فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)
سال یازدهم، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۹
صص: ۱۸۶-۱۵۹

زمانبندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر جغرافیایی- منطقه‌ای پایدار احتمالی با استفاده از مدل ریاضی الگوریتم تلفیقی فراابتکاری[۱]

بیژن شجاعی برجوئی
گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
سید احمد شایان نیا[۲]
گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
محمدرضا لطفی
گروه مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
جواد رضائیان زیدی
گروه مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران
تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

چکیده
در این تحقیق، یک الگوریتم کارا جهت تعیین توالی و زمانبندی تولید در سیستم‌های تولید کار کارگاهی، به منظور بهبود کارآیی و اثربخشی زمانبندی منطبق و سازگار با شرایط جغرافیایی- منطقه‌ای پایدار صنعت نفت، ارایه شده است. در این بررسی سازگاری و انطباق تئوری با شرایط جغرافیایی- منطقه‌ای پایدار صنعت از طریق در نظرگرفتن مقادیر احتمالی برای پارامتر زمان انجام فرآیند صورت پذیرفته است. مساله به صورت کمینه کردن شناوری زمان پردازش و نیز میزان هزینه عملیاتی و بیکاری ماشین‌ها، با هدف حداکثر کردن بهره‌گیری از امکانات تولید، مدل‌سازی شده است. در میان مسایل تعیین توالی عملیات، زمانبندی در سیستم‌های تولید کار کارگاهی در شرایط چند کار یا چند ماشین با محدودیت‌های مختلف از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشد. علاوه براین پیچیدگی ذاتی سیستم‌های تولید کار کارگاهی، ورود شرایط عدم قطعیت، بکارگیری روش‌های حل احتمالی، تصادفی و فازی را در مدل‌های زمانبندی گسترش داده است. در این مقاله، زمانبندی تولید کار کارگاهی در شرایطی که انجام عملیات‌ها دارای زمان‌های احتمالی هستند، مورد بررسی قرار گرفته است. یک مدل ریاضی به همراه رویه حل آن، برای تعیین زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی با هدف از بین بردن این نقاط ضعف و درنظر گرفتن شرایط تولیدی بصورت احتمالی و همچنین کاهش هزینه‌های چندگانه تولیدی ارایه شده است. برای بدست آوردن یک جواب مناسب در یک زمان توجیه‌پذیر، یک رویه حل تلفیقی بر اساس مدل شبکه عصبی به منظور ایجاد جواب موجه اولیه و الگوریتم Annealing Simulatedبه منظور بهبود

۱- این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشجو آقای بیژن شجاعی برجوئی در رشته مدیریت صنعتی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه می باشد.
۲- (نویسنده مسئول) sheibat@yahoo.com

عملکرد و کیفیت جواب اولیه و ایجاد جواب بهینه/ نزدیک به بهینه ارایه شده است. برای ارزیابی این روش، چند مساله زمانبندی تولید کار کارگاهی متفاوت حل شده و جواب‌های بدست آمده با نرم‌افزار لینگو به عنوان حد پایین مقایسه شده است. نتایج محاسباتی دو روش نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی تحت شرایطی است که مقدار پارامترهای ورودی افزایش می‌یابد یا به عبارت دیگر مساله بزرگ می‌باشد. به منظور افزایش انعطاف‌پذیری در کاربرد الگوریتم فوق در شرایط واقعی صنعت، اعداد احتمالی براساس سه توزیع نرمال/ یکنواخت و نمایی از زمان انجام پردازش، به صورت تصادفی تولید می‌شوند. در عین حال مدل فوق توسط نرم‌افزارlingo6 برنامه‌نویسی شده است. در انتها مقایسه نتایج حاصل از حل مثال‌های نمونه، بهبودهای موثری را در جواب‌های بدست آمده از روش ابتکاری نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: زمانبندی کارگاهی، الگوریتم شبیه سازی تبرید، شبکه عصبی.

