

بسم... الرحمن الرحيم



دانشگاه علامه طباطبایی

دانشکده مدیریت و حسابداری

رساله دکتری رشته مدیریت تولید و عملیات

**الگویی مبتنی بر شبکه های صف، جهت بهینه سازی نرخ تولید در
خطوط تولید و مونتاژ گسسته پیشامد**

نگارش

علی محتشمی

استاد راهنما

جناب آقای دکتر مقصود امیری

استادان مشاور

جناب آقای دکتر محمد علی خاتمی فیروزآبادی

جناب آقای دکتر کامران فیضی

استادان داور

جناب آقای دکتر محمد تقی تقوی فرد

جناب آقای دکتر رسول نورالسنا

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم

به پدر و مادرم به پاس ایثارشان، به پاس قلب های بزرگ و مهربانشان و به پاس عاطفه سرشار و کرمای امید بخش وجودشان

به همسرم به پاس محبت های بی دریغ و یاری بی بدلیش در طول زندگی و انجام این مطالعه

تقدیر و تشکر

پس از حمد و سپاس الهی به جهت به ثمر رسیدن این مطالعه، بر خود لازم می‌دانم که از استاد گران‌قدر، جناب آقای دکتر امیری که چه در دوران تحصیل و چه در طول انجام این مطالعه از راهنمایی‌های ارزنده‌شان بهره‌مند بوده‌ام تشکر و قدردانی نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از زحمات و حمایت‌های اساتید گران‌قدر، جناب آقای دکتر فیضی و جناب آقای دکتر خاتمی فیروزآبادی که در انجام هرچه بهتر این پروژه بنده را یاری فرمودند سپاس‌گذاری و قدردانی نمایم.

همچنین لازم است از راهنمایی‌ها و حمایت‌های اساتید گران‌قدر دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبایی به خصوص جناب آقای دکتر صدقیانی، جناب آقای دکتر صوفی و سرکار خانم دکتر الفت تشکر و قدردانی نمایم.

در نهایت از جناب آقای دکتر نورالسنا و جناب آقای دکتر تقوی فرد که زحمت ارزیابی این مطالعه را به عنوان استاد داور متقبل شدند کمال قدردانی را دارم.

چکیده

سیستم‌های تولیدی معمولاً متشکل از ماشین‌ها یا ایستگاه‌های کاری هستند به طوری که هدف سازمان که تولید محصول خاصی است را فراهم کنند که این ماشین‌ها یا ایستگاه‌ها توسط موجودی‌های بافر از یکدیگر جدا می‌شوند. این نحوه قرار گیری و توالی در ادبیات موضوع، خط تولید، خط انتقال یا خط جریان نام دارد. طراحی خط تولیدی مناسب که بتواند نرخ تولید و قابلیت اطمینان سیستم را بالا برد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در دنیای واقعی عوامل مختلفی بر نرخ تولید خط تولید اثر می‌گذارند که از میان آن‌ها می‌توان به تعداد ماشین‌آلات، زمان‌های پردازش، ضرایب تغییرات، نرخ‌های خرابی ماشین‌آلات، نرخ‌های تعمیر ماشین‌آلات و موجودی‌های بافر اشاره کرد. از جمله راهکارهای مفید جهت دستیابی به نرخ تولید بالاتر استفاده از ماشین‌های موازی (فعال) یا آماده به کار در ایستگاه‌های کاری و کاهش مدت زمان پردازش ماشین‌آلات یا به عبارت دیگر افزایش سرعت عملیات ماشین‌آلات است. همچنین تأثیر بافرها را می‌توان در مواردی چون اختلاف زمان‌های عملیاتی ایستگاه‌ها، عدم تولید در زمان‌های آماده سازی و بارگذاری، عدم تولید در زمان‌های خرابی ماشین‌آلات و قالب‌ها، عدم تولید در فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و غیره به وضوح دید. این مطالعه به طراحی بهینه (یا نزدیک به بهینه) پارامترهای مهم خطوط تولید که از ماشین‌های مختلف (ایستگاه‌های مختلف) و بافرهای میان آن‌ها تشکیل می‌شود می‌پردازد و در واقع در پی تعیین بهینه (یا نزدیک به بهینه به دلیل استفاده از شبیه سازی و الگوریتم ژنتیک) تعداد ماشین‌های فعال در هر ایستگاه، ظرفیت بافرهای میان ایستگاه‌ها و مدت زمان پردازش در هر ایستگاه است. رویکرد طراحی بهینه در این مطالعه، حداکثر کردن نرخ تولید با حداقل هزینه خرید ماشین‌آلات جدید، حداقل میزان موجودی‌های بافر و حداقل میزان ضایعات خط تولید با توجه به محدودیت‌های سیستم است، بنابراین این مسئله می‌بایست در قالب یک مدل چندهدفه مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه از جمله مفروضات مهم این مطالعه که وجه تمایز این مطالعه با مطالعات پیشین است، فرض تبعیت تمامی پارامترهای زمانی خط تولید از توابع توزیع عمومی (نرمال، ویبول، گاما و . . .) است، جهت برآورد نرخ تولید و نرخ ضایعات از متامدل‌هایی که برازش مناسبی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌های شبیه سازی داشته باشند استفاده شده است که این متامدل‌ها با استفاده از طراحی آزمایشات و متدولوژی سطح پاسخ برآورد شده‌اند. مدل ریاضی چند هدفه غیر خطی پیشنهادی این مطالعه که برای هر حوزه به تفکیک ارائه شده با استفاده از تلفیق روش‌های ال پی متریک، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی خطی به منظور دستیابی به جواب‌های بهینه (یا نزدیک بهینه) حل شده است.

