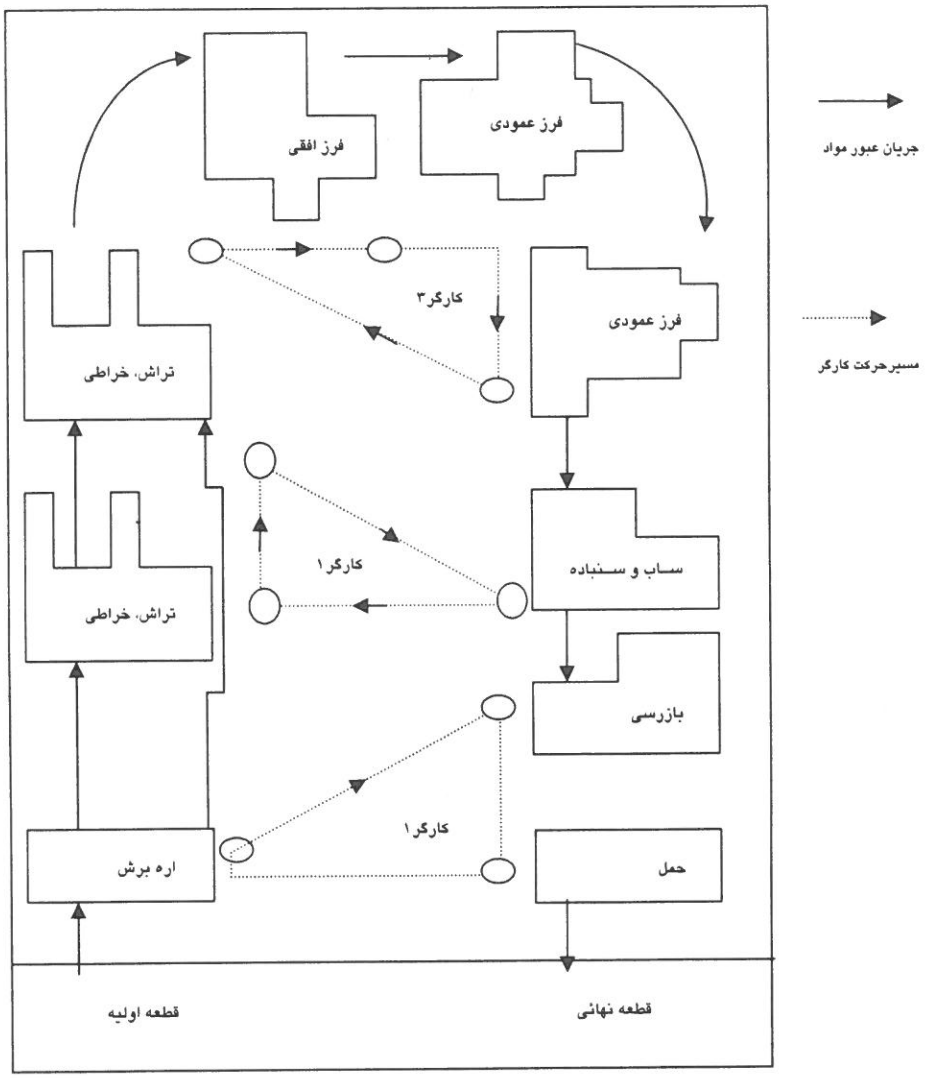
شکل ۲ : طراحی سلولی کارخانه و جریان عبور قطعات از ماشین‌آلات مستقر در سه سلول تولیدی

با توجه باینکه قطعات G و E باید از دو سلول ۲ و ۳ عبـور کننـد، نحـوهٔ اسـتقرار سلولها و ماشین‌آلات در هر سلول به نحوی اسـت کـه جریـان عبـور قطعـات مـذکور حرکتهای چندان اضافی را بهمراه ندارد.

