بسم الله الرحمن الرحيم

١٤٦٥٨

دانشکده فنی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

گرایش ساخت و تولید

حل مساله‌ی بارگذاری ماشین‌آلات در سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی

دانشجو:

امیرموسی اباذری

استاد راهنما:

دکتر مقصود سلیمانپور

۱۳۸۹/۹/ ۸

شهریور، ۱۳۸۹

۱۴۶۳۵۸

پایان نامه خانم/ آقای امیرموسی ابادی به تاریخ ۸۹/۶/۱۵ به شماره ۳۵۶-۲ مورد پذیرش هیئت محترم داوران با رتبه عالی و نمره نوزده قرار گرفت.

۱۹/—

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : دکتر مقصود [illegible]

۲ - داور خارجي : دکتر شهرام خلیل آری

۳ - داور داخلي : دکتر قادر رضازاده

٤ - نماینده تحصیلات تکمیلي : دکتر جواد نوری نیا

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیم به

پدر عزیز

و

مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

این رساله آغازی بر پایان دوره‌ی کارشناسی ارشد من می‌باشد که در دانشگاه ارومیه سپری شد. ابتدا بایستی خداوند متعال را که انجام همه چیز را امکان‌پذیر می‌سازد، سپاس گویم که زمینه‌ی این دوره و اتمام آن را برایم هموار ساخت.

سپاس مخصوص نسبت به کسانی دارم که در این مسیر همواره مشوق من بودند، چه از لحاظ الهام بخشیدن برای پا نهادن در این راه و چه از لحاظ حمایت‌های روحی و روانی‌شان در طی این مسیر بی‌نهایت سپاس‌گذارم. اعضای خانواده‌ام، پدر عزیزم و مادر مهربانم که اساسی‌ترین رکن این حمایت‌ها بودند. برادران عزیزم و خواهر دلسوز و مهربانم همواره مشوق من در این مسیر بودند. دوست بسیار عزیزم مهندس حسین ستاری که همواره در نوشتن این رساله در کنار من بودند.

تشکر و سپاس صادقانه و صمیمی‌ام را تقدیم استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر سیلمان‌پور می‌نمایم که علاوه بر راهنمایی‌های گره‌گشا و کامل و بی‌نقص شان در انجام این تحقیق، با شخصیت علمی و اجتماعی بی‌نظیر و کامل‌شان نگرش اینجانب را به مسایل زندگی تحت تاثیر زاید الوصفی قرار دادند. بی‌شک، بدون کمک‌ها و راهنمایی‌های استاد عزیزم به انجام رساندن این رساله غیر ممکن بود.

چکیده

مدیریت فرایند تولید در سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر یکی از موضوعات مهم در بهره‌وری این نوع سیستم‌ها می‌باشد. در این سیستم‌ها می‌توان انواع قطعات را به طور همزمان بارگذاری کرد. سیر تحولی سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر استعداد بالقوه‌ای برای افزایش انعطاف‌پذیری با اطمینان بخشی در هر دو حیطه‌ی تولید به صرفه (ثمر بخش بودن از لحاظ هزینه‌ها) و کنترل سفارشات (رضایت مشتری) را ارایه می‌دهد.

مساله‌ی بارگذاری ماشین آلات یکی از پیچیده‌ترین مسایلی است که در سیستم‌های انعطاف‌پذیر با آن برخورد می‌کنیم. این مساله شامل انواع مختلف از جنبه‌های انعطاف که مربوط به انتخاب قطعه و تخصیص عملیات به همراه محدودیت‌ها که دربرگیرنده‌ی محدودیت‌های جبری ساده و محدودیت‌های شرطی بسیار پیچیده است، می‌شود. عملکرد مطلوب و بهینه‌ی سیستم‌های انعطاف‌پذیر تا حد زیادی به حل صحیح مساله‌ی بارگذاری ماشین‌آلات بستگی دارد. به علت اینکه این مساله تاثیر حیاتی در اجرای سیستم‌های تولیدی دارد مطالعات زیادی توسط محققان در سال‌های اخیر برای حل آن صورت گرفته است. از مقالات موجود می‌توان مشاهده کرد که انواع مدل‌سازی‌های ریاضی برای بیان مساله‌ی بارگذاری ماشین‌آلات در محیط‌های انعطاف‌پذیر پیشنهاد شده است و انواع روش‌ها همچون روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای یافتن جواب بهینه‌ی موضعی برای آن پیشنهاد شده است. در این پایان‌نامه دو مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مساله‌ی بارگذاری ماشین‌آلات پیشنهاد شده است. تابع هدف مدل اول عبارت از ماکزیمم کردن سودآوری سیستم می‌باشد، در عین اینکه میزان عدم تعادل سیستم را نیز مینیمم می‌کند که در مقالات گذشته این موضوع بدون در نظر گرفتن میزان سودآوری سیستم تولیدی، بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. این مدل پیشنهادی عملیات کارها را بر روی ماشین‌آلات مختلف با توجه به ظرفیت ماشین‌ها و اندازه‌ی کارها و ... تخصیص می‌دهد. تابع هدف مدل دوم ارایه شده، به منظور کاهش هزینه‌های سیستم تولیدی ارایه شده است. در مدل پیشنهادی مذکور این کاهش هزینه‌ها معطوف به کاهش هزینه‌های بیکاری و اضافه‌کاری ماشین‌آلات می‌باشد، که دیدگاهی جدید به مساله‌ی بارگذاری ماشین‌آلات دارد و در عین حال مساله‌ی مینیمم کردن میزان عدم تعادل سیستم را نیز در نظر می‌گیرد. هر دو مدل ارایه شده در محیط نرم‌افزار لینگو ۸ کدنویسی شده‌اند تا جواب بهینه‌ی سراسری آنها برای مقایسه در دسترس باشد. با مقایسه‌ی نتایج حاصل که بر روی اطلاعات استاندارد موجود در مقالات انجام شده است، توانایی قابل توجه مدل‌های پیشنهادی برای بیان مساله‌ی بارگذاری ماشین‌آلات نشان داده شده است. برای مدل دوم ارایه شده از الگوریتم ژنتیک برای حل انواع متغیرها و محدودیت‌های پیچیده در یک محیط انعطاف‌پذیر استفاده شده است و نشان داده می‌شود که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی قادر است که پروسه‌ی محاسباتی‌ای را طی کند تا به جواب بهینه‌ی سراسری برسد. کاربرد الگوریتم ارایه شده بر روی اطلاعات استاندارد موجود در مقالات انجام شده است و برتری آن از طریق مقایسه نتایج آن با نتایج سایر مقالات نشان داده شده است.