کلید واژه‌ها

طراحی آزمایشات (Design of experiments)، متدولوژی سطح پاسخ (Response surface methodology)، شبیه سازی (Simulation)، الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm)، جستجوی خطی (Line search)، متامدل (Metamodel)

فهرست مطالب

۱	فصل ۱. طرح و کلیات تحقیق
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- بیان مسئله
۵	۱-۳- اهمیت و ضرورت موضوع
۹	۱-۴- اهداف تحقیق
۹	۱-۴-۱- اهداف اصلی تحقیق
۹	۱-۴-۲- اهداف فرعی تحقیق
۹	۱-۵- پرسش‌های تحقیق
۹	۱-۵-۱- پرسش‌های اصلی تحقیق
۹	۱-۵-۲- پرسش‌های فرعی تحقیق
۱۰	۱-۶- روش کلی تحقیق
۱۰	۱-۶-۱- روش گردآوری داده‌ها
۱۰	۱-۶-۲- روش تحلیل داده‌ها
۱۱	۱-۷- واژه‌ها و اصطلاحات تحقیق
۱۳	فصل ۲. مبانی نظری تحقیق
۱۴	۲-۱- طراحی آزمایش‌ها
۱۶	۲-۱-۱- چارچوب طرح آزمایش‌ها
۱۹	۲-۱-۲- انواع طرح‌های آزمایش
۱۹	۲-۱-۳- طرح‌های عاملی
۳۴	۲-۱-۴- روش روبه پاسخ
۳۷	۲-۲- شبیه‌سازی
۳۹	۲-۲-۱- سیستم‌های گسسته و پیوسته
۴۱	۲-۳- الگوریتم‌های فراابتکاری
۴۱	۲-۳-۱- الگوریتم ژنتیک
۵۱	۲-۴- مروری بر تحقیقات پیشین
۵۶	فصل ۳. روش اجرای تحقیق
۵۷	۳-۱- مقدمه
۵۷	۳-۲- مفروضات اساسی

۵۸	..... ۳-۳- شناسایی سیستم مورد مطالعه
۵۸	..... ۳-۳-۱- تعیین متغیر های ورودی
۵۹	..... ۳-۳-۲- تعیین سطوح مورد مطالعه متغیر ها
۵۹	..... ۳-۳-۳- تعیین متغیر های خروجی (پاسخ)
۶۰	..... ۳-۳-۴- انتخاب طرح آزمایش
۶۰	..... ۳-۴- طرح های برازش مدل درجه اول
۶۰	..... ۳-۴-۱- ساخت مدل درجه اول
۶۱	..... ۳-۴-۲- طرح عاملی 2^k
۷۰	..... ۳-۵- طرح های برازش مدل درجه دوم
۷۰	..... ۳-۵-۱- طراحی مرکب مرکزی
۷۳	..... ۳-۵-۲- طراحی باکس و بنکن
۷۴	..... ۳-۶- شبیه سازی
۷۵	..... ۳-۷- ساخت متامدل
۷۶	..... ۳-۷-۱- بررسی روایی متامدل برازش شده
۷۶	..... ۳-۸- مدل سازی پیشنهادی مسائل بهینه سازی نرخ تولید
۷۶	..... ۳-۸-۱- مدل سازی پیشنهادی مسئله تخصیص بهینه بافر ها در خط تولید
۷۹	..... ۳-۸-۲- مدل سازی پیشنهادی مسئله تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید
۸۳	..... ۳-۸-۳- مدل سازی پیشنهادی مسئله تعیین بهینه مدت زمان های پردازش
۸۵	..... ۳-۸-۴- مدل سازی پیشنهادی مسئله تخصیص بهینه بافر ها و تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید
۹۱	..... ۳-۸-۵- مدل سازی پیشنهادی مسئله تخصیص بهینه بافر ها و تعیین بهینه مدت زمان های پردازش
۹۴	..... ۳-۸-۶- مدل سازی پیشنهادی مسئله تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید و تعیین بهینه مدت زمان های پردازش
۹۸	..... ۳-۸-۷- مدل سازی پیشنهادی مسئله تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید، تخصیص بهینه بافر ها و تعیین بهینه مدت زمان های پردازش
۱۰۵	..... ۳-۹- رویکرد حل مدل ریاضی و یافتن نقطه بهینه
۱۰۶	..... ۳-۹-۱- روش معیار کلی
۱۰۶	..... ۳-۹-۲- روش متریک دارای وزن
۱۰۷	..... ۳-۱۰- حل مدل به منظور دستیابی به جواب بهینه
۱۰۷	..... ۳-۱۰-۱- الگوریتم ژنتیک تلفیقی
۱۰۸	..... ۳-۱۰-۲- جستجوی خطی
۱۱۷	..... فصل ۴. تجزیه و تحلیل داده ها
۱۱۸	..... ۴-۱- مسئله تخصیص بهینه بافر ها در خط تولید (۱)
۱۳۹	..... ۴-۲- مسئله تخصیص بهینه بافر ها در خط تولید (۲)

۱۵۹	..... مسئله تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید
۱۸۱	..... مسئله تعیین بهینه مدت زمان های پردازش (نرخ خدمت دهی)
۲۰۴	..... مسئله تخصیص بهینه بافر ها و ماشین ها در خط تولید
۲۳۱	..... مسئله تخصیص بهینه بافر ها و تعیین بهینه مدت زمان های پردازش
۲۶۳	..... مسئله تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید و تعیین بهینه مدت زمان های پردازش
۲۹۲	..... مسئله تخصیص بهینه ماشین ها در خط تولید، تخصیص بهینه بافرها و تعیین بهینه مدت زمان های پردازش

فصل ۵. بحث و نتیجه گیری ۳۲۴

۳۲۵	..... ۵-۱ مقدمه
۳۲۵	..... ۵-۲ بررسی اجمالی
۳۲۹	..... ۵-۳ نتیجه گیری و پیشنهادات
۳۳۲	..... ۵-۴ پیشنهاد تحقیقات آتی

