بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها

هموارسازی تولید در تعیین همزمان اندازه دسته و زمان‌بندی تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

نسیبه سالاری

استاد راهنما

دکتر مهدی بیجاری

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع خانم نسیبه سالاری

تحت عنوان

هموارسازی تولید در تعیین همزمان اندازه دسته و زمان‌بندی تولید

در تاریخ ۲/٦/ ۱۳۹۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مهدی بیجاری
۲-استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سید رضا حجازی
۳-استاد داور	دکتر قاسم مصلحی
٤-استاد داور	دکتر سید حمید میرمحمدی
٥- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر بهروز ارباب شیرانی

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی دریغ خانواده عزیزم کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر بیجاری به سبب راهنمائی ایشان در جهت پیشبرد شایسته این تحقیق بسیار سپاسگزارم. مراتب سپاس خود را از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر حجازی که در موارد لازم از راهنمائی‌های ارزنده ایشان بهره برده‌ام ابراز می‌دارم. از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر مصلحی و جناب آقای دکتر میرمحمدی که با پیشنهادات اصلاحی و سازنده خود کمک شایانی به بهتر شدن تحقیق حاض نموده‌اند بسیار سپاسگزارم.

در نهایت از تمام دوستان بسیار خوبم به خاطر لحظات شیرین با هم بودن صمیمانه سپاسگزارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

و

همسر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت

چکیده ۱۳

فصل اول..... ۲

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ ضرورت بحث. ۳

۱-۳ تعریف مسئله.... ..... ٤

۱-٤ هدف تحقیق..... ..... ٤

۱-۵ مروری بر فصول رساله..... ۵

فصل دوم ٦

۲-۱ مقدمه..... ٦

۲-۲ مفاهیم اندازه دسته و زمان‌بندی تولید ٦

۲-۳ مدلGLSP ۸

۲-۳-۱ فرض آماده‌سازی در مدل GLSP..... ۱۰

۲-۳-۲ حالت چند ماشینی در مدل GLSP..... ۱۲

۲-٤- مدل CLSP با زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی ۱۹

۲-۵- هموارسازی تولید ۲٤

۲-۵-۱ مدل‌سازی مسئله هموار سازی تولید..... ۲٦

۲-۵-۲ معیارهای مختلف در نظر گرفته شده در ادبیات موضوع جهت ارزیابی هموارسازی تولید ۲۹

۲-۵-۳ در نظر گرفتن هموارسازی تولید در محدودیت‌ها..... ۳۰

۲-٦- مروری بر روش‌های حل مدل‌های GLSP و هموارسازی تولید ۳۱

فصل سوم ۳۳

۳-۱ مقدمه..... ۳۳

۳-۲ مدل‌سازی مسئله ۳۳
۳-۲-۱ نحوه تعیین نرخ تولید ایده‌ال ۳۵
۳-۲-۲ مدل ریاضی اول ۳۵
۳-۲-۳ مدل ریاضی دوم ۳۷
۳-۳ مقایسه مدل‌های ریاضی ۳۹
۳-۳-۱ بررسی متغیرهای مدل ریاضی اول ۳۹
۳-۳-۲ بررسی متغیرهای مدل ریاضی دوم ۳۹
۳-۳-۳ بررسی محدودیت‌های مدل‌های اول و دوم ۴۰
۳-٤ مسئله بهینه‌سازی چند هدفی ٤۲
۳-٥ روش حل مسئله دو هدفی هموارسازی تولید در مدل GLSP ٤۲
۳-٥-۱ استراتژی‌های الگوریتم ژنتیک چند معیاره ٤۳
۳-٥-۲ نحوه تعیین تابع تناسب ٤٤
۳-٥-۳ نحوه بازخوانی ژن ها در الگوریتم ژنتیک ٤٦
۳-٥-٤ مراحل الگوریتم ژنتیک چند معیاره با جستجوی محلی ٤٦
۳-٥-٥ مراحل الگوریتم جستجوی محلی چند هدفی ٤۹
۳-٥-٦ نحوه تولید پاسخ‌های اولیه ٤۹
۳-٥-۷ استراتژی جهش و ترکیب در الگوریتم ژنتیک ٥۱
۳-٥-۸ استراتژی تولید همسایگی در الگوریتم ژنتیک ٥۲
۳-٦ روش محدودیت ε در حل مسائل چند هدفی ٥۳
۳-۷ روش مجموع وزین توابع هدف در حل مسائل چند هدفی ٥٤
فصل چهارم ٥٦
٤-۱ مقدمه ٥٦
٤-۲- مقایسه عددی نتایج مدل GLSP با دو تابع هدف مختلف ٥٦
٤-۳ تولید مسائل تست ٥۸
٤-٤ مقایسه عددی مدل اول و دوم ٥۹
٤-٥ برنامه نویسی ٦۰