فهرست مطالب

فصل۱ مبانی نظری سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. ساخت ۲

۱-۳. اتوماسیون ۳

۱-۳-۱. سیر تکاملی اتوماسیون ٤

۱-۳-۲. اهداف اصلی اتوماسیون ٥

۱-۳-۳. کاربردهای اتوماسیون ٦

۱-٤. کنترلرهای برنامه‌پذیر ۸

۱-٤-۱. زمینه‌ی تاریخی کنترل عددی ۸

۱-٤-۲. کنترل عددی(NC) ۹

۱-٤-۳. کنترل عددی کامپیوتری (CNC) ۱۰

۱-٤-٤. اصول کار ماشین‌های NC ۱۱

۱-٤-٥. اندازه‌گیری موقعیت در ماشین‌های NC ۱۲

۱-٤-٦. برنامه‌نویسی کنترل عددی ۱۳

۱-٤-۷. مزیت‌ها و محدودیت‌های NC ۱٤

۱-٥. انواع ماشین‌های NC ۱٥

۱-٥-۱. انواع مراکز ماشینکاری و تراشکاری ۲۱

۱-٥-۲. ویژگی‌ها و قابلیت‌های مرکزهای ماشینکاری ۲۳

۱-٦. انتخاب ماشین‌ابزار ۲٤

۱-۷. نصب ابزار ۲٤

۱-۷-۱. مخزن ابزار ۲٥

۱-۸ سیستم‌های تولیدی ۲٦

۱-۹. دسته‌بندی سیستم‌های تولیدی ۲۷

۱-۹-۱. تولید گسسته‌ی قطعات ۲۸

۱-۱۰. سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر ۳۱

۱-۱۰-۱. تاریخچه ۳۱

۱-۱۰-۲. مفهوم انعطاف‌پذیری ۳۲

۱-۱۰-۳. مزیت رقابتی تولید انعطاف‌پذیر ۳۸

فصل۲ مبانی نظری الگوریتم‌های ژنتیک و انشعاب و تحدید ۴۱

۲-۱. مقدمه ۴۲
۲-۲. الگوریتم‌های بهینه‌سازی ۴۲
۲-۳. الگوریتم‌های ژنتیک ۴۴
۲-۳-۱. تاریخچه‌ی الگوریتم‌های ژنتیک ۴۵
۲-۳-۲. مفاهیم پایه‌ای الگوریتم ژنتیک ۴۵
۲-۳-۳. ژن‌ها و کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک ۴۶
۲-۳-۴. تولید سلول‌های جدید ۴۶
۲-۳-۵. فضای جستجو ۴۷
۲-۴. گام‌های الگوریتم ژنتیک ۴۷
۲-۵. همگرایی الگوریتم ژنتیک ۵۲
۲-۶. شرط توقف الگوریتم ژنتیک ۵۳
۲-۷. دلایل استفاده از الگوریتم ژنتیک در این رساله ۵۴
۲-۸. مقایسه‌ی الگوریتم ژنتیک و دیگر شیوه‌های مرسوم بهینه‌سازی ۵۴
۲-۹. لینگو ۸ ..... ۵۹

فصل۳ مروری بر تحقیقات قبلی ۶۰

۳-۱. مقدمه ۶۱
۳-۲. تحقیقات انجام یافته در زمینه‌ی بارگذاری ماشین‌آلات ۶۱
۳-۲-۱. تحقیق اول ۶۴
۳-۲-۲. تحقیق دوم ۷۵
۳-۲-۳. تحقیق سوم ۸۷
۳-۲-۴. سایر تحقیقات ۹۴