ضمیمه ۳۳۳

فهرست منابع ۳۴۳

فهرست اشکال و نمودار ها

۴	..... شکل ۱-۱- یک خط تولید k ایستگاهی سری با ۱- k بافر
۵	..... شکل ۱-۲- یک خط تولید k ایستگاهی سری - موازی
۱۵	..... شکل ۱-۲- مدل کلی فرآیند سیستم
۲۰	..... شکل ۲-۲- یک آزمایش عاملی دو عاملی با پاسخ y که در گوشه ها نشان داده شده است
۲۱	..... شکل ۳-۲- یک آزمایش عاملی دو عاملی با تعامل
۲۲	..... شکل ۴-۲- یک آزمایش عاملی بدون اثر متقابل
۲۲	..... شکل ۵-۲- یک آزمایش عاملی با اثر متقابل
۳۵	..... شکل ۶-۲- یک رویه پاسخ سه بعدی
۳۶	..... شکل ۷-۲- نمودار منحنی های تراز رویه پاسخ
۴۰	..... شکل ۸-۲- گام های اساسی در بررسی مبتنی بر شبیه سازی
۴۶	..... شکل ۹-۲- چرخ رولت برای چهار کروموزوم
۶۳	..... شکل ۱-۳- نمای هندسی طرح 2^3
۶۶	..... شکل ۲-۳- کسر اصلی I=+ABC

۶۶	..... شکل ۳-۳- کسر بدل $I=-ABC$
۷۱	..... شکل ۳-۴- طراحی مرکب مرکزی برای $k=2$ و $k=3$
۷۳	..... شکل ۳-۵- طرح مرکب مرکزی متمرکز شده در وجوه، برای $k = 3$
۷۳	..... شکل ۳-۶- طرح باکس - بنکن برای سه عامل
۱۱۱	..... شکل ۳-۷- رویه پاسخ مرتبه اول و مسیر تندترین صعود
۱۱۳	..... شکل ۳-۸- رویه پاسخ و نمودار کانتور نشان دهنده رویه ای با نقطه ماکزیمم
۱۱۴	..... شکل ۳-۹- رویه پاسخ و نمودار کانتور نشان دهنده رویه ای با نقطه مینیمم
۱۱۵	..... شکل ۳-۱۰- رویه پاسخ و نمودار کانتور نشان دهنده رویه ای با نقطه زینی
۱۱۹	..... شکل ۴-۱- خط تولید با ۱۸ ایستگاه کاری (۱۸ ماشین و ۱۴ بافر)
۱۲۴	..... شکل ۴-۲- مدل شبیه سازی خط تولید شکل (۴-۱)
۱۲۶	..... شکل ۴-۳- نمودار بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها
۱۲۷	..... شکل ۴-۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۱۲۹	..... شکل ۴-۵- نمودار نرمال اثرات اصلی و تعاملی بر پاسخ
۱۲۹	..... شکل ۴-۶- نمودار پارتو اثرات اصلی و تعاملی بر پاسخ
۱۳۳	..... شکل ۴-۷- نمودار بهینه سازی پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۱۳۴	..... شکل ۴-۸- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها
۱۳۴	..... شکل ۴-۹- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۱۳۵	..... شکل ۴-۱۰- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۱۳۵	..... شکل ۴-۱۱- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۱۳۷	..... شکل ۴-۱۲- مرز پارتو برای مسئله تخصیص بهینه بافرها ($p = 1$)
۱۳۹	..... شکل ۴-۱۳- مرز پارتو برای مسئله تخصیص بهینه بافرها ($p = 2$)
۱۴۱	..... شکل ۴-۱۴- خط تولید با ۱۲ ایستگاه کاری (۱۷ ماشین و ۱۰ بافر)
۱۴۵	..... شکل ۴-۱۵- مدل شبیه سازی خط تولید شکل (۴-۱۴)
۱۴۷	..... شکل ۴-۱۶- نمودار بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها
۱۴۷	..... شکل ۴-۱۷- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۱۴۸	..... شکل ۴-۱۸- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۱۴۸	..... شکل ۴-۱۹- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۱۵۳	..... شکل ۴-۲۰- نمودار بهینه سازی پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۱۵۴	..... شکل ۴-۲۱- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها
۱۵۴	..... شکل ۴-۲۲- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۱۵۵	..... شکل ۴-۲۳- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۱۵۵	..... شکل ۴-۲۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۱۵۶	..... شکل ۴-۲۵- نمودار باقی مانده‌ها

- شکل ۴-۲۶- مرز پارتو برای مسئله تخصیص بهینه بافرها ($P = 1$) ۱۵۷
- شکل ۴-۲۷- مرز پارتو برای مسئله تخصیص بهینه بافرها ($P = 2$) ۱۵۹
- شکل ۴-۲۸- خط تولید با ۱۹ ماشین و ۱۰ ایستگاه کاری ۱۶۰
- شکل ۴-۲۹- مدل شبیه سازی خط تولید شکل (۴-۲۸) ۱۶۴
- شکل ۴-۳۰- نمودار بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها ۱۶۶
- شکل ۴-۳۱- هیستوگرام باقی مانده‌ها ۱۶۷
- شکل ۴-۳۲- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها ۱۶۷
- شکل ۴-۳۳- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها ۱۶۸
- شکل ۴-۳۴- نمودار بهینه سازی پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۱۷۵
- شکل ۴-۳۵- هیستوگرام باقی مانده‌ها ۱۷۶
- شکل ۴-۳۶- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها ۱۷۶
- شکل ۴-۳۷- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها ۱۷۷
- شکل ۴-۳۸- مرز پارتو برای حل مدل ۱۷۹
- شکل ۴-۳۹- خط تولید با ۹ ایستگاه شامل ۱۷ ماشین ۱۸۲
- شکل ۴-۴۰- مدل شبیه سازی خط تولید ۱۸۶
- شکل ۴-۴۱- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها ۱۸۸
- شکل ۴-۴۲- هیستوگرام باقی مانده‌ها ۱۸۸
- شکل ۴-۴۳- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها ۱۸۹
- شکل ۴-۴۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها ۱۸۹
- شکل ۴-۴۵- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها ۱۹۱
- شکل ۴-۴۶- هیستوگرام باقی مانده‌ها ۱۹۲
- شکل ۴-۴۷- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها ۱۹۲
- شکل ۴-۴۸- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها ۱۹۳
- شکل ۴-۴۹- نمودار بهینه سازی پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۱۹۸
- شکل ۴-۵۰- هیستوگرام باقی مانده‌ها ۱۹۹
- شکل ۴-۵۱- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها ۱۹۹
- شکل ۴-۵۲- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها ۲۰۰
- شکل ۴-۵۳- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها ۲۰۰
- شکل ۴-۵۴- نمودار پارتو برای حل مسئله با $p = 2$ ۲۰۳
- شکل ۴-۵۵- نمودار پارتو برای حل مسئله با $p = 3$ ۲۰۴
- شکل ۴-۵۶- خط تولید با ۱۵ ماشین و ۱۰ بافر ۲۰۵
- شکل ۴-۵۷- مدل شبیه سازی خط تولید ۲۱۰
- شکل ۴-۵۸- نمودار بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها ۲۱۵