٤-٦ تنظیم پارامترها ٦٠
٤-٧ نحوه ارزیابی نتایج عددی ٦٣
٤-٨ نتایج عددی ٦٤
فصل پنجم ٧٣
٦-١ جمع بندی ٧٣
٥-٢ پیشنهادات ٧٥
پیوست ١ ..... ٧٦
پیوست٢ ..... ٧٨
پیوست ٣ ..... ٨٣
مراجع ٩٠

چکیده

با توجه به نقش هموارسازی تولید در کاهش هزینه‌ها و افزایش سطح خدمت به مشتری، تاکنون پژوهش‌های وسیعی بر روی مسائل هموارسازی تولید انجام گرفته است. در این پژوهش هموارسازی تولید در مسئله تعیین همزمان اندازه دسته و زمان‌بندی تولید (GLSP) در سیستم تولیدی تک ماشین، با در نظر گرفتن دو تابع هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های تولید شامل آماده‌سازی وابسته به توالی و نگهداری موجودی و نیز تابع هدف کمینه‌سازی میزان انحراف از نرخ تولید ایده‌ال، مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادبیات موضوع تاکنون مسئله هموارسازی تولید در GLSP بررسی نشده است. دو مدل ریاضی بر اساس نحوه مدل‌سازی کلرک و مدل‌سازی فلشمن و میر برای این مسئله ارائه شده است. مقایسه دو مدل مذکور نشان داده است که مدل کلرک نسبت به مدل فلمشن و میر کاراتر بوده و در مدت زمان کوتاه‌تر توانسته است فضای حل بیشتری را جستجو کند و به پاسخ بهتری دست یابد. برای حل مدل ریاضی مسئله در ابعاد کوچک، از دو روش مجموع وزنی توابع هدف و روش محدودیت ε استفاده شده است. هم چنین یک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با جستجوی محلی پیشنهاد شده است. در مسائل با ابعاد کوچک، مرز کارای تشکیل شده از اجرای الگوریتم ژنتیک با مرز کارای تشکیل شده از ترکیب بهترین نتایج بدست آمده از روش‌های محدودیت ε و مجموع وزنی توابع هدف مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که پاسخ‌های تولید شده توسط الگوریتم ژنتیک در بسیاری از موارد نسبت به پاسخ‌های تولید شده از حل مدل ریاضی چیره شده است. در مسائل با ابعاد بزرگ بدلیل زمان‌بر بودن حل مدل ریاضی، مرز کارا از اجرای الگوریتم ژنتیک با جستجوی محلی بدست آمده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در تکرارهای اولیه از الگوریتم ژنتیک، کیفیت پاسخ‌ها بهبود مناسبی داشته است و در تکرارهای نهایی غالبا بر تنوع پاسخ‌ها افزوده شده است.

کلمات کلیدی: زمان‌بندی،تعیین اندازه دسته، هموارسازی تولید، مدل GLSP، الگوریتم ژنتیک همراه با جستجوی محلی