فصل۴ مدل‌سازی مساله و ارایه‌ی الگوریتم پیشنهادی ۹۸

۴-۱. مقدمه ۹۹
۴-۲. عدم تعادل سیستم (SU) ۱۰۴
۴-۳. پیچیدگی مساله ۱۰۶
۴-۴. مدل‌سازی ریاضی ۱۰۷

٤-٤-١. مدل اول ١٠٧
٤-٤-٢. کدنویسی لینگو برای مدل اول ١١٠
٤-٤-٣. مدل دوم ١١٢
٤-٤-٤. کدنویسی لینگو برای مدل دوم ١١٤
٤-٤-٥. حل مدل دوم با استفاده از الگوریتم ژنتیک ١١٧

فصل٥ نتایج محاسباتی **١٢٤**

٥-١. مقدمه ١٢٥
٥-٢. نتایج محاسباتی مدل اول ١٢٥
٥-٣. نتایج محاسباتی مدل دوم و الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ١٢٧

فصل٦ نتیجه گیری و پیشنهادات **١٣٩**

٦-١. مقدمه ١٤٠
٦-٢. دستاوردهای تحقیق ١٤١
٦-٢-١. مزایا و معایب تحقیق ١٤٢
٦-٣. پیشنهادات برای تحقیقات آتی ١٤٣

مراجع .....
پیوست (الف) .....
پیوست (ب) .....

فهرست اشکال

فصل۱ مبانی نظری سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر ۱

شکل۱-۱. دو نوع ساز و کار انتقال: (الف) طرح مستقیم و (ب) طرح دایره‌ای ۷

شکل۱-۲. تصویر کلی از یک ماشین ابزار کنترل عددی ۱۱

شکل۱-۳. تصویر کلی اجزای یک سیستم کنترل (الف) حلقه باز (ب) حلقه بسته ۱۲

شکل۱-٤. اندازه‌گیری موقعیت در ماشین‌های NC ۱۲

شکل۱-٥. مرکز ماشینکاری افقی ۱۸

شکل۱-٦. مرکز ماشینکاری پنج محوره ۱۹

شکل۱-۷. تعویض اتوماتیک پالت‌های مرکز ماشینکاری ۱۹

شکل۱-۸. چرخش ابزار تعویض کن در یک مرکز ماشین کاری ۲۰

شکل۱-۹. مخزن انبار مرکز ماشینکاری با ظرفیت ۲٤ اسلات ۲۱

شکل۱-۱۰. کاونده‌های تماسی مورد استفاده در مرکزهای ماشینکاری ۲۱

شکل۱-۱۱. مرکز ماشینکاری قائم ۲۲

شکل۱-۱۲. مرکز تراشکاری کنترل عددی ۲۳

شکل۱-۱۳. نیازمندی قطعات مختلف به ابزارآلات متفاوت ۲۵

شکل۱-۱٤. مخزن ابزار ۲٦

شکل۱-۱٥. مدل اساسی از سیستم تولیدی ۲٦

شکل۱-۱٦. ورودی و خروجی یک سیستم تولید ۲۷

شکل۱-۱۷. تنوع تولید در برابر کمیت برای تولید سنتی ۳۰

شکل۱-۱۸. یک سلول تولید انعطاف‌پذیر ۳۷

شکل۱-۱۹. یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر برای تولید اجزای کامیون ۳۸

فصل۲ مبانی نظری الگوریتم‌های ژنتیک و انشعاب و تحدید ٤۲

شکل۲-۱. طبقه‌بندی کلی روش‌های بهینه‌سازی ٤۳

شکل۲-۲. ژن‌های سازنده‌ی یک کروموزوم ٤٦

شکل۲-۳. نمایش ادغام دو نقطه‌ای ٥۰

شکل۲-٤. گام‌های الگوریتم ژنتیک ٥۲

شکل۲-٥. شماتیک چرخه‌ی الگوریتم ژنتیک ٥۳

فصل۳ مروری بر تحقیقات قبلی ٦۰

شکل۳-۱. فلوچارت روش ابتکاری به کار رفته در [۷۸] ۸۱

شکل۳-۲. پروسه‌ی انتخاب تولیدمثل در سیستم‌های ایمن ۹۲
شکل۳-۳. شبه کد ارایه شده در مقاله‌ی [۷۹] ۹٤

فصل٤ مدل‌سازی مساله و ارایه‌ی الگوریتم پیشنهادی **۹۸**

شکل٤-۱. مثال ارایه شده برای محاسبه‌ی عدم تعادل سیستم ۱۰٤
شکل٤-۲. مثال ارایه شده برای مقایسه‌ی محاسبات عدم تعادل سیستم ۱۰۵
شکل٤-۳. فلوچارت الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ۱۱۸
شکل٤-٤. کروموزوم‌های پیشنهادی الگوریتم ۱۱۹
شکل٤-۵. نمایش راه‌حل‌ها در الگوریتم پیشنهادی ۱۱۹
شکل٤-٦. نمایش یک کروموزوم نمونه ۱۱۹
شکل٤-۷. ادغام دو نقطه‌ای به کار رفته در الگوریتم پیشنهادی ۱۲۲