M / p	M_1	M_2	M_4	M_8	M_{10}	M_3	M_6	M_9	M_5	M_7	M_{11}	M_{12}
A	۱	۲	۳	۴	۵							
D	۱	۲	۳	۴	۵							
F	۱		۲	۳								
C						۱	۲	۳				
G						۱	۲	۳				۴
B									۱	۲	۳	۴
H										۱	۲	۳
E							۲		۱			۳

جدول ۲ : ماتریس جریان عبور ۸ قطعه از ۱۲ ماشین صنعتی مستقر در سه سلول تولیدی

همانگونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود سلولهای ۱ و ۳ به شکل U طراحی شده‌اند. این نحوهٔ استقرار ماشین‌آلات در سلولهای تولیدی بسیار معمول است چرا که امکان کارکردن یک کارگر را بر روی چند ماشین فراهم می‌کند. همانطور که قبلاً گفته شد کارگران در سیستمهای گسسته می‌توانند بر روی تعدادی از ماشین‌های هم وظیفه (مثلاً تعدادی ماشین برش یا چند ماشین تراش) کار کنند. در نتیجه لزوم آموزش‌دهی به این کارگران در جهت چند مهارتی کردن آنها به‌منظور انجام وظیفه‌های مکمل یکدیگر (و نه شبیه یکدیگر) احساس می‌شود. استقرار ماشین‌آلات در یک سلول تولیدی به‌صورت U شکل حرکت کارگران را بین ماشین‌ها بر روی مسیرهای مشخص تسهیل می‌کند. البته مسیرهای حرکت کارگران بین ماشین‌های مستقر در یک سلول تولیدی لزوماً با مسیر حرکت مواد یکی نیستند. شکل ۳ نشاندهنده‌ی مسیرهای حرکت کارگران و جریان حرکت مواد بین ماشین‌آلات مستقر در یک سلول تولیدی می‌باشد. معمولاً ماشین‌آلات مستقر در یک سلول (مثلاً یک سلول ماشین‌کاری) بر روی شاسی‌های چرخ‌دار سوار هستند تا نقل و انتقال آنها در یک سلول یا بین چند سلول به راحتی امکان‌پذیر باشد.



شکل ۳ : نحوهٔ استقرار ماشین‌آلات، جریان عبور مواد و مسیرهای حرکت سه کارگر در یک سلول تولیدی [۱]

۱- مثال برگرفته شده از

J.T.Black , cellular Manufacturing Sustems Reduce Setup Time , Make Small lot

لازم به ذکر است که یک سلول تولیدی می‌تواند به‌صورت موقتی یا دائمی از درون یک سیستم گسسته شکل گیرد، بدین طریق که ماشین‌آلات هم خانواده از کارگاه‌های مختلف خارج شده و در یک سلول تولیدی به‌صورت خطی و پیوسته مستقر می‌گردند. این کار معمولاً در مواقعی انجام می‌شود که نیاز بازار به انبوه‌سازی از یک محصول در یک سیستم گسسته احساس شود. اینچنین است که در بیمارستانها (سیستمهای گسسته) در برخی مواقع سلول اورژانس برای مقابله، با یک اپیدمی (مثلاً و با، آنفولانزا،..) به‌صورت موقتی و پیوسته ایجاد می‌شود.

البته تشکیل یک سلول تولیدی پیوسته از درون یک سیستم گسسته همیشه با سرمایه‌گذاری قابل توجهی که باید توجیه داشته باشد همراه است.

اول، جابجائی ماشین‌آلات یک سیستم گسسته و استقرار آنها در سلول تولیدی هزینه دارد.

دوم، بالانس سلول تولیدی پیوسته نیاز به سرمایه‌گذاری در جهت خرید ماشین‌آلات با ظرفیت کمتر با ارتقاء ظرفیت آنها را دارد.

سوم، خلاء ایجاد شده به خاطر خروج برخی ماشین‌آلات از کارگاه‌های خود نیز نیاز به خرید ماشین‌آلات را افزایش می‌دهد.