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

با توجه به تمایلات فراوان برای جهانی شدن اقتصاد، فشار رقابت در بازار جهانی افزایش یافته است. تعداد بی‌شماری از شرکت‌ها، با تلاش در جهت هر چه بهتر برآورده ساختن نیازهای مشتریان خود، در این صحنه به رقابت می‌پردازند. به منظور رسیدن به این هدف باید به سمت افزایش تنوع محصولات و کوتاه کردن زمان تحویل حرکت کرد. به خصوص با توجه به انتظار مشتری برای افزایش تنوع محصولات، شرکت‌های تولیدی، ترکیب محصولات خود را برای تولید تعداد بیشتری از محصولات نهایی افزایش داده‌اند. بنابراین، سیستم‌های تولید مختلط، در صنعت رواج بیشتری دارند. در این گونه سیستم‌ها منابع تولیدی بین خانواده‌ای از محصولات چندگانه تقسیم می‌شود. یکی از دیدگاه‌های مورد توجه در دهه‌ی اخیر در افزایش سطح خدمت به مشتری، تولید به موقع در سیستم‌های تولیدی و خدماتی است. در این‌گونه سیستم‌ها سعی می‌شود که تولید محصولات مختلف در دسته‌های تولیدی کوچک انجام شود و سعی می‌شود که هزینه‌های تولید در سطح حداقل باقی بماند. موجودی صفر، یک ایده‌ال نهایی در تولید به موقع است. در شرایط ایده‌ال تولید به نحوی هماهنگ می‌شود که هیچ نیازی به نگهداری موجودی نمی‌باشد. ایده‌ال موجودی صفر قابل دستیابی نیست مگر این‌که بتوان تولید آنی را برقرار ساخت. اما با توجه به محدودیت‌های هر سیستم تولیدی نمی‌توان شرایط تولید آنی را برقرار ساخت. بنابراین لازم است محصولات در دسته‌های تولیدی ساخته شوند. از طرفی تعیین اندازه این دسته‌ها و توالی اقلام مختلف تولیدی مسئله مهم دیگری است که در برنامه‌ریزی کوتاه مدت هر سیستم تولیدی مد نظر می‌باشد.

۱-۲ ضرورت بحث

زمان‌بندی و برنامه‌ریزی تولید یکی از چالش برانگیزترین مواردی است که امروزه توجه مدیران را به خود جلب کرده است. در شرکت‌هایی که تولید آن‌ها به صورت دسته‌ای یا بچ می‌باشد، تعیین اندازه دسته‌های تولید محصول نهایی و تعیین زمان پردازش آن‌ها، دو مسئله مهمی است که نیاز به تجزیه و تحلیل دقیق در زمینه مسائل تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید، به جهت کاهش هزینه‌های تولیدی و هزینه‌های مربوط به انجام آماده‌سازی دارد. کاربرد این مسئله در کارخانه‌های مختلف تولیدی مانند کارخانه‌های تولید ساینده‌ها، نگاتیو فیلم و بسیاری از تولید کنندگان محصولات شیمیایی می‌باشد. توسو و همکاران [۱] این مسئله را در کارخانه تولید غذای حیوانات و فریرا و همکاران [۲] و [۳] این مسئله را در کارخانه تولید نوشیدنی به کار برده‌اند. هم چنین سیلوا و همکاران [٤] مسئله تعیین اندازه تولید و زمان‌بندی تولید را در کارخانه نساجی پیاده‌سازی کرده‌اند.

از طرفی با گسترش روز افزون رقابت در میان شرکت‌ها، و جهانی شدن بازارها، توجه به سیستم‌های تولیدی مشتری محور و یکپارچه در کنار کاهش هزینه‌های تولیدی بیشتر می‌شود. یکی از دیدگاه‌های مورد توجه در دهه‌ی اخیر در افزایش سطح خدمت به مشتری، تولید به موقع در سیستم‌های تولیدی و خدماتی است. ایده اصلی تولید به موقع، تولید محصولات در زمان نیاز آن‌ها و به مقدار مورد نیاز است. سیستم‌های تولید به موقع برای تولید محصولات متنوع در دسته‌های کوچک و با کمترین هزینه توسعه داده شده‌اند. در این گونه سیستم‌ها هدف حفظ هزینه‌های نگهداری و کمبود کالا در کمترین میزان آن می باشد[۵]. موجودی صفر یک ایده‌ال نهایی در تولید به موقع است. در شرایط ایده‌ال، تولید به نحوی هماهنگ می‌شود که هیچ نیازی به نگهداری موجودی نمی‌باشد. ایده‌ال موجودی صفر قابل دستیابی نیست مگر اینکه بتوان تولید آنی را برقرار ساخت. بدین منظور لازم است که تولید به صورت هموار و قابل تطبیق با تقاضا صورت گیرد. ماندن[٦] بیان می‌کند که مهم‌ترین هدف در یک سیستم به موقع حفظ زمان‌بندی تولید در حالت تعادل می‌باشد. یعنی نرخ تولید هر محصول در هر واحد زمان در هموارترین حالت آن باشد.