مقدمه

تحقیق حاضر به توسعه الگوریتمی تلفیقی کارا برای حل مسائل زمانبندی کار کارگاهی[1] در شرایط عدم قطعیت[2] می‌پردازد. این عدم قطعیت در زمان پردازش کارها مدنظر می‌باشد. مساله زمانبندی کار کارگاهی عبارت است از یافتن توالی بهینه انجام عملیات‌های کارهای مختلف و مرتبط با هر ماشین بر روی آن ماشین. این مساله معمولا با هدف کمینه‌کردن طول برنامه زمانبندی[3] مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مطالعه حل مساله زمانبندی کار کارگاهی با درنظر گرفتن دو معیار و درواقع به صورت یک زمانبندی دو معیاره مورد بررسی قرار گرفته‌است. دو معیار شامل حداقل کردن زمان شناوری انجام عملیات و نیز حداقل‌کردن هزینه عملیاتی حاصل از کارکرد ماشین و هزینه ایجاد شده از بیکار بودن ماشین می‌باشد. فرضیات مربوط به غیرقطعی بودن پارامتر زمان انجام فرایند و همچنین دومعیاره بودن تابع هدف به دلیل افزایش قابلیت کاربرد مساله در صنعت و افزایش انعطاف‌پذیری مدل در سازگاری با شرایط واقعی، بوده‌است. اگرچه چنین فرضیاتی دشواری حل مسئله زمانبندی تولید کارکارگاهی را افزایش می‌دهد.

از آنجا که مساله زمانبندی کار کارگاهی یک مساله NP-Hard است و جزء سخت‌ترین و مطرح‌ترین مسایل بهینه‌سازی ترکیبی می‌باشد، حل این مساله در حالت غیرقطعی نیز یک مسئله NP-Hard می‌باشد. به سبب پیچیدگی ذاتی مسائل بهینه‌سازی ترکیبی و بخصوص مساله زمانبندی کار کارگاهی، استفاده از روشهای ابتکاری برای حل چنین مسائلی بهبودهای موثری در تولید جواب‌های قابل قبول، ایجاد کرده است. چراکه این روش ها عملکرد بسیار بهتری نسبت به روش‌های سنتی در حل مسایل بهینه‌سازی ترکیبی از خود نشان داده‌اند.

1. Job Shop Schaduling Problem (JSSP)
2. Stochastic
3. Makespan

یکی از پیچیده‌ترین مباحث مطرح در مقوله زمانبندی، زمانبندی کار کارگاهی می‌باشد. در صنایعی که دارای سیستمهای تولید کارگاهی هستند به دلیل ماهیت پیچیده زمانبندی در این دسته از فرآیندهای تولید، غالبا از روشهای تجربی برای تخصیص کارها به تجهیزات استفاده می‌گردد. در صورتیکه با تعریف مدلهایی که دربرگیرنده اهداف دارای اولویت حداکثر و محدودیتهای بسیار ملموس هستند، می‌توان راندمان فرایندهای تولید را به طور چشمگیری افزایش داد.(ماکویی، ۱۳۸۷)

انطباق هرچه بیشتر با شرایط واقعی در مدل‌های زمانبندی از طریق درنظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مختلف مطرح در این زمینه مانند، زمان پردازش کار، شرایط تقدم و تاخر، زمان‌های تحویل و غیره، امکانپذیر می‌باشد. لذا صنعت در حال رشد کشور نیاز به توجه جامع و علمی در مقوله‌های مختلف دارد که بحث زمانبندی کارگاهی با توجه به ماهیت پیچیده آن، تحقیق و بررسی گسترده‌ای را طلب می‌کند و از جهات مختلف حایز اهمیت است.(فخرزاد، ۱۳۹۱)

شبکه‌های عصبی در گروه آن دسته از سیستم‌های مکانیکی هستند که با پردازش روی داده‌های گذشته کار می‌کنند. تاکنون کاربردهای فراوانی از شبکه‌های عصبی در حل مسائل زمانبندی و سایر زمینه‌ها ارایه شده‌است. ازجمله زمینه‌هایی که کاربرد شبکه‌های عصبی در آن نتایج خوبی را حاصل نموده‌است، زمانبندی کار کارگاهی است. در نگرشهای سنتی برای حل مسائل تولید کار کارگاهی سه نوع نگرش وجود دارد: قوانین اولویت، بهینه سازی ترکیبی و آنالیز محدودیت‌ها . اخیرا مسائل تعیین زمانبندی بر اساس هوش مصنوعی ارایه شده‌اند. فکر بکارگیری شبکه‌های عصبی برای حل مسایل بهینه‌سازی اولین بار توسط هپفیلد[1] مطرح گردید . شبکه هپفیلد با موفقیت برای مسایل متنوعی بکار گرفته‌شد. محاسبات عصبی، رویکردی است که سعی دارد از روش کار مغز انسان تقلید نماید و مبتنی از عملکرد سلول‌های مغز انسان است. به عبارت دیگر این رویکرد تلاش می‌کند که از روش تصمیم‌گیری انسانی تقلید نماید. از این دیدگاه، شبکه‌های عصبی ارتباط نزدیکی با سیستم‌های هوش مصنوعی دارند و از خانواده سیستم‌های هوشمند محسوب می‌شود.(جولای، ۱۳۹۱)