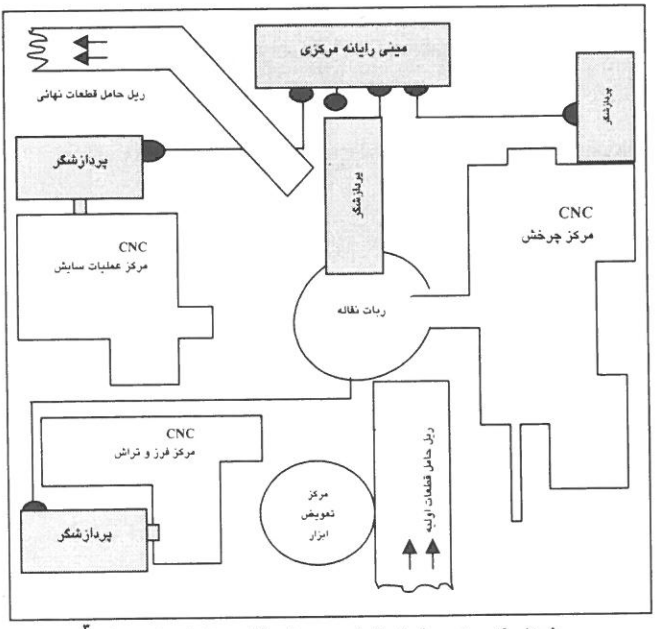
سلولهای تولیدی پیوسته می‌توانند بسیار منعطف باشند که به آنها اصطلاحاً "سلولهای تولیدی منعطف[1]" می‌گویند. این سلولها معمولاً از تعدادی رباتهای CNC تشکیل شده‌اند که حتی قادرند بدون هیچگونه استفاده‌ای از نیروی انسانی توسط یک سیستم کامپیوتری مرکزی برنامه‌ریزی، کنترل و هدایت شوند. برنامهٔ کاری زمانبندی شده ماشین‌آلات، جریان حرکت مواد و قطعات توسط رباتهای ناقل، طرح‌ریزی فرایند تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات و ارائه گزارش در ارتباط با قطعات قابل تعویض و همچنین گزارش در رابطه با کارآیی سیستم به‌صورت ۲۴ ساعته توسط یک سیستم نرم‌افزاری بسیار پیچیده مرکزی انجام می‌شوند. البته، با توجه باینکه زمانهای انجام فرایندهای عملیاتی توسط ماشین‌آلات بر روی قطعات مختلف فرق می‌کنند و همچنین مسیرهای عبور قطعات از ماشین‌ها نیز تغییر می‌کنند و نظر

1 -Flexible Manufacturing Cells

باینکه قطعات نیز در سریهای متفاوت تولید می‌شوند، بالانس ۱۰۰٪ اینگونه سلولها امکان‌پذیر نمی‌باشد. البته تا حد امکان ظرفیتهای ماشین‌آلات داخل یک سلول بالانس می‌شوند و حتی توازنی نیز بین ظرفیتهای سلولهای مختلف تولیدی با یکدیگر باید تا حدودی برقرار باشد. "خطوط مونتاژ چند منظوره‌ای[1]" نیز براساس پیش‌بینی‌های بازار و هماهنگ باخروجیهای سلولها فعال می‌شوند.

شکل ۴ نشان می‌دهد که چگونه یک ربات نقال[2] با استقرار در وسط یک سلول تولیدی بارگیری و تخلیهٔ مواد و قطعات را بین تعدادی ربات CNC و ریلهای حامل (Conveyor) ورودی و خروجی انجام می‌دهد. کل سلول توسط یک سیستم کامپیوتری مرکزی برنامه‌ریزی، هدایت و کنترل می‌شود.

در ادامهٔ بحث به تشریح مواردی از محاسن و معایب سیستمهای تولید سلولی می‌پردازیم.



شکل ۴ : یک سلول تولیدی منعطف و تمام خودکار [3]

1 - Mixed –Model Assembly lines
2 - Articulated Robot

۱- مثال برگرفته شده از مزدنی و باشر

محاسن و معایب استقرار سیستمهای سلولی

الف – محاسن استفاده از سیستمهای تولید سلولی:

۱- کاهش حمل و نقل مواد و قطعات. جریان مواد در سیستمهای سلولی در مقایسه با سیستمهای گسسته دارای مسیرهای مستقیم با فواصل کوتاه‌تر است. در طی این جریانات بین عملیات مختلف انباشتهای کمتری صورت می‌گیرد و گلوگاه‌ها کاهش می‌یابند و همچنین زمانهای انتظار و تأخیر نیز بعلت موازنه بودن ظرفیتهای ماشین‌ها به‌روش محسوسی کاهش می‌یابند. در هر سلول، کارگران بیشتر از اینکه منتظر رسیدن حجمهای زیاد از مواد طی مسافتهای طولانی باشند، به تبادل سریهای کم از محصولات نیمه تمام بین ماشین‌آلات و ایستگاه‌های کاری می‌پردازند.