تصمیمات مربوط به تعیین اندازه دسته تولیدی و زمان‌بندی تولید کاملا به همدیگر وابسته هستند. بدین معنی که تعیین برنامه زمان‌بندی بدون دانستن اندازه دسته‌های تولیدی غیر ممکن می‌باشد و از طرف دیگر تعیین اندازه دسته بهینه بدون دانستن ماشین مربوطه و توالی تولید امکان پذیر نمی‌باشد.

مدل‌های متنوعی جهت تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید وجود دارد که در شرایط مختلف تولیدی مورد استفاده می‌باشد. در مدل‌های اولیه، اندازه دسته‌های تولیدی و برنامه زمان‌بندی آنها به گونه‌ای تعیین می‌شود که تقاضا بدون پس‌افت برآورده شود و مجموع هزینه‌های آماده‌سازی و نگهداری می‌نیمم شود. اما بعدها فرضیات گوناگونی به مدل‌های پایه اضافه شده است.

اگر اطلاعات کارها به صورت قطعی مشخص باشد آن مسئله قطعی نامیده می‌شود و در صورتی که حتی یکی از پارامترها قطعی نباشد، مسئله به صورت فازی یا احتمالی در نظر گرفته می‌شود. روش‌های حل مسائل به دو دسته رویه‌های بهینه و ابتکاری تقسیم‌بندی می‌شود. معمولا روش‌های حل دقیق از مدل‌سازی ریاضی، برنامه‌ریزی

پویا[1] و شاخه و کران[2] استفاده می‌کنند. در روش‌های ابتکاری نیز الگوریتم‌های تقریب[3]، روش‌های ابتکاری و یا رویه‌های فراابتکاری[4] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به مطالعات انجام شده تاکنون مدل ریاضی و راه‌حل جامعی برای مسئله هموارسازی تولید در تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی همزمان ارائه نشده است. بر همین اساس در این تحقیق مسئله هموارسازی تولید در تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی همزمان در یک سیستم تک ماشین مورد بررسی قرار گرفته است و برای آن دو مدل ریاضی و راه حل ارائه شده است.

۱-۳ تعریف مسئله

در این پژوهش افق زمانی چند دوره‌ای می‌باشد. هر دوره اصلی (ماکرو دوره) به تعدادی دوره کوچک (میکرو) با طول زمانی نامساوی تقسیم می‌شود. تعداد میکرو دوره‌ها که به عنوان جایگاه‌های تولید در نظر گرفته می‌شوند، از یک دوره ماکرو به دوره دیگر متفاوت می باشد. ساختار محصولات تک سطحی است به این معنا که محصول از مونتاژ قطعات دیگری تولید نمی‌گردد. ساختار تولید تک مرحله‌ای می‌باشد. مجموعه ای از n محصول باید در دوره‌های ماکرو پردازش شوند. فرض می‌شود محصولات مستقل از یکدیگر هستند و هیچ رابطه پیش نیازی جهت تولید آن‌ها وجود ندارد. تقاضای هر محصول به صورت پویا بوده و در انتهای ماکرو دوره‌ها برآورده می‌شود و کمبود مجاز نمی‌باشد. در ابتدای افق برنامه‌ریزی، بر روی ماشین برای یک محصول مشخص آماده‌سازی انجام شده است. قبل از پردازش هر کار لازم است ماشین برای آن کار آماده شود. ظرفیت در دسترس ماشین در هر دوره معین بوده و متفاوت از دوره قبل می‌باشد. نرخ تولید ماشین در طول زمان ثابت بوده و به زمان وابسته نیست. تعویض محصول بر روی ماشین مستلزم انجام آماده‌سازی می‌باشد و در این حالت ماشین قابلیت انجام هیچ پروسه تولیدی دیگری را ندارد. زمان‌ها و هزینه های آماده‌سازی وابسته به توالی تولید می‌باشند.

در سیستم مورد بررسی در این پژوهش، ماشین خاصیت حفظ حالت آماده سازی دارد. بدین صورت که حالت آماده سازی ماشین از انتهای دوره قبل به ابتدای دوره بعدی حفظ می‌شود و در صورت بیکاری ماشین در یک یا چند دوره نیز حالت آماده سازی ماشین حفظ می‌شود.