۲۱۵	..... شکل ۴-۵۹- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۲۱۶	..... شکل ۴-۶۰- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۲۱۶	..... شکل ۴-۶۱- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۲۲۱	..... شکل ۴-۶۲- نمودار بهینه سازی پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۲۲۲	..... شکل ۴-۶۳- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۲۲۳	..... شکل ۴-۶۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۲۲۳	..... شکل ۴-۶۵- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها
۲۲۴	..... شکل ۴-۶۶- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۲۲۷	..... شکل ۴-۶۷- نمودار پارتو بافر - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت چپ $p = 1$
۲۲۷	..... شکل ۴-۶۸- نمودار پارتو بافر - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت راست $p = 1$
۲۲۸	..... شکل ۴-۶۹- نمودار پارتو هزینه خرید ماشین آلات - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت چپ $p = 1$
۲۲۸	..... شکل ۴-۷۰- نمودار پارتو هزینه خرید ماشین آلات - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت راست $p = 1$
۲۲۹	..... شکل ۴-۷۱- نمودار پارتو بافر - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت چپ $p = 2$
۲۲۹	..... شکل ۴-۷۲- نمودار پارتو بافر - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت راست $p = 2$
۲۳۰	..... شکل ۴-۷۳- نمودار پارتو هزینه خرید ماشین آلات - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت چپ $p = 2$
۲۳۰	..... شکل ۴-۷۴- نمودار پارتو هزینه خرید ماشین آلات - نرخ تولید به ازای ۹ جواب سمت راست $p = 2$
۲۳۲	..... شکل ۴-۷۵- خط تولید با ۱۷ ماشین و ۱۰ بافر
۲۳۷	..... شکل ۴-۷۶- مدل شبیه سازی خط تولید
۲۴۲	..... شکل ۴-۷۷- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها
۲۴۲	..... شکل ۴-۷۸- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۲۴۳	..... شکل ۴-۷۹- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۲۴۳	..... شکل ۴-۸۰- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۲۴۴	..... شکل ۴-۸۱- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده‌ها
۲۴۵	..... شکل ۴-۸۲- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۲۴۵	..... شکل ۴-۸۳- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۲۴۶	..... شکل ۴-۸۴- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۲۵۴	..... شکل ۴-۸۵- نمودار بهینه سازی پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۲۵۵	..... شکل ۴-۸۶- هیستوگرام باقی مانده‌ها
۲۵۵	..... شکل ۴-۸۷- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۲۵۶	..... شکل ۴-۸۸- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها
۲۵۶	..... شکل ۴-۸۹- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۲۶۱	..... شکل ۴-۹۰- نمودار پارتو بافر - نرخ تولید ($P = 1$)
۲۶۱	..... شکل ۴-۹۱- نمودار پارتو نرخ ضایعات - نرخ تولید ($P = 1$)

- شکل ۹۲-۴- نمودار پارتو بافر - نرخ تولید ($P = 2$) ۲۶۲
- شکل ۹۳-۴- نمودار پارتو نرخ ضایعات - نرخ تولید ($P = 2$) ۲۶۲
- شکل ۹۴-۴- خط تولید با ۹ ایستگاه شامل ۱۷ ماشین ۲۶۴
- شکل ۹۵-۴- مدل شبیه سازی شده خط تولید با ۹ ایستگاه کاری و ۱۷ ماشین ۲۶۹
- شکل ۹۶-۴- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده ها ۲۷۴
- شکل ۹۷-۴- هیستوگرام باقی مانده ها ۲۷۴
- شکل ۹۸-۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده ها ۲۷۵
- شکل ۹۹-۴- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده ها ۲۷۵
- شکل ۱۰۰-۴- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده ها ۲۷۶
- شکل ۱۰۱-۴- هیستوگرام باقی مانده ها ۲۷۷
- شکل ۱۰۲-۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده ها ۲۷۷
- شکل ۱۰۳-۴- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده ها ۲۷۸
- شکل ۱۰۴-۴- نمودار بهینه سازی پارامتر های الگوریتم ژنتیک ۲۸۴
- شکل ۱۰۵-۴- هیستوگرام باقی مانده ها ۲۸۵
- شکل ۱۰۶-۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده ها ۲۸۵
- شکل ۱۰۷-۴- نمودار احتمال نرمال باقی مانده ها ۲۸۶
- شکل ۱۰۸-۴- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده ها ۲۸۶
- شکل ۱۰۹-۴- نمودار پارتو نرخ ضایعات - نرخ تولید ($P = 1$) ۲۹۰
- شکل ۱۱۰-۴- نمودار پارتو هزینه ماشین آلات - نرخ تولید ($P = 1$) ۲۹۰
- شکل ۱۱۱-۴- نمودار پارتو نرخ ضایعات - نرخ تولید ($P = 2$) ۲۹۱
- شکل ۱۱۲-۴- نمودار پارتو هزینه ماشین آلات - نرخ تولید ($P = 2$) ۲۹۱
- شکل ۱۱۳-۴- خط تولید با ۱۲ ایستگاه شامل ۱۷ ماشین و ۱۰ بافر ۲۹۳
- شکل ۱۱۴-۴- مدل شبیه سازی شده خط تولید ۲۹۸
- شکل ۱۱۵-۴- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده ها ۳۰۲
- شکل ۱۱۶-۴- هیستوگرام باقی مانده ها ۳۰۳
- شکل ۱۱۷-۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده ها ۳۰۳
- شکل ۱۱۸-۴- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده ها ۳۰۴
- شکل ۱۱۹-۴- آزمون کلموگروف - اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن باقی مانده ها ۳۰۵
- شکل ۱۲۰-۴- هیستوگرام باقی مانده ها ۳۰۵
- شکل ۱۲۱-۴- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده ها ۳۰۶
- شکل ۱۲۲-۴- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده ها ۳۰۶
- شکل ۱۲۳-۴- نمودار بهینه سازی پارامتر های الگوریتم ژنتیک ۳۱۵
- شکل ۱۲۴-۴- هیستوگرام باقی مانده ها ۳۱۶