۲- کاهش زمانهای تنظیم و آماده‌سازی ماشین‌آلات[1]. این زمانها نیز بعلت اینکه ماشین‌آلات بر روی قطعات همشکل و هم خانواده انجام وظیفه می‌کنند و تعویض سری نیز همیشه بر روی قطعات هم خانواده صورت می‌گیرد به‌شکلی محسوسی کاهش می‌یابند. بدیهی است که نیاز به تغییرات اساسی در نرم‌افزار و سخت‌افزار ماشین‌آلات یک سلول تولیدی به‌منظور سری‌سازی از قطعات هم خانواده بسیار کم است.

۳- قابلیت انعطاف. سلولهای تولیدی در مقایسه با خطوط تولید پیوسته دارای قابلیت انعطاف بسیار بالاتری هستند، چرا که امکان سری‌سازی در حجمهای کم از قطعات و محصولات نیمه تمام هم خانواده و متنوع را دارند.

۴- کاهش موجودی قطعات و محصولات نیمه ساخته. با توجه باینکه سلولهای تولیدی بالانس هستند و همچنین توازنی بین ظرفیتهای سلولهای مختلف و خطوط مونتاژ وجود دارد، طبیعتاً، حجم موجودی محصولات نیمه تمام و قطعات در جریان ساخت[2] کاهش می‌یابد.

J.T.Black , " cellular Manufacturing Systems Reduce Set-up Time , Make Small Lot Production Economical ". Industrial Engineering , Nov1983 P195 Institute of Industrial Inineeing.

1 -Set-up Time

2 -Work – in – process inventory

۵- کاهش فضای مورد نیاز کارخانه. نظر باینکه ماشین‌آلات در سلولهای تولیدی می‌توانند نزدیک به یکدیگر و به‌صورت U شکل مستقر شوند و همچنین نیاز به فضاهای وسیع به‌منظور انبارسازی محصولات نیمه تمام وجود ندارد و همچنین با استقرار سیستمهای تولید بهنگام JIT نیاز به انبارسازی مواد اولیه و محصولات نهائی نیز به‌طریقی چشمگیری کاهش می‌یابد، لذا کلاً سلولهای تولیدی به فضای بسیار کمتری نیاز دارند.

۶- استفاده بهتر از منابع انسانی. معمولاً در هر سلول تولیدی گروههای کوچکی از کارگران به ساخت یک قطعهٔ کامل یا یک محصول نیمه تمام اشتغال دارند. مشاغل کارگران معمولاً به‌صورت گروهی طراحی می‌شوند و به آنها گروههای نیمه مستقل[1] یا خودگردان[2] اتلاق می‌شود. در بسیاری موارد حتی حقوق و دستمزد و پاداشهای بهره‌وری نیز به صورت گروهی پرداخت می‌شوند. کارگران می‌توانند بین خود به‌صورت چرخشی انجام وظیفه کنند، در صورت غیبت یکی دیگری جایش را پر کند و حتی سرگروه را خودشان به‌صورت چرخشی انتخاب کنند. همانطوریکه پیشتر گفته شد، کارگران پس از گذراندن دوره‌های آموزشی به‌صورت چند مهارتی و کاملاً منعطف در سلولها مشغول بکار می‌شوند و علی‌رغم افزایش حقوق و مزایای آنها، هزینه‌های پرسنلی بعلت تعدیل نیروی انسانی کاهش می‌یابد. پژوهش‌های متعددی مبین این موضوع هستند که طراحی وظائف به‌صورت گروهی می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری گروه شود[3].