۱-٤ هدف تحقیق

تاکنون تحقیقات بسیار زیادی بر روی مسئله تعیین اندازه دسته با محدودیت ظرفیت و تقاضای پویا و قطعی صورت گرفته است. برخی از تحقیقات در این زمینه، مسئله تعیین توالی را مد نظر قرار نداده و آن را به صورت

---

[1] Dynamic programming
[2] Branch and bound
[3] Approximation algorithms
[4] Meta-heuristic

مرحله‌ای جداگانه پس از فرایند تعیین اندازه دسته قرار داده‌اند. آن‌چه در این مطالعه مد نظر است، تلفیق این دو مسئله با یکدیگر و با در نظر گرفتن هموار سازی تولید می‌باشد.

مدل تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید عمومی (GLSP[۵])، مدلی با ظرف زمانی بزرگ می‌باشد. این مدل به عنوان آخرین و پرکاربردترین مدل پایه مسئله تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید است که در آن توالی تولید نیز تعیین می‌شود.

ساختار این مدل دارای دو سطح زمانی بزرگ و کوچک است. دوره‌های زمانی کوچک در داخل دوره‌های زمانی بزرگ قرار دارند و حداکثر تعداد آن‌ها در هر یک از این دوره‌ها به عنوان پارامتر ورودی مدل می‌باشد. فرضیات این مدل در حالت پایه عبارتند از : محیط تک ماشین، چندمحصولی، تقاضا پویا و قطعی.

معیارهای عملکردی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند به صورت زیر تعریف شده است:

- مجموع هزینه‌های تولید شامل هزینه نگهداری و آماده سازی وابسته به توالی
- مجموع مربعات انحراف از نرخ تولید ایده‌ال

هدف اصلی کمینه کردن همزمان معیارهای تعریف شده می‌باشد و تعیین می‌شود که از چه محصولی به چه مقدار و چه ترتیبی باید تولید شود. در حقیقت اندازه دسته و توالی تولید هر محصول بر روی ماشین تعیین می‌شود. در این رساله برای مسئله مطرح شده دو مدل ریاضی طراحی شده و کارائی هر دو مدل مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت یک مدل به عنوان مدل نهایی انتخاب شده است. سپس برای حل آن یک الگوریتم ژنتیک با جستجوی محلی و دو روش ابتکاری ارائه شده است.

۱-۵ مروری بر فصول رساله

در فصل دوم ابتدا به مدل پایه تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید به صورت همزمان و پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با این موضوع و توسعه مدل‌های پایه پرداخته شده است. پس از آن، هموارسازی تولید و مطالعات انجام گرفته در رابطه با این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین روش‌های حل مسائل دو هدفی بیان شده است. در فصل سوم، ابتدا دو مدل ریاضی مسئله هموارسازی تولید در مدل GLSP به همراه فرضیات آن‌ها بیان شده است. سپس الگوریتم‌های ارائه شده به منظور حل مسئله شرح داده شده است. در فصل چهارم نتایج عددی بدست آمده و آزمایشات آورده شده است. در نهایت، در فصل پنجم از این مطالعه نتیجه‌گیری شده و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ارائه شده است.

[۵] General Lot Sizing and Scheduling Problem

فصل دوم
مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱ مقدمه

در این فصل مدل پایه تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید همزمان مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با این مسئله و تعدادی از مدل‌های توسعه یافته بر اساس مدل پایه از قبیل فرض آماده‌سازی وابسته به توالی و چند ماشینی پرداخته شده است. در بخش بعدی هموارسازی تولید و مطالعات انجام گرفته در زمینه زمان‌بندی تولید هموار مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲ مفاهیم اندازه دسته و زمان‌بندی تولید

مسئله تعیین اندازه دسته تولید به معنی مشخص کردن تعدادی از واحدهای یک محصول که باید در یک زمان مشخص با یکدیگر تولید شوند گفته می‌شود[۷]. تقاضاهای مختلف محصولات در دوره‌های زمانی معینی رخ می‌دهد. معمولا در مسئله تعیین اندازه دسته به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه و تعداد دفعات انجام آماده‌سازی، تقاضاهای دوره‌های مختلف هر محصول با یکدیگر ترکیب شده و در یک دوره تولید صورت می‌گیرد. اما در صورتی‌که تقاضای یک محصول در زمانی قبل و یا بعد از زمان سفارش خود تولید شود، به ترتیب باعث ایجاد هزینه‌های نگهداری و کمبود می‌شود. از این رو تابع هدف مسئله‌ی تعیین اندازه دسته، بالانس هزینه‌های آماده‌سازی، نگهداری و کمبود است و معمولا دارای افق زمانی یک یا چند هفته می‌باشد.