۳۱۷	..... شکل ۴-۱۲۵- نمودار مشاهدات در مقابل باقی مانده‌ها
۳۱۷	..... شکل ۴-۱۲۶- نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها
۳۱۸	..... شکل ۴-۱۲۷- نمودار مقادیر برازش شده در مقابل باقی مانده‌ها
۳۲۱	..... شکل ۴-۱۲۸- نمودار پارتو نرخ ضایعات - نرخ تولید
۳۲۱	..... شکل ۴-۱۲۹- نمودار پارتو حجم کل بافرها - نرخ تولید
۳۲۲	..... شکل ۴-۱۳۰- نمودار پارتو هزینه خرید ماشین آلات - نرخ تولید
۳۲۲	..... شکل ۴-۱۳۱- نمودار پارتو نرخ ضایعات - نرخ تولید
۳۲۳	..... شکل ۴-۱۳۲- نمودار پارتو حجم کل بافرها - نرخ تولید
۳۲۳	..... شکل ۴-۱۳۳- نمودار هزینه خرید ماشین آلات - نرخ تولید
۳۲۷	..... شکل ۵-۱- تعداد اجرای شبیه سازی در مقابل تعداد عوامل
۳۳۱	..... شکل ۵-۲- نمودار کلی نرخ تولید در مقابل تغییرات بافرها، تعداد ماشین آلات و مدت زمان پردازش

فهرست جداول

۸	..... جدول ۱-۱- قابلیت‌های حل مسائل مختلف توسط الگوی پیشنهادی
۲۳	..... جدول ۱-۲- آرایش کلی داده‌ها برای طرح دو عاملی
۲۶	..... جدول ۲-۲- درجات آزادی طرح‌های عاملی با دو عامل
۲۷	..... جدول ۳-۲- جدول تحلیل واریانس برای طرح دو عاملی، مدل اثرهای تثبیت شده
۳۲	..... جدول ۴-۲- جدول تحلیل واریانس برای مدل اثرهای تثبیت شده با سه عامل
۵۵	..... جدول ۵-۲- طبقه بندی تحقیقات پیشین
۶۲	..... جدول ۱-۳- ماتریس طراحی کامل 2^3
۶۵	..... جدول ۲-۳- علائم مثبت و منفی برای طرح عاملی 2^3
۶۸	..... جدول ۳-۳- علامت‌های مثبت و منفی برای طرح‌های پلاکت - بورمن
۶۹	..... جدول ۴-۳- طرح پلاکت - بورمن برای $N=12$ و $k=11$
۷۲	..... جدول ۵-۳- طرح مرکب مرکزی برای سه عامل
۷۴	..... جدول ۶-۳- طرح باکس و بنکن برای سه متغیر
۱۲۰	..... جدول ۱-۴- توابع توزیع زمان‌های پردازش، مدت زمان‌های بین خرابی‌های متوالی و مدت زمان تعمیر در هر ایستگاه
۱۲۱	..... جدول ۲-۴- حد بالا و پایین ظرفیت بافرها
۱۲۲	..... جدول ۳-۴- طرح عاملی کسری 2^{14-9} به همراه نتایج شبیه سازی
۱۲۵	..... جدول ۴-۴- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه اول
۱۲۶	..... جدول ۵-۴- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم
۱۲۸	..... جدول ۶-۴- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم برازش داده شده
۱۳۲	..... جدول ۷-۴- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخ‌های تابع LP-Metric
۱۳۳	..... جدول ۸-۴- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک

۱۳۶	جدول ۹-۴- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $p = 1$
۱۳۸	جدول ۱۰-۴- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $p = 2$
۱۴۲	جدول ۱۱-۴- توابع توزیع مدت زمان های پردازش، زمان های خرابی ماشین آلات، زمان های تعمیر ماشین آلات
۱۴۲	جدول ۱۲-۴- حد بالا و پایین ظرفیت بافرها
۱۴۴	جدول ۱۳-۴- طرح باکس - بنکن به همراه نتایج شبیه سازی
۱۴۶	جدول ۱۴-۴- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل
۱۴۹	جدول ۱۵-۴- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل برازش داده شده
۱۵۲	جدول ۱۶-۴- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۱۵۳	جدول ۱۷-۴- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۱۵۶	جدول ۱۸-۴- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 1$
۱۵۸	جدول ۱۹-۴- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 2$
۱۶۱	جدول ۲۰-۴- توابع توزیع مدت زمان های پردازش، مدت زمان های بین خرابی های متوالی و مدت زمان های تعمیر
۱۶۱	جدول ۲۱-۴- حد پایین و بالای افزودن ماشین ها در هر ایستگاه و هزینه خرید
۱۶۳	جدول ۲۲-۴- طرح باکس - بنکن به همراه نتایج شبیه سازی
۱۶۵	جدول ۲۳-۴- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل
۱۶۸	جدول ۲۴-۴- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل برازش داده شده
۱۷۴	جدول ۲۵-۴- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۱۷۵	جدول ۲۶-۴- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۱۷۸	جدول ۲۷-۴- نتایج حل مدل با در نظر گیری $P = 1$
۱۸۰	جدول ۲۸-۴- نتایج حل مدل با در نظر گیری $P = 2$
۱۸۳	جدول ۲۹-۴- توابع توزیع مدت زمان های پردازش، مدت زمان های بین خرابی های متوالی و مدت زمان های تعمیر
۱۸۳	جدول ۳۰-۴- حد پایین و بالای مدت زمان پردازش و ضایعات
۱۸۴	جدول ۳۱-۴- طرح دو سطحی کسری به همراه نتایج شبیه سازی
۱۸۷	جدول ۳۲-۴- نتایج تحلیل واریانس مدل درجه دوم نرخ تولید (اثرات اصلی و تعاملی)
۱۹۰	جدول ۳۳-۴- نتایج تحلیل واریانس مدل درجه دوم نرخ ضایعات (اثرات اصلی و تعاملی)
۱۹۳	جدول ۳۴-۴- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم برازش شده نرخ تولید
۱۹۴	جدول ۳۵-۴- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم برازش شده نرخ ضایعات
۱۹۷	جدول ۳۶-۴- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۱۹۸	جدول ۳۷-۴- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۲۰۱	جدول ۳۸-۴- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 2$
۲۰۲	جدول ۳۹-۴- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 3$
۲۰۶	جدول ۴۰-۴- مدت زمان پردازش، مدت زمان بین خرابی و مدت زمان تعمیر ماشین آلات
۲۰۶	جدول ۴۱-۴- حد پایین و بالای ماشین ها در هر ایستگاه، حد پایین و بالای بافرها، هزینه خرید واحد ماشین