۷- ساده‌سازی کنترلها. از آنجائیکه قطعات هم خانواده مسیرهای مشابه تولیدی را در یک سلول طی می‌کنند نیاز به مستندسازیهای دفتری به‌طریق چشمگیری کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، با توجه به‌اینکه مسیرهای حرکت کارگران و همچنین جریان

---

1 -Semi Autonomus work Group
2 -Self Managed Work Group

۳- درارتباط با این موضوع، رجوع شود به:

عبور مواد از ماشین‌ها و ایستگاه‌های کاری براساس برنامه‌های از پیش تعیین شده مشخص می‌شوند، لذا مستندسازیها و کنترلهای سیستماتیک بسیار کاهش می‌یابند.

۸- قابلیت خودکارسازی. همانطوریکه می‌دانیم اتوماسیون پرخرج و هزینه‌ساز است. کمتر می‌توان شرکتی را یافت که به‌یکباره کلیه‌ی کارخانجات خود را به‌صورت تمام خودکار بازسازی کرده باشد. سیستم تولید سلولی امکان خودکارسازی سلولها را یکی پس از دیگری به‌صورت تدریجی برای مدیران فراهم می‌کند. یک خط مونتاژ را هرگز نمی‌توان به‌صورت تدریجی بدون آنکه توازنش بهم بخورد خودکارسازی کرد. از طرف دیگر، امکان خودکارسازی در یک سیستم گسسته نیز به‌صورت تدریجی وجود ندارد، چرا که محدوده خودکارسازی شده صرفاً باعث افزایش سرعت برخی فرایندهای تولیدی می‌شود و امکان اینکه کارآیی کل سیستم به‌صورت هماهنگ ارتقاء یابد وجود ندارد.

ب – معایب استقرار سیستمهای تولید سلولی:

۱- عدم تناسب فامیلهای قطعات با یکدیگر. تولید سلولی به‌منظور ساخت قطعاتی با تنوع بالا و حجمهای کم و مُتوسط بسیار مناسب است، اما امکان ساخت قطعاتی با اندازه‌ها و اشکال بسیار گوناگون در یک سلول تولیدی وجود ندارد. تشکیل گروههای قطعات هم خانواده با خصوصیات مشابه یکدیگر و تخصیص ماشین‌آلات هم خانواده به‌منظور ساخت آنها در سریهای کم و متوسط در یک سلول کار ساده‌ای نیست. همیشه قطعات هم خانواده‌ای که پس از طراحی گروهبندی شده‌اند قابل ساخت در یک سلول تولیدی نیستند.

۲- مشکل بالانس کردن سلولها. متوازن سازی جریان کاری در یک سلول تولیدی بمراتب مشکل‌تر از بالانس یک خط مونتاژ تک محصولی است، چرا که قطعات در سریهای متفاوت و زمانبندیهای متفاوت از ورای ماشین‌آلاتی که زمانهای عملیاتی متفاوتی را بر روی هر قطعه دارند عبور می‌کنند. یک سلول تولیدی که به خوبی بالانس نشده باشد می‌تواند بسیار ناکارآمد شود. در ضمن ظرفیتهای سلولهای مختلف نیز باید با یکدیگر متوازن باشند و همچنین ظرفیتهای سلولها و ظرفیت خطوط

البته همیشه آمایش اولیه در یک سیستم سلولی طوری انجام می‌شود که توازنی بین کلیهٔ جریانات کاری در سلولها و بین سلولها برقرار باشد، ولی به محض تغییر در طراحی و ساخت قطعات و محصولات این توازن اولیه برهم می‌خورد و نیاز به تعادل مجدد می‌باشد.

۳- مشکل برنامه‌ریزی نیروی انسانی. آموزش‌دهی به پرسنل در جهت چند مهارتی کردن آنها زمان‌بر و هزینه‌ساز است و نیاز به برنامه‌ریزی دارد. از طرف دیگر، تعیین، تغییر و اصلاح مسیرهای حرکتی کارگران در سلولها و بین سلولها نیز نیاز به برنامه‌ریزی دقیق دارد. حفظ قابلیت انعطاف سیستم تولید سلولی برنامه‌ریزیها را پیچیده‌تر می‌کند.