مسئله زمان‌بندی[۶]، با جزئیات تولید، از قبیل تعیین زمان‌های دقیق تولید و ماشین اختصاص داده شده به یک واحد محصول سر و کار دارد. در این مسئله زمان‌های دقیق شروع و پایان تمامی کارها و توالی آن‌ها روی ماشین‌های مختلف مراحل بدست می‌آید. هدف مسئله‌ی زمان‌بندی تابعی از زمان می‌باشد. کمینه کردن زمان ختم و یا کمینه کردن میانگین زمان شناوری در سیستم‌های چند مرحله‌ای نمونه‌هایی از این نوع توابع هدف هستند.

می‌توان مسئله زمان‌بندی و تعیین اندازه دسته تولید را از چندین دیدگاه دسته بندی کرد. کلرک و همکاران [۸] یک دسته‌بندی برای مدل‌های زمان‌بندی و تعیین اندازه دسته تولید ارائه کردند. آن‌ها مجموعه‌ای از مقالات منتشر شده تا سال ۲۰۰۱ را بر اساس روش‌های حل مدل‌ها در جدولی طبقه بندی کردند. درکس و کیمز [۹] در مطالعه خود مروری بر مدل‌های تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید انجام دادند. نمونه‌ای از فرضیات مختلف در ارتباط با این مسائل در ادامه بیان شده است:

- دوره‌های زمانی (ظرف زمانی کوچک و ظرف زمانی بزرگ)
- زمان‌ها و هزینه‌های آماده‌سازی (در برخی از مدل‌ها تنها هزینه‌های آماده‌سازی در نظر گرفته می‌شود)
- وابسته بودن و یا نبودن زمان‌ها و هزینه‌های آماده‌سازی به توالی تولید
- مجاز بودن کمبود و یا عدم آن
- تک ماشینی و یا چند ماشینی (ماشین‌های موازی)
- ساختار تولید محصول تک سطحی و یا چند سطحی

تاکنون مطالعات زیادی بر روی مدل‌های تعیین اندازه دسته تولید و زمان‌بندی تولید به صورت مجزا و یا همزمان صورت گرفته است. در مطالعات اولیه تنها به تعیین اندازه دسته تولیدی پرداخته شده است. مدل EOQ مدل پایه تعیین اندازه دسته تولیدی می‌باشد که در آن به تعیین اندازه دسته تولیدی برای یک محصول پرداخته می‌شود. مدل EOQ یک مدل پیوسته با افق برنامه‌ریزی نامحدود است. بعد از EOQ فرضیات مختلفی به مدل پایه اضافه شد. مدل‌های ELSP[۷] و WW[۸] توسعه‌ای از مدل EOQ می‌باشد. در مدل ELSP فرض چند محصولی به مدل پایه اضافه شده است و در مدل WW فرض تقاضای پویا در افق زمانی محدود به مدل پایه اضافه شده است. برخلاف مدل EOQ که محاسبه پاسخ آن به راحتی امکان‌پذیر می باشد، مدل ELSP از جمله مسائل NP-hard است.

دو حالت اساسی در مسائل زمان‌بندی و تعیین اندازه دسته اغلب مورد استفاده می‌باشد: ظرف‌های زمانی بزرگ (دوره‌های ماکرو) که مربوط به دوره‌های زمانی بزرگ مانند هفته و ماه می‌باشد و دوره‌های زمانی کوچک (میکرو دوره‌ها). در مدل‌هایی که تنها ظرف‌های زمانی بزرگ را در نظر می‌گیرند، چندین محصول می‌توانند در هر دوره تولید شود. نمونه‌ای از این مدل‌ها، مسئله تعیین اندازه دسته و با محدودیت ظرفیت (CLSP[۹]) [۹] می‌باشد. در این مدل تصمیمات مربوط به زمان‌بندی وارد مدل نمی‌شود. با تقسیم دوره‌های ماکرو به چندین دوره میکرو، مسئله زمان‌بندی و تعیین اندازه دسته گسسته (DLSP[۱۰]) حاصل می‌شود. این مدل در ابتدا توسط فلشمن [۱۰] ارائه شد و

---

[۶] Scheduling
[۷] Economic lot scheduling problem
[۸] Wagner witin
[۹] Capacitated Lot Sizing and Scheduling Problem
[۱۰] Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem

بعدا توسط فلشمن [۱۱] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.یک فرض مهم که در مدل DLSP وجود دارد فرض همه یا هیچ است، یعنی از تمام ظرفیت در دسترس ماشین در میکرو دوره برای تولید تنها یک محصول استفاده می‌شود. این فرض به نظر سخت و محدود کننده است. انگیزه اصلی این فرض، استفاده از رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مدل ریاضی آن می‌باشد. در مسئله تعیین اندازه دسته جزئی (PLSP[۱۱]) [۱۲] تولید حداکثر دو محصول در هر میکرو دوره امکان پذیر می‌باشد. در این مدل امکان استفاده از ظرفیت باقی‌مانده هر دوره برای تولید محصول دوم وجود دارد.

۲-۳ مدل GLSP

در مدل‌های با ظرف زمانی کوچک تعداد دوره‌های موجود در مدل با توجه به ابعاد مسئله بسیار زیاد می‌باشد. این موضوع باعث محدودیت در حل مدل ریاضی آن‌ها می‌شود. با مقایسه مدل‌های با ظرف زمانی کوچک و مدل CLSP (به عنوان مدلی با ظرف زمانی بزرگ) مشخص می‌شود که با اعمال تغییرات کوچکی می‌توان در آن‌ها توالی تولید را نیز مدل کرد.

مدل تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید عمومی (GLSP)، مدلی با ظرف زمانی بزرگ می‌باشد. این مدل به عنوان آخرین و پرکاربردترین مدل پایه مسئله تعیین اندازه دسته و زمان‌بندی تولید است که در آن توالی تولید نیز تعیین می‌شود. یک نمونه عملی از زمان‌بندی و تعیین اندازه دسته تولید با ظرف زمانی بزرگ در [۱۳] آورده شده است.

مدل GLSP در سال ۱۹۹۷ توسط فلشمن و میر [۱٤] و درکس و کیمز [۹] با ایده اصلی تعیین اندازه دسته با تقاضای ایستا و تخصیص فقط یک میکرو دوره به هر دسته به منظور تعیین توالی ارائه شده است. در این مدل میکرو دوره‌ها به عنوان جایگاه‌های تولیدی در نظر گرفته می‌شوند. اگر در مدل GLSP تعداد میکرو دوره‌ها در تمام دوره‌ها برابر با یک باشد، آنگاه با مدل CLSP برابر می‌شود. فلشمن و میر در مطالعه خود نشان دادند که محاسبه یک پاسخ امکان پذیر برای مسئله GLSP، خود یک مسئله NP-complete می‌باشد.

فلشمن و میر در سال ۱۹۹۷ دو مدل‌سازی مختلف و سه روش ابتکاری برای حل مسئله GLSP ارائه کردند. این دو مدل‌سازی شامل GLSP پایه با در نظر گرفتن فرض حفظ حالت آماده‌سازی و بدون حفظ حالت آماده‌سازی می‌باشد.

در زیر مدل ریاضی مسئله GLSP بیان شده است.

جدول ۲-۱- پارامترهای مدل GLSP

پارامترهای مدل GLSP	
ظرفیت در دسترس ماشین در لحظه t	C_t
تقاضای محصول j در دوره t	d_{jt}

[۱۱] Proportional lot Sizing and Scheduling Problem

ادامه جدول ۲-۱

هزینه نگهداری موجودی محصول j	h_j
موجودی اولیه محصول j	$I_{j.}$
تعداد کل محصولات	J
ظرفیت مورد نیاز برای تولید یک واحد از محصول j	a_j
هزینه آماده‌سازی محصول j	S_j
تعداد کل دوره ها	T
تعداد کل میکرو دوره‌ها	N
ماکزیمم تعداد میکرو دوره‌ها در دوره t	N_t

تعداد کل میکرو دوره‌ها به صورت N_T , … , $N_۲$, $N_۱$ می‌باشد. نحوه محاسبه اولین جایگاه تولیدی در هر دوره(F_t) و آخرین آن (L_t) به ترتیب در روابط زیر آورده شده است:

$$F_t = ۱ + \sum_{\tau=۱}^{t-۱} N_\tau$$

$$L_t = F_t + N_t - ۱$$

تعداد کل میکرو دوره‌ها برابر با میزان $N = \sum_{\tau=۱}^{T} N_\tau$ می‌باشد. ماکزیمم تعداد دسته های تولیدی که در کل افق برنامه‌ریزی می‌توانند تولید شوند، برابر با تعداد کل میکرو دوره‌ها می‌باشد.