فصل۵ نتایج محاسباتی **۱۲٤**

شکل۵-۱. نمودار میله‌ای نتایج مقایسه‌ای ۱۲۷
شکل۵-۲. نمودار میله‌ای نتایج مقایسه‌ای عدم تعادل سیستم ۱۳۱
شکل۵-۳. نمودار میله‌ای نتایج مقایسه‌ای خروجی سیستم ۱۳۱
شکل۵-٤. روند همگرایی الگوریتم پیشنهادی برای مساله‌ی ۱ ..... ۱۳۲

فهرست جداول

فصل۱ مبانی نظری سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر ۱

جدول۱-۱. سیر تاریخی پیدایش اتوماسیون در فرایندهای تولیدی ٤

فصل۲ مبانی نظری الگوریتم‌های ژنتیک و انشعاب و تحدید ٤۲

جدول۲-۱. کروموزوم‌ها و میزان برازندگی آنها..... ٤۸

فصل۳ مروری بر تحقیقات قبلی ٦۰

جدول۳-۱. تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی بارگذاری ماشین‌آلات با اهداف مختلف ٦۱

جدول۳-۲. تابع هدف‌های ارایه شده در جدول ۳-۱ ..... ٦۳

جدول۳-۳. قوانین تخصیص برای عملیات اختیاری ٦۹

جدول۳-٤. مساله‌ی ارایه شده در مقاله‌ی [۵۰] ۷۰

جدول۳-۵. خلاصه‌ی نتایج گام‌های ٤ تا ۷ ..... ۷۳

جدول۳-٦. مساله‌ی ارایه شده در مقاله‌ی [۷۸] ۸۲

جدول۳-۷. مراحل حل مرحله به مرحله برای مساله‌ی نشان داده شده در جدول۳-٦ با روش به کار رفته در مقاله‌ی [۷۸] ۸٦

جدول۳-۸. نتایج حاصل برای مساله‌ی نشان داده شده در جدول۳-٦ ..... ۸۷

فصل٤ مدل‌سازی مساله و ارایه‌ی الگوریتم پیشنهادی ۹۸

جدول٤-۱. تعداد عملیات، ابزارها و زمان پروسه‌ی لازم برای ساخت قطعات مفروض..... ۱۰۱

جدول٤-۲. فرآیندهای تولید برای کار ۲ در مساله‌ی ارایه شده در جدول ٤-۱..... ۱۱۹

فصل۵ نتایج محاسباتی ۱۲٤

جدول۵-۱. نتایج حاصل از مدل پیشنهادی اول..... ۱۲۵

جدول۵-۲. نتایج مقایسه‌ای با روش الگوریتم ایمن اصلاح شده (MIA) ۱۲٦

جدول۵-۳. نتایج حاصل از مدل پیشنهادی دوم ۱۲۸

جدول۵-٤. نتایج مقایسه‌ای با روش الگوریتم ایمن اصلاح شده ۱۲۸

جدول۵-۵. نتایج حاصل برای مدل دوم با استفاده از الگوریتم ژنتیک..... ۱۲۹

جدول۵-٦. نتایج مقایسه‌ای با مقالات ۱۳۰

جدول۵-۷. روند همگرایی الگوریتم ژنتیک برای مساله‌ی ۱..... ۱۳۲

فصل اول

مبانی نظری سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر

۱-۱ مقدمه

تا اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰، بیشتر عملیات تولیدی روی ماشین‌آلات سنتی، نظیر ماشین‌های تراش، ماشین‌های فرز و پرس‌ها انجام می‌گرفت، که فاقد انعطاف‌پذیری و نیازمند مهارت قابل ملاحظه‌ی کارگر بودند. هر بار که محصولی جدید تولید می‌شد، ماشین‌آلات باید دوباره ابزاربندی می‌شدند و نقل و انتقال مواد باید ترتیبی دوباره می‌یافت. پیدایش محصولات جدید و قطعاتی با اشکال پیچیده، کار اصلاح و خطای اپراتورها به منظور تنظیم و استقرار شاخص‌های مناسب فراوری روی ماشین را می‌طلبید. بعلاوه، به سبب دخالت انسان، ساختن قطعاتی که کاملا شبیه هم و یکسان باشد، دشوار و زمان‌بر بود. چنین شرایطی گویای این حقیقت بود که روش‌های فراوری، اغلب ناکارآمد بوده و هزینه‌های کارگری بخش چشمگیری از هزینه‌های کلی تولید بودند. نیاز به کاستن از سهم کارگر در هزینه‌ی محصول بتدریج آشکار شد، همچنان که نیاز به اصلاح بازده و انعطاف‌پذیری عملیات تولیدی خصوصا بدلیل رقابت روزافزون داخلی و جهانی نیز چنین شد.

بهره‌وری نیز موضوعی عمده شد. بهره‌وری که استفاده‌ی بهینه از تمام منابع (مواد، انرژی، سرمایه، کارگر و فناوری) معنی می‌شود، در اصل معیاری برای سنجش بازده کاری است. با پیشرفت‌های سریع در علم و فناوری تولید، بازده عملیات تولیدی شروع به بهبود و درصد سهم هزینه‌های کارگری از هزینه‌ی کلی کاهش پیدا کرد.