۴- افزایش سرمایه‌گذاری و هزینه‌های ثابت. در سیستمهای سلولی داشتن چند ماشین کوچک با ظرفیت محدود همیشه بر یک ماشین بزرگ ارجحیت دارد. برای ایجاد سیستمهای سلولی خرید چندین ماشین کم ظرفیت مشابه یکدیگر و استقرار آنها در سلولهای مختلف همیشه بر استفادهٔ مشترک از یک ماشین بزرگ توسط چند سلول یا استفادهٔ یک سلول به‌صورت بسیار محدود از یک ماشین بزرگ ارجحیت دارد. به‌علاوه، تبدیل سیستمهای گسسته به سلولی همانگونه که گفته شد دارای هزینه‌های اولیهٔ نسبتاً بالائی است، مانند هزینهٔ جابجائی ماشین‌آلات و تغییر آمایش فضای کارخانه، یا هزینهٔ خرید ماشین‌آلات کوچکتر و استقرار آنها در سلولها.

نتیجه‌گیری

همانطوریکه در مقاله‌ی حاضر گفته شد طراحی سیستمهای تولید سلولی می‌تواند به‌صورت تدریجی از درون یک سیستم تولید گسسته شکل گیرد و یا اینکه به‌صورت یکباره از همان ابتدا انجام شود. سیستمهای تولید سلولی را می‌توان به‌صورت موقتی درون یک سیستم تولید گسسته طراحی نمود. به‌عنوان مثال، بانکها می‌توانند در واقعی که باید خدمات خاصی را در مدت زمان کوتاهی به انبوه مردم ارائه بدهند مثلاً، پذیره‌نویسی اوراق مشارکت، ثبت‌نام تلفن همراه،...)، یک سلول پیوسته با چند

ایستگاه کاری[1] (مثلاً ایستگاه دریافت فرم، ایستگاه پذیره نویسی، صندوق، ...)، به‌صورت خطی و بالانس شده در درون سیستم گسسته بانکی موقتاً دائر نمایند. بدیهی است که ایجاد چنین سلولهائی می‌تواند هم از اتلاف وقت مراجعین و کارکنان بکاهد، و هم از ایجاد گلوگاه‌ها و صفهای طولانی در سایر ایستگاه‌هائی که باید خدمات متنوعی را به مشتریان بدهند جلوگیری کند. همین سلولها را می‌توان در دیگر سیستمهای گسسته خدماتی نظیر بیمارستانها، رستورانها،... طراحی کرد. برای مثال در مواقعی که بیماری یا حادثه‌ی غیرمنتظره و فراگیری در کشور شایع می‌شود، بیمارستانها با ایجاد سلولهای اورژانس موقت که در آنها چند ایستگاه کاری (عملاً: پذیرش، اتاق اشعه، آزمایشگاه، معاینه، ترخیص،...) به‌صورت خطی و متوازن مستقر می‌شوند، مشکل سرعت خدمات‌رسانی به انبوه مراجعین اورژانسی خود را حل می‌کنند. ایجاد چنین سلولهائی در سیستمهای گسسته تولیدی مانند کارخانجات پوشاک نیز بسیار متداول است.

متأسفانه در کشورمان هنوز زمینه‌های طراحی و استقرار سیستمهای تولید سلولی کاملاً شکل نگرفته است (رجوع شود به بخش II، ص ۶). به غیر از چند کارخانه‌ی سازندهٔ موتورسیکلت و قطعه (که در اکثر آنها نیز فن‌آوری به‌صورت کلید در دست انتقال یافته است)، استقبال چندانی از طرف صنعتگران کشورمان در ارتباط با برپاسازی اینگونه سیستمها نشده است. لکن، نیاز به طراحی این نوع سیستمها در آن بخشهای اقتصادی که بازارشان رقابتی شده است و یا بطرف رقابتی شدن (داخلی یا بین‌المللی) پیش می‌روند، مانند صنایع خودروسازی، قطعه‌سازی، ماشین‌سازی، موتورسیکلت و دوچرخه سازی، تولید پوشاک، تولید مبلمان اداری و خانگی، ساخت لوازم برقی خانگی، ساخت شیرآلات صنعتی، صنایع الکترونیک،...، به شدت احساس می‌شود.