فو[2] و تاکی فوجی[3] اولین بار یک شبکه عصبی را برای حل مسایل تولید کار کارگاهی بکاربردند. بدنبال آنها چندین معماری شبکه عصبی برای حل مسایل زمانبندی تولید کار کارگاهی ارایه گردید به‌منظور بهبود جواب‌های حاصل از کاربرد شبکه‌های عصبی، از الگوریتم‌های ابتکاری استفاده شده‌است. در این صورت الگوریتم‌های ترکیبی قابلیت ایجاد جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه را خواهند داشت.(کاظمی، ۲۰۱۲)

قدرت بالای شبکه‌های عصبی در تشخیص انواع الگوهای موجود در داده‌ها، توان تقریب توابع پیچیده، پایداری و انعطاف‌پذیری آنها در برابر انحرافات داده‌ها، غیر خطی بودن از جمله ویژگی‌هایی است که شبکه عصبی را از دیگر روش‌ها متمایز کرده و سبب شده که این رویکرد به عنوان یکی از پرکارترین روش‌های زمانبندی تولید کار کارگاهی

1. Hopfield
2. Foo
3. Takefuji

مطرح شود. این مزایا در کنار ضعف روش‌های سنتی در جهت تعیین زمانبندی موجه سبب شده است که این رویکرد به عنوان یکی از روش‌های پیشرو در زمانبندی تولید کار کارگاهی باشد و مزایای بالای آن در مقایسه با روش‌های کلاسیک برتری و ضرورت استفاده از آن را در زمینه زمانبندی روشن می‌سازد.(فریرا، ۲۰۰۹)

موضوع این تحقیق عبارت است از: «ارایه یک مدل ترکیبی از شبکه عصبی و الگوریتم ابتکاریSA برای تعیین زمانبندی تولید کار کارگاهی در حالت احتمالی و ایستا». مساله اصلی در این تحقیق عبارت از « یافتن کاراترین مدل ترکیبی برای تعیین زمانبندی تولید کارگاهی در حالت احتمالی و ایستا».پروژه های نفتی بر اساس تنوع محصولات ارائه شده و مسیرهای مختلف برای توبید محصولات مختلف از جمله مسایل تولید کارگاهی می باشد که با توجه به اینکه بسیاری از زمانهای لازم برای انجام فعالیت های نفتی به صورت تقریبی و متغیر با موقعیت جغرافیایی پروژه دارد، بنابراین بسیاری از فعالیتها به صورت احتمالی تعریف می شوند. برای حل این مسئله با کیفیت مطلوب، جوانب مختلف موضوع و سابقه تحقیق بررسی گردید. این بررسی در دو مرحله اساسی صورت پذیرفت. الف) تحقیق و نهایی نمودن مدل ریاضی به طوریکه کلیه اهداف و محدودیت‌های مساله را پوشش دهد. از جمله تعیین تابع هدف دو معیاره و بررسی وجود همگرایی در ایجاد جواب موجه با درنظر گرفتن دو معیار موردنظر و ب) بررسی نگرش‌های مختلف مانند روش جستجوی ممنوع، الگوریتم ژنتیک، مدل شبکه‌های عصبی و غیره به منظور ایجاد جواب اولیه. در این راستا مشخص گردید که مدل شبکه عصبی با توجه به محدودیت‌ها و شرایط خاص مساله، قابلیت ایجاد جواب موجه را دارا می‌باشد. لذا الگوریتم پیشنهادی از ترکیب مدل شبکه عصبی جهت ایجاد جواب اولیه و SA به منظور بهبود عملکرد جواب اولیه، بدست می‌آید. در این بررسی بطور آشکار مشخص گردید که فرآیند ساخت یک مدل شبکه عصبی، یک فرایند سیستماتیک مشخص نیست .بلکه یک فرآیند سعی و خطاست و در این فرآیند، کیفیت کار انجام شده و مدل تهیه شده، به میزان زمان در دسترس برای انجام تعداد آزمایش‌های بیشتر و حوصله محقق برای انجام این آزمایش‌ها بستگی دارد. هرچقدر آزمایش‌ها کاملتر انجام شود شانس دسترسی به مدل برتر افزایش خواهد یافت. مساله دومی که در پیشرو قرار