چگونه بهره‌وری را می‌توان بهبود بخشید؟ مکانیزاسیون ماشین‌آلات و یا عملیات تا دهه‌ی ۱۹٤۰ به شدت گسترش یافت و به اوج خود رسید. مکانیزاسیون، فرآیند یا عملیات را با بکارگیری وسایل گوناگون مکانیکی، هیدرولیکی، بادی یا الکتریکی پیش می‌برد. در سیستم‌های مکانیزه، هنوز اپراتور است که مستقیم فرآیند معین را کنترل کرده و باید هر مرحله از عملکرد ماشین را بازسنجی کند.

گام بعدی در بهبود بازده عملیاتی اتوماسیون[1] بود. واژه‌ی اتوماسیون در اواسط دهه‌ی ۱۹٤۰ توسط صنعت خودروی آمریکا برای نشان دادن جابجایی و فراوری اتوماتیک در ماشین‌های تولیدی، وضع شد. در خلال چند دهه‌ی گذشته، پیشرفت‌های عمده و با عبور از موانع در انواع وسعت اتوماسیون، پدید آمده است، که پیشروی‌های سریع در ظرفیت و پیچیدگی کامپیوترها و سیستم‌های کنترل را ممکن ساخته است.

در این فصل سعی شده که اطلاعات جامع، مفید و مختصری در مورد ساختارهای سازمانی ساخت و اتوماسیون ساخت، انواع مختلف سیستم‌های تولید و دلیل نیاز به سیستم‌های منعطف تولیدی (اتوماسیون نرم) در اختیار خواننده قرار داده شود.سپس بحثی پیرامون سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر[2] و اجزای سازنده‌ی آن می‌شود.

۱-۲ ساخت[3]

موفقیت بشر در طول تاریخ به توانایی استفاده او از مواد خام و ابزارها مربوط می‌شود. شواهد باستان‌شناسی از توانایی ابزارسازی بشر از ۲ تا ۳ میلیون سال پیش، حکایت دارد. در حالی که اساس ساخت به چندین هزار سال

---

[1] از واژه‌ی یونانی اتوماتوس، به معنای خودکار است.

[2] Flexible Manufacturing Systems (FMSs)

[3] Manufacturing

قبل از میلاد، به ساخت محصولات مصرفی از چوب و سنگ و فلز و سرامیک برمی‌گردد [۱]. واژه‌ی ساخت بصورت مدرن، به تولید محصول از مواد خام با استفاده از فرآیندهای گوناگون، تجهیزات، عملیات و نیروی کار، طبق نقشه‌ی مراحل و جزییات کار، گفته می‌شود. ساخت همواره باید ارزش افزوده‌ای برای مواد به همراه داشته باشد [۲].

سازمان‌های تولیدی مدرن بر اساس سیستم کارخانه و تقسیم کار، زاده‌ی انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ میلادی هستند. اساس فرآیندهای تولیدی مدرن را می‌توان به اواخر قرن ۱۸، به اختراع ماشین‌های پنبه‌پاک‌کنی در آمریکا و اولین ماشین تراش در انگلستان، مربوط دانست. توسعه و پیشرفت فرآیندهای ساخت در سال‌های ابتدایی قرن ۱۹، با ایجاد کارگاه بافندگی با کنترل خودکار بوسیله‌ی کارت‌های پانچ شده در فرانسه، اختراع ماشین فرز و استفاده از تکنیک‌های تولید انبوه در انگلستان، ادامه یافت [۳].

توسعه‌ی صنایع ساخت بر تحقیقات گسترده روی فرآیندهای ساخت، مواد و توسعه محصولات جدید تکیه دارد. توانایی تولید محصول، اثر زیادی روی توانگری، موفقیت و پیشرفت یک کشور دارد و آنهایی که طلایه‌دار توسعه در تولید بوده‌اند، امروزه به کشورهای توسعه یافته معروف هستند. در بازار رقابتی، امکانات مورد استفاده باید به بهترین وجه برنامه‌ریزی شوند. این موضوع، اساس اهمیت و ضرورت طرح‌ریزی فرآیند[1] در صنایع تولیدی امروزی است. در این قسمت به بحث در مورد اتوماسیون سیستم‌های ساخت و تولیدی پرداخته می‌شود.

۱-۳ اتوماسیون

اتوماسیون، بطور کلی عبارت است از فرآیند بکارگیری ماشین‌هایی که یک سلسله عملیات از پیش تعیین شده با کارگر اندک یا بدون کارگر و با استفاده از تجهیزات تخصصی و وسایلی که فرآیندهای تولیدی را انجام داده و کنترل می‌نمایند. اتوماسیون با توان کامل بالقوه‌اش، از طریق بکارگیری انواعی از وسایل، سنسورها، عملگرها، فناوری‌ها و تجهیزاتی که قابلیت مشاهده و کنترل تمامی جنبه‌های فرآیند تولیدی، تصمیم‌سازی‌های مقتضی برای تغییراتی که باید در عملیات صورت گیرد و تمام جنبه‌های آن کنترل داشته باشند، حاصل می‌شود [٤].