در عرصهٔ پژوهش نیز به جز چند رسالهٔ کارشناسی ارشد و دکترای دانشگاهی حول " تأثیر استفاده از فن‌آوری گروهی و استقرار سیستمهای تولید سلولی بر کارآیی سیستم تولید " که در اغلب موارد نیز از روش شبیه‌سازی رایانه‌ای به‌منظور

1 -Word Station

آزمودن فرضیه‌هایشان استفاده شده است، متأسفانه فعالیتهای دیگری مشاهده نمی‌شود[۱]. اما فضا برای پژوهش در کشور بسیار باز و آماده است. جا دارد که سازمانهای بزرگ صنعتی کشورمان مانند سازمان گسترش و نوسازی صنایع، سازمان صنایع کوچک و شهرکهای صنعتی... و همچنین بنیادهائی نظیر بنیاد مستضعفان و جانبازان، بنیاد شهید، بنیاد ۱۵ خرداد،... که واحدهای متعدد صنعتی اعم از کوچک و بزرگ را تحت پوشش دارند در ارتباط با پژوهش، طراحی و استقرار این نوع سیستمها کمکهای مشاوره‌ای، مالی، لژیستیکی،... را به واحدهای تحت پوشش خود ارائه نمایند. وزارت صنایع نیز به‌عنوان اصلی‌ترین متولی صنعت کشور می‌تواند کمکهای بسزائی را علی‌الخصوص به آن دسته از واحدهای صنعتی که در بازارهای بین‌المللی فعال هستند یا با ورود ایران به سازمان تجارت جهانی چاره‌ای به جز رقابت در عرصه‌ی بین‌المللی را ندارند، ارائه کند.

۱- مراجعه شود به رساله‌های کارشناسی ارشد و دکترای دفاع شده در دانشکده حسابداری و مدیریت دانشگاه علامه طباطبائی و دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

منابع و مآخذ

منابع لاتین

1- Jay Heizer , Barry Render .(1999). **Principles of operations Management Prentice** – Hall International,3ed ed. London.1999

2- Roberta S.Russell , Bernad W.TaylorIII .(2000). **Operations Management** , Prentice – Hall inc. 3cd ed. Newjersey.

3- William J.Stevenson.(1990).**Produclion /operations Management**, Richard D.Iranin. inc. 3ed ed. Toppan Company.LTD ,Tokyo Japan.

4- Alain Courtois.(1995). **Chantal Martin – Bonnefous** , Les editions d' organization , Paris.

5- J.T.Black .(1983).**Cellular Manufacturing Systems Reduce Set.up Time**,Make Small Lot production Economical. Industrial Engincening (Institute of Industrial Engineering) , Nov.

6- K.S: Shanker ,A.Srinivasulu .(1989). Some Solution Melhodology for Loading problems in a Flexible Manufaeturing System". **International Journal of Production Research** , vol 27 ,

7-H.M.Selim, R.G.Askin, A.J.Vakharia .(1998). "cell formation in Group Technology: Review, Evaluation and.Direction for future Researches ". **Industrial Engineering**. , vol 34 , no 1.

8-Choobineh, F.A.(1988). "Framework for the Design of cellular Manufacturing Systems" **International journal of Production Research**, vol 26, no 7

9- Andrew Kuziak .(1995). **Intelligent Manufacturing Systems** , Prentice ltall internationl ed. / Newjersey.

10- Roger G.Schroeder,Barbara B .(2001).Flynn ,"**High Performance Manufacturing ,Global Perspectives**",John Wiley and Sons inc.

11-J.C.Wortmann , D.R.Muntslay P.J.M. Timmermans.(1997). **"Costomer – Driven Manufactnring"**, Chapman Hall

12- David WOODRUFF .(1996). " **VW'S factory of the future** ". Business Week , octt.