۲۰۸	جدول ۴-۴۲- طراحی عاملی کسری دو سطحی 2^6 و نتیجه شبیه سازی هر آزمایش
۲۱۱	جدول ۴-۴۳- نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیون درجه اول
۲۱۱	جدول ۴-۴۴- نتایج آزمون معنی داری متغیرها
۲۱۳	جدول ۴-۴۵- طراحی باکس - بنکن یک بلوکه به همراه نتایج شبیه سازی
۲۱۴	جدول ۴-۴۶- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل
۲۱۷	جدول ۴-۴۷- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل برازش شده
۲۲۱	جدول ۴-۴۸- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۲۲۲	جدول ۴-۴۹- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۲۲۵	جدول ۴-۵۰- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $p = 1$
۲۲۶	جدول ۴-۵۱- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $p = 2$
۲۳۳	جدول ۴-۵۲- مدت زمان پردازش، مدت زمان بین خرابیها و مدت زمان تعمیر ماشینها
۲۳۳	جدول ۴-۵۳- حد پایین و بالای مدت زمان پردازش ماشینها، حد پایین و بالای بافرها، حد پایین و بالای نرخ ضایعات
۲۳۵	جدول ۴-۵۴- طرح کسری 2^6 کد شده به همراه نتایج شبیه سازی
۲۳۸	جدول ۴-۵۵- نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیون درجه اول
۲۳۸	جدول ۴-۵۶- ضرایب متغیرها و نتایج آزمون معنی داری
۲۴۰	جدول ۴-۵۷- طرح باکس بنکن برای ۱۲ متغیر به همراه نتایج شبیه سازی
۲۴۱	جدول ۴-۵۸- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل نرخ تولید
۲۴۴	جدول ۴-۵۹- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل نرخ ضایعات
۲۴۶	جدول ۴-۶۰- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل (نرخ تولید به عنوان متغیر پاسخ)
۲۴۸	جدول ۴-۶۱- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل (نرخ ضایعات به عنوان متغیر پاسخ)
۲۵۳	جدول ۴-۶۲- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۲۵۴	جدول ۴-۶۳- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۲۵۷	جدول ۴-۶۴- نتایج حل مدل با در نظر گیری $P = 1$
۲۵۹	جدول ۴-۶۵- نتایج حل مدل با در نظر گیری $P = 2$
۲۶۵	جدول ۴-۶۶- توابع توزیع مدت زمانهای پردازش، مدت زمانهای بین خرابیهای متوالی و مدت زمانهای تعمیر
۲۶۵	جدول ۴-۶۷- حد پایین و بالای مدت زمان پردازش و ضایعات، هزینه خرید ماشین آلات، حجم و وزن ماشین آلات
۲۶۷	جدول ۴-۶۸- طرح کسری 2^6 کد شده به همراه نتایج شبیه سازی
۲۷۰	جدول ۴-۶۹- نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیون درجه اول
۲۷۰	جدول ۴-۷۰- ضرایب متغیرها و نتایج آزمون معنی داری
۲۷۲	جدول ۴-۷۱- طرح باکس بنکن برای ۸ متغیر به همراه نتایج شبیه سازی
۲۷۳	جدول ۴-۷۲- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل نرخ تولید
۲۷۶	جدول ۴-۷۳- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل نرخ ضایعات
۲۷۸	جدول ۴-۷۴- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل (نرخ تولید به عنوان متغیر پاسخ)

۲۷۹	جدول ۴-۷۵- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل (نرخ ضایعات به عنوان متغیر پاسخ)
۲۸۳	جدول ۴-۷۶- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۲۸۴	جدول ۴-۷۷- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۲۸۸	جدول ۴-۷۸- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 1$
۲۸۹	جدول ۴-۷۹- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 2$
۲۹۴	جدول ۴-۸۰- توابع توزیع مدت زمانهای پردازش، مدت زمان های بین خرابیهای متوالی و مدت زمانهای تعمیر
۲۹۴	جدول ۴-۸۱- حد پایین و بالای مدت زمان پردازش و ضایعات، هزینه خرید ماشین آلات، حجم و وزن ماشین آلات
۲۹۶	جدول ۴-۸۲- طرح پلاکت - بورمن برای ۳۴ عامل به همراه نتایج شبیه سازی
۲۹۹	جدول ۴-۸۳- نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیون درجه اول
۲۹۹	جدول ۴-۸۴- ضرایب متغیرها و نتایج آزمون معنی داری متغیرها
۳۰۱	جدول ۴-۸۵- بخشهایی از طرح باکس - بنکن به همراه نتایج شبیه سازی
۳۰۲	جدول ۴-۸۶- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل نرخ تولید
۳۰۴	جدول ۴-۸۷- تحلیل واریانس برازش مدل چند جمله ای درجه دوم کامل نرخ ضایعات
۳۰۷	جدول ۴-۸۸- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل (نرخ تولید به عنوان متغیر پاسخ)
۳۰۹	جدول ۴-۸۹- ضرایب متغیرهای مدل درجه دوم کامل (نرخ ضایعات به عنوان متغیر پاسخ)
۳۱۵	جدول ۴-۹۰- طراحی باکس - بنکن برای سه عامل به همراه پاسخهای تابع LP-Metric
۳۱۶	جدول ۴-۹۱- تحلیل واریانس متامدل درجه دوم کامل پارامترهای الگوریتم ژنتیک
۳۱۹	جدول ۴-۹۲- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 1$
۳۲۰	جدول ۴-۹۳- نتایج حل مسئله با در نظر گیری $P = 2$
۳۲۶	جدول ۵-۱- تعداد اجرای شبیه سازی لازم جهت بررسی سیستم با تعداد عوامل مختلف

فصل اول - طرح و کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

یک خط تولید در یک کارخانه تولیدی شامل توالی ایستگاه‌های عملیاتی مختلف است که ایستگاه‌ها می‌توانند توسط اپراتور یا به صورت خودکار یعنی بدون حضور اپراتور یا نیمه خودکار فعالیت کنند. طرز قرار گیری ایستگاه‌های مختلف به نحوی است که مواد اولیه از ایستگاه اول (یا ایستگاه‌های اول) وارد شده و از یک ایستگاه به ایستگاه بعدی حرکت می‌کنند. در هر ایستگاه یک فرآیند عملیاتی خاص انجام شده و در نهایت محصول نهایی و آماده تحویل به مشتری از ایستگاه آخر خط خارج می‌شود. این‌گونه خطوط تولید معمولاً برای تولید در حجم بالا طراحی شده و میزان سرمایه گذاری در آن‌ها بالاست.

تجزیه و تحلیل خطوط تولید یا جریان و به طور کلی سیستم‌های ساخت و تولید، موضوع بسیاری از مطالعات تا کنون بوده و مسائل مختلفی با دیدگاه‌های متفاوت محل بحث در این زمینه بوده است. در حقیقت تجزیه و تحلیل خطوط تولید و در نتیجه طراحی خط تولیدی مناسب که بتواند خروجی خط، کارایی و بهره‌وری را بالا برد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجزیه و تحلیل خطوط تولید و مونتاژ در صنایع با اهداف مختلفی مانند حداکثر کردن نرخ تولید، حداقل کردن سیکل زمانی، حداقل کردن زمان‌های انتظار و غیره و با در نظر گیری محدودیت‌های مختلف فیزیکی، بودجه‌ای و غیره صورت می‌پذیرد.

در زمینه مطالعه حاضر، محققانی تا کنون به تحقیق در این مورد پرداخته‌اند که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

شی^۱ و گرشوین^۲ به ارائه یک الگوریتم طراحی بافر جهت بیشینه سازی سود در خطوط تولیدی پرداختند. (شی و گرشوین - ۲۰۰۹). الکساندروس^۳ و کریسولئون^۴، به بررسی و تحلیل یک خط تولید دو ایستگاه با یک بافر پرداختند. (الکساندروس و کریسولئون - ۲۰۰۹). بتینی^۵ و همکارانش در پژوهش خود به ارائه یک روش مبتنی بر شبیه سازی و همچنین یک ماتریس جدید آزمایشی به عنوان ابزاری جهت تعیین حجم بهینه بافرها پرداختند (بتینی و همکارانش - ۲۰۰۹). ناهاس^۶ و همکارانش به ارائه یک رویکرد جستجوی موضعی^۷ جهت حل مسئله تخصیص بافر در خطوط تولید نامطمئن پرداختند (ناهاس و همکارانش - ۲۰۰۶). چهارسوقی^۸ و نهایندی^۹ به بررسی مسئله تخصیص بافرها در خطوط تولید جهت بیشینه کردن خروجی خط به وسیله یک رویکرد ابتکاری پرداختند (چهارسوقی و نهایندی - ۲۰۰۳).

نهایندی به ارائه یک روش تخمینی برای محاسبه معیارهای عملکرد خطوط جریان تولید با ظرفیت انباشته محدود (بافر) بین ایستگاه‌ها پرداخت (نهایندی - ۱۳۸۱).

1 . Shi

2 . Gershwin

3 . Alexandros

4 . Chrissoleon

5 . Battini

6 . Nahas

7 . Local search

8 . Chaharsooghi

9 . Nahavandi

هان^۱ و پارک^۲ یک روش تحلیلی برای تخصیص بهینه بافرها جهت دستیابی به نرخ تولید مطلوب پیشنهاد کردند (هان و پارک - ۲۰۰۱). گرشوین^۳ و اسکور^۴ از روش گرادیان برای حل مسئله تخصیص بافرها استفاده کردند. آن‌ها از این طریق سعی کردند تا سود را بیشینه کنند (گرشوین و اسکور - ۲۰۰۰). اسپینلیس^۵ و پاپادوپولوس^۶ روشی مبتنی بر آنیلینگ شبیه سازی شده جهت حل مسئله تخصیص بافرها در خطوط تولید با ماشین‌های قابل اعتماد ارائه کردند (اسپینلیس و پاپادوپولوس - ۲۰۰۰). مانیتز^۷ به مطالعه فرآیند تولید در خطوط مونتاژ چند مرحله ای پرداخت. او در مطالعه خود از تحلیل سیستم‌های صف استفاده کرده، بافرها را منتهای و زمان‌های خدمت دهی را توابع توزیع عمومی در نظر گرفت (مانیتز - ۲۰۰۸). هوانگ^۸ و همکارانش به ارائه یک متدولوژی برای تخصیص بافرها در سیستم تولیدی پرداختند. آن‌ها در متدولوژی خود از برنامه ریزی پویا جهت ارزیابی عملکرد سیستم استفاده کردند (هوانگ و همکارانش - ۲۰۰۸). ابدولکادر^۹ به تخمین و بهبود ظرفیت خطوط تولید پرداخت. او از یک مدل برنامه ریزی خطی جهت بهبود رفتار سیستم استفاده کرد. ابدولکادر خرابی ماشین آلات را در مدل خود در نظر گرفت و توابع توزیع را در مدل به صورت نمایی مد نظر قرار داد (ابدولکادر - ۲۰۰۶). چن^{۱۰} و اسکین^{۱۱} هدف خود را حداکثر کردن خروجی خط در مقابل سطح پایین کار در گردش قرار دادند (چن و اسکین - ۲۰۰۶). درو بوچویچ^{۱۲} و همکارانش به بررسی مسئله زمان بندی عملیات در سلول‌های رباتیک پرداختند (درو بوچویچ و همکارانش - ۲۰۱۰).