اتوماسیون به جای اینکه مفهومی انقلابی باشد، مفهومی دارای تکامل تدریجی است. اتوماسیون کارگاه‌های تولیدی در فعالیت‌های زیر با موفقیت اجرا شده است.

- فرآیندهای تولیدی: عملیات ماشینکاری، فورجینگ، اکستروژن سرد، ریخته‌گری، مثال‌های نوعی از فرآیندهایی هستند که با دامنه‌ای وسیع خودکار شده‌اند.
- جابجایی مواد: مواد و قطعات در مراحل مختلف تکمیل و در داخل یک کارگاه با ماشین‌آلات کنترل کامپیوتری و بدون هدایت انسان جابجا می‌شوند.
- بازرسی: کیفیت، دقت ابعادی و صافی سطح قطعات، هنگام تولید و یا بعد از ساخت به شکل اتوماتیک بازرسی می‌شوند.

[1] Process planning

- مونتاژ: قطعاتی که تکی تولید شده‌اند، بطور اتوماتیک بصورت زیرمجموعه و در نهایت، بصورت محصول مونتاژ می‌شوند.
- بسته‌بندی: محصولات به روش اتوماتیک بسته‌بندی می‌شوند.

۱-۳-۱ سیر تکاملی اتوماسیون

برخی فرآیندهای فلزکاری، ٤۰۰۰ سال قبل از میلاد پدید آمدند، اما اتوماسیون تا آغاز انقلاب صنعتی در سال‌های ۱۷۵۰ وجود نداشت. ولی در آن زمان برای اولین بار وارد چرخه‌ی تولید کالاها شد. ماشین‌ابزارهایی نظیر ماشین‌های تراش، ماشین‌های پیچ‌زنی اتوماتیک و ماشین‌های بطری‌سازی اتوماتیک، در اواخر دهه‌ی ۱۸۹۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۰۰ گسترش یافتند. فنون تولید انبوه و ماشین‌های انتقالی در دهه‌ی ۱۹۲۰ بوجود آمدند. این ماشین ها ساز و کارهای اتوماتیک ثابت داشتند و برای تولید محصولاتی خاص، طراحی می‌شدند. این توسعه‌ها در صنعت خودرو که خودروهای سواری با آهنگ تولید بالا (تولید انبوه) و هزینه‌ی کم تولید می‌کرد، به بهترین وجه ارایه می‌شدند.

پیشرفت عمده‌ی اتوماسیون در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ با ماشین‌ابزارهای کنترل عددی[1] آغاز شد. از هنگام پیدایش این دستاورد، پیشرفتی سریع برای خودکار کردن بسیاری از جنبه‌های تولید حاصل شده است(جدول۱-۱). این جنبه ها شامل ورود کامپیوترها به اتوماسیون، کنترل عددی کامپیوتر[2] ، کنترل انطباق‌پذیر (AC)، روبات‌های صنعتی و سیستم‌های تولید یکپارچه کامپیوتری[3] ، اعم از طراحی[4]، مهندسی[5] و ساخت[6] به کمک کامپیوتر هستند.

جدول ۱-۱. سیر تاریخی پیدایش اتوماسیون در فرآیندهای تولیدی [٤]

تاریخ	پیدایش
۱۵۰۰-۱٦۰۰	نیروی آب برای فلزکاری، دستگاه‌های نورد تسمه‌های سکه‌زنی
۱٦۰۰-۱۷۷۰	خراطی چوب دستی چرتکه
۱۷۰۰-۱۸۰۰	داخل‌تراشی، گردتراشی، دستگاه پیچ‌تراشی، ماشین مته
۱۸۰۰-۱۹۰۰	ماشین کپی‌تراش، ماشین تراش برجک‌دار، ماشین فرز یونیورسال، ماشین حساب‌های پیشرفته‌ی مکانیکی
۱۸۰۸	کارت‌های فلز ورق با سوراخ‌های مربوطه برای کنترل اتوماتیک الگوهای نساجی در دستگاه‌های بافندگی
۱۸٦۳	پیانوی خودکار (پیانولا)
۱۹۰۰-۱۹۲۰	ماشین تراش دنده‌ای، ماشین پیچ‌زنی اتوماتیک، ماشین بطری‌سازی اتوماتیک

[1] Numerical Control (NC)
[2] Computer Numerical Control (CNC)
[3] Computer Integrated Manufacturing (CIM)
[4] Computer Aided Design (CAD)
[5] Computer Aided Engineering (CAE)
[6] Computer Aided Manufacturing (CAM)