جدول ۲-۲- متغیرهای تصمیم مدل GLSP

متغیرهای تصمیم مدل GLSP	
موجودی محصول j در دوره t	I_{jt}
مقدار تولید محصول j در میکرو دوره n	x_{jn}
متغیر نامنفی نشان‌دهنده انجام یا عدم انجام آماده‌سازی در میکرو دوره n	z_{jn}
متغیر صفر و یک نشان‌دهنده آماده بودن ماشین برای تولید در جایگاه n (y_{jn}=۱) و یا خیر (y_{jn}=۰)	y_{jn}

$$Min \sum_{j=۱}^{J} \sum_{n=۱}^{N} s_j z_{jn} + \sum_{j=۱}^{J} \sum_{t=۱}^{T} h_j I_{jt} \qquad ۱-۲$$

Subject to:

$$I_{jt} = I_{j(t-۱)} + \sum_{n=F_t}^{L_t} x_{jn} - d_{jt} \qquad j = ۱,۲,\dots,J;\ t = ۱,\dots,T \qquad ۲-۲$$

$$a_j x_{jn} \le C_t y_{jn} \qquad j = ۱,۲,\dots,J;\ t = ۱,\dots,T;\ n = F_t,\dots,L_t \qquad ۳-۲$$

$$\sum_{j=۱}^{J} \sum_{n=F_t}^{L_t} a_j x_{jn} \le C_t \qquad t = ۱,\dots,T \qquad ٤-۲$$

$$\sum_{j=۱}^{J} y_{jn} \le ۱ \qquad n = ۱,\dots,N \qquad ٥-۲$$

$$z_{jn} \ge y_{jn} - y_{j(n-۱)} \qquad j = ۱,۲,\dots,J;\ n = ۱,\dots,N \qquad ٦-۲$$

$$y_{jn} \in \{۰,۱\} \qquad j = ۱,۲,\dots,J;\ n = ۱,\dots,N \qquad ۷-۲$$

$$I_{jt}, x_{jn}, z_{jn} \ge ۰ \qquad j = ۱,۲,\dots,J;\ n = ۱,\dots,N;\ t = ۱,\dots,T \qquad ۸-۲$$

تابع هدف مجموع هزینه‌های آماده‌سازی و نگهداری را کمینه می‌کند. محدودیت ۲-۲ نشان‌دهنده بالانس موجودی است. در این مدل از یک محصول ممکن است در چندین جایگاه دوره تولید شود. محدودیت ۲-۳ آماده بودن ماشین در صورت انجام تولید محصول j در جایگاه n را الزام می‌کند. نامساوی ۲-۳ و نیز نامساوی ۲-٤ میزان تولید را با توجه به ظرفیت در دسترس کنترل می‌کند. نامساوی ۲-٥ نشان‌دهنده تولید تنها یک محصول در هر جایگاه است. نامساوی ۲-٦ نشان‌دهنده متغیر تصمیم صفر و یک برای آماده‌سازی محصول j در جایگاه n است. این محدودیت خاصیت حفظ حالت آماده‌سازی را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۲-۷ و ۲-۸ متغیرهای تصمیم نامنفی را نشان می‌دهند.

۲-۳-۱ فرض آماده‌سازی در مدل GLSP

یکی از فرضیات مهمی که در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است وجود زمان‌های آماده‌سازی است. زمان آماده‌سازی، شامل زمان‌های آماده‌سازی ماشین، پردازش و آماده‌سازی قطعات لازم برای پردازش محصول اصلی است. در بسیاری از صنایع و یا سیستم‌های خدماتی با وارد کردن این شرط می‌توان برنامه‌های تولیدی را بیشتر بر شرایط واقعی منطبق ساخت.

مسائل زمان‌بندی که آماده‌سازی را در نظر می‌گیرند به دو دسته تقسیم می‌شوند. اولین دسته شامل زمان‌های آماده‌سازی مستقل از توالی می‌باشد و دسته دوم شامل زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی می‌باشد. زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی در حالاتی وجود دارد که تسهیل تولید چند منظوره می‌باشد. صنایع شیمیایی و صنعت چاپ نمونه‌هایی از این نوع تولید هستند[۱۵].