۲-۱- بیان مسئله

در برخی سیستم‌های تولیدی در صنایع، ماشین‌ها یا ایستگاه‌ها به صورت متوالی قرار گرفته و توسط موجودی‌های بافر^{۱۳} از یکدیگر جدا می‌شوند (دالری^{۱۴} و گرشوین^{۱۵} - ۱۹۹۲؛ گرشوین و اسکور^{۱۶} - ۲۰۰۰). این نحوه قرار گیری و توالی در ادبیات موضوع خط تولید، خط انتقال یا خط جریان نام دارد. خطوط تولید اغلب شامل مکان‌های انبارشی جهت جمع آوری قطعات نیمه ساخته در نقاط مختلفی در طول خط می‌باشد. این مناطق انبارش معمولاً بافر نامیده می‌شود که کارکرد های مختلفی را می‌تواند ارائه دهد. همچنین اندازه و مکان قرار گیری آن‌ها رابطه ای بسیار قوی با نوع کارکرد آن‌ها دارد. وقتی که ایستگاه‌ها عملکرد معین و انحرافات زمانی قابل توجه (زمان‌های عملیاتی متفاوت) دارند، هر ایستگاه می‌بایست درجه بالاتری از استقلال را داشته باشد تا کارایی آن کمتر تحت تأثیر نوسان تولید

1 . Han

2 . Park

3 . Gershwin

4 . Schor

5 . Spinellis

6 . Papadopolous

7 . Manitz

8 . Huang

9 Abdul - kader

10 . Chen

11 . Askin

12 . Drobouchevitch

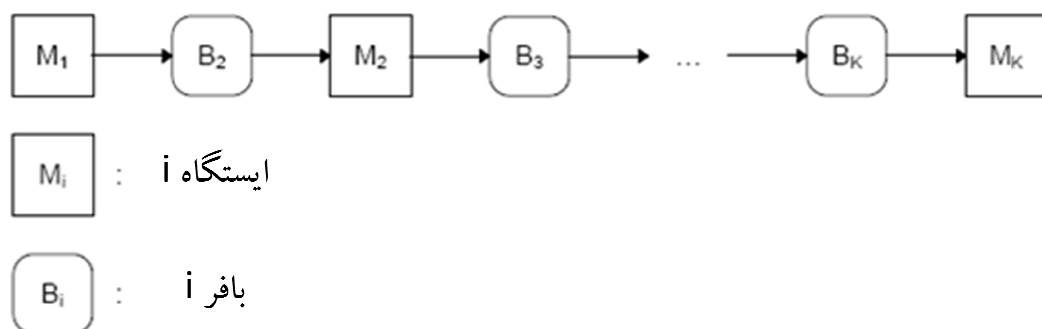
13 . Buffer

14 . Dallery

15 . Gershwin

16 . Schor

ایستگاه های قبلی قرار گیرد (بتینی^۱ و همکارانش - ۲۰۰۹). تأثیر بافرها را می توان در مواردی چون اختلاف زمان های عملیاتی ایستگاه ها، عدم تولید زمان های آماده سازی و بارگذاری، عدم تولید در زمان های خرابی ماشین آلات و قالب ها، عدم تولید در فعالیت های نگهداری و تعمیرات و غیره به وضوح دید. یکی دیگر از عواملی که در افزایش نرخ تولید خطوط تولید یا مونتاژ مطرح است، تعداد ماشین آلات در هر ایستگاه می باشد. در بسیاری از سیستم های تولیدی، جهت دستیابی به نرخ بالاتری از تولید و همچنین دستیابی به سطح بالاتری از قابلیت اطمینان، از ماشین های موازی در ایستگاه ها استفاده می شود (دالری و گرشوین - ۱۹۹۲؛ برمن^۲ - ۱۹۹۵). این در حالی است که با افزایش و کاهش نرخ خدمت دهی در هر ایستگاه نیز تا حد زیادی می توان خروجی خط را تحت تأثیر قرار داد. بسته به اینکه خط تولید یا مونتاژ با چه پارامترهایی مشغول به فعالیت است، مانند شبکه تقدم و تأخر فعالیت ها و ایستگاه ها، مدت زمان های خدمت دهی در هر ایستگاه، خرابی ماشین ها و مدت زمان تعمیر آن ها و غیره، ماشین های موازی می توانند در برخی ایستگاه ها به کار رفته تا نرخ تولید خط را به صورت مطلوب و کارا افزایش دهند. منظور از مطلوب این است که باید مشخص شود که بهترین نقطه برای افزایش ماشین، کدام نقطه از خط است، چرا که در صورت افزایش ماشین آلات بدون مطالعه کافی ممکن است ماشین هایی به ایستگاه هایی اضافه شوند که نرخ تولید را به میزان مورد نظر بالا نبرده و صرفاً برای سازمان هزینه زا باشند. جهت توصیف تأثیر بافرها و ماشین آلات تولیدی در خطوط تولید، شکل ۱-۱ یک خط تولید متوالی با K ایستگاه و $k-1$ بافر را نشان می دهد.



شکل ۱-۱: یک خط تولید K ایستگاهی سری با $k-1$ بافر (ویدالیس^۳ و همکارانش - ۲۰۰۵) در این خط تولید M_i هانشان دهنده ایستگاه های کاری و B_i هانشان دهنده بافر های بین ایستگاه ها می باشند. لازم به توضیح است که در هر ایستگاه کاری M_i می تواند چندین ماشین به صورت موازی وجود داشته باشد که این خطوط تولید اصطلاحاً خطوط تولید سری - موازی نامیده می شوند (شکل ۱-۲).

^۱ . Battini
^۲ . Burman
^۳ . Vidalis