۱۹۲۰	نخستین استفاده از واژه‌ی روبات
۱۹۲۰-۱۹٤۰	ماشین‌های انتقالی[1]، تولید انبوه
۱۹٤۰	نخستین ماشین حساب الکترونیکی
۱۹٤۳	نخستین کامپیوتر دیجیتالی
۱۹٤٥	نخستین استفاده از واژه‌ی اتوماسیون
۱۹٤۸	اختراع ترانزیستور
۱۹٥۲	نخستین نمونه‌ی ماشین‌ابزار کنترل عددی
۱۹٥٤	اختراع زبان سمبلیک APT[2]، کنترل تطبیقی
۱۹٥۷	ماشین‌ابزارهای NC[3] با تولید تجاری انبوه
۱۹٥۹	مدارات مجتمع، نخستین استفاده از اصطلاح فناوری گروهی
۱۹٦۰	روبات‌های صنعتی
۱۹٦٥	مدارهای مجتمع در مقیاس بزرگ
۱۹٦۸	کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه‌پذیر
۱۹۷۰	نخستین سیستم تولید یکپارچه، جوشکاری نقطه‌ای بدنه‌های خودرو با روبات
۱۹۷۰	میکروپرسسورها، روبات‌های کنترل میکروکامپیوتری، سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر، فناوری گروهی
۱۹۸۰	هوش مصنوعی، روبات‌های هوشمند، سنسورهای هوشمند، سلول‌های تولیدی بدون نظارت
۱۹۹۰	سیستم‌های تولیدی یکپارچه، ماشین‌های هوشمند و پایه سنسوری، ارتباطات راه دور و شبکه‌های تولید جهانی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابزارهای اینترنتی

۱-۳-۲ اهداف اصلی اتوماسیون

اتوماسیون اهداف اولیه‌ای به این شرح دارد:

الف. یکپارچه‌سازی جنبه‌های مختلف عملیات تولیدی به گونه‌ای که موجب بهبود کیفیت و یکنواختی محصول شده، زمان‌های چرخه و کار را کمتر کرده و به این طریق، هزینه‌های کارگری را کاهش دهد؛

ب. اصلاح بهره‌وری: با کاهش هزینه‌های تولید از طریق کنترل بهتر، قطعات با بازده زیاد بارگذاری، تغذیه و از ماشین بارگیری می‌شوند، ماشین‌ها با کارایی بیشتر استفاده می‌شوند و تولید با کارایی بیشتر سازماندهی می‌شود؛

ج. اصلاح کیفیت: با بکار گرفتن فرآیندهای تکرارپذیر؛

د. کاستن از دخالت انسان، خستگی و امکان خطای آدمی؛

ه. کاستن از آسیب‌دیدگی قطعه‌کار، که از جابجایی دستی قطعات ناشی می‌شود؛

و. بالا بودن سطح ایمنی برای افراد، بخصوص تحت شرایط کاری خطرناک و

---

[1] Transfer Machines

[2] ابزار برنامه‌نویسی‌شده‌ی اتوماتیک

[3] Numerical Control (NC)

ز. صرفه‌جویی در فضای کارگاه و در کارخانه‌ی تولیدی با آرایش ماشین‌ها، نقل و انتقال مواد و تجهیزات کمکی با کارایی بیشتر.

۱-۳-۳ کاربردهای اتوماسیون

اتوماسیون را می‌توان در تولید همه نوع کالا، از مواد اولیه تا محصولات تمام شده و در همه نوع تولید، از کارگاه‌های حرفه‌ای تا کارخانه‌های بزرگ تولیدی بکار برد. تصمیم برای خودکار کردن یک کارخانه‌ی تولیدی موجود و یا جدید، نیاز به بررسی ملاحظات دیگری به شرح زیر دارد:

۱. نوع محصول تولیدی؛
۲. کمیت و آهنگ تولید مورد نیاز؛
۳. مرحله‌ی خاص عملیات تولیدی که باید خودکار شود؛
٤. سطح مهارت نیروی کار موجود؛
٥. هرگونه مسایل قابل اطمینان و تعمیر و نگهداری که ممکن است همراه سیستم‌های خودکار باشد و
٦. ملاحظات اقتصادی تولید.

از آنجا که اتوماسیون، اغلب هزینه‌ی اولیه‌ی بالای تجهیزات را در بردارد و نیازمند آگاهی بر اصول عملیات و تعمیر و نگهداری است، بنابراین تصمیم‌گیری حتی درباره‌ی اجرای سطوح پایین اتوماسیون، باید با بررسی دقیق نیازهای واقعی یک سازمان صورت گیرد.

بطور کلی هرچه سطح مهارت موجود نیروی کار بیشتر باشد، نیاز به اتوماسیون کمتر است، مشروط بر اینکه هزینه‌های کارگری توجیه اقتصادی داشته باشد و کارگر کافی نیز در دسترس باشد. برعکس، چنانچه یک کارخانه تولیدی از قبل خودکار باشد، سطح مهارت لازم در آن کمتر است. موضوعات مهم و پیچیده‌ی متعددی در تصمیم‌گیری برای سطح مناسب اتوماسیون وجود دارد. اتوماسیون به طور کلی به دو دسته طبقه‌بندی می‌شود، اتوماسیون سخت و اتوماسیون نرم، که در ادامه‌ی مطلب به توضیح کلی این دو نوع اتوماسیون می‌پردازیم.

الف) اتوماسیون سخت

در اتوماسیون سخت یا اتوماسیون با وضعیت ثابت، ماشین‌های تولیدی برای محصولی استاندارد، مانند یک بدنه‌ی موتور، سوپاپ، چرخدنده یا محور دوران طراحی می‌شوند. اگر چه می‌توان اندازه‌ی محصول و شاخص‌های فرآیندی (نظیر سرعت پیشروی و عمق برش) را تغییر داد، ولی این ماشین‌ها، تخصصی و فاقد انعطاف‌پذیری‌اند. این ماشین‌ها را نمی‌توان به اندازه‌ی دلخواه اصلاح کرد تا محصولاتی را که اشکال و ابعاد متفاوت دارند، بپذیرند. از آنجا که طراحی و ساخت این ماشین‌ها گران تمام می‌شود، در نتیجه، استفاده‌ی اقتصادی از آنها مستلزم تولید قطعاتی با کمیت‌های بسیار بالاست. ماشین‌هایی که در کاربردهای اتوماسیون سخت استفاده می‌شوند، بطور معمول براساس اصل عنصر سازنده (چند تکه یا مدولی) ساخته می‌شوند. این ماشین‌ها اغلب به ماشین‌های انتقالی موسوم‌اند و از دو قسمت عمده تشکیل می‌شوند: واحدهای نیرو دهنده‌ی تولید و ساز و کارهای انتقال.

واحدهای نیرو دهنده‌ی تولید: که از یک شاسی یا بستر، موتورهای محرک الکتریکی، گیربوکس‌ها و محورهای دوران ابزار تشکیل شده‌اند، واحدهای کامل و بی‌نیاز به دستگاه‌های کمکی‌اند. اجزای آنها در اندازه‌ها و ظرفیت‌های مختلف استاندارد در بازار موجودند. این اجزا را می‌توان به سبب چند تکه (مدولار[1]) بودن ذاتی‌شان، به آسانی برای تولید قطعات مختلف و متناسب با نیاز آنها سازماندهی کرد و بنابراین تا اندازه‌ای انطباق‌پذیری و انعطاف‌پذیری دارند.

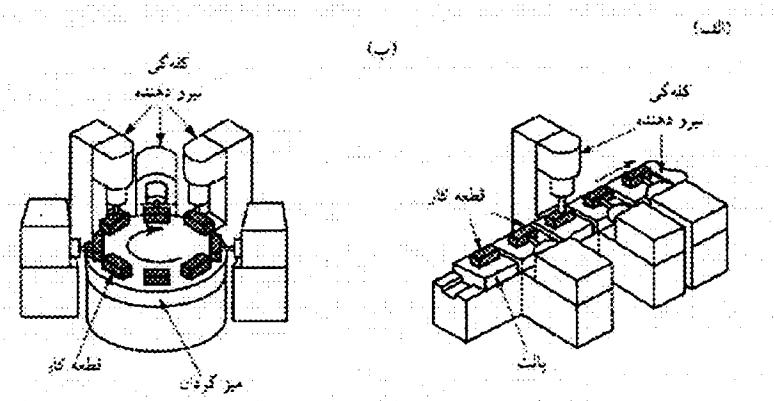
ماشین‌های انتقالی را که دارای دو یا چند واحد نیرو دهنده‌ی تولیدند، می‌توان روی زمین کارگاه بصورت خطی، دایره‌ای یا طرح‌های U شکل چید. وزن و شکل قطعه‌کار، بر انتخاب نوع آرایش این دستگاه‌ها اثر می‌گذارد. نوع این آرایش بدلیل پیوستگی عملیات در صورت خرابی ابزار یا از کار افتادن ماشین در یک یا چند واحد، نیز حایز اهمیت است. برای اینکه در چنین مواردی عملیات ادامه پیدا کند، سیستم‌های انبار ذخیره به این ماشین‌ها ضمیمه می‌شوند.

ساز و کارهای انتقال و خطوط انتقال: ساز و کارهای انتقال برای انتقال قطعه‌کار از یک ترمینال به ترمینال بعدی در ماشین (یا از یک ماشین به ماشین دیگر) برای انجام عملیات مختلف روی قطعه استفاده می‌شوند. انتقال قطعه‌کارها به چندین روش صورت می گیرد:

۱) ریل‌هایی که قطعات معمولا در پالت‌هایی روی آنها قرار گرفته و با ساز و کارهای مختلف، جلو و عقب می‌روند (شکل ۱-۱ الف)؛

۲) میزهای تقسیم گردان (شکل ۱-۱ ب) و

۳) نقاله (کانوایر) های هوایی.



شکل ۱-۱. دو نوع ساز و کار انتقال: (الف) طرح مستقیم و (ب) طرح دایره‌ای [٤]

انتقال قطعات از یک ترمینال به ترمینال دیگر معمولا با سنسورها و سایر وسایل کنترل می‌شود. در ماشین‌های انتقالی ابزارها را می‌توان در ابزارگیرهایی که مجهز به سیستم‌های تعویض سریع‌اند، به آسانی تعویض کرد و می‌توان این ماشین‌ها را به انواع گوناگون سیستم‌های اندازه‌گیری و بازرسی اتوماتیک، مجهز کرد. این سیستم‌ها بین عملیات استفاده می‌شوند، تا از حدود تلرانس‌های قابل قبول ابعاد یک قطعه ساخته شده در یک ترمینال، پیش از انتقال آن به ترمینال بعدی اطمینان حاصل شود.

[1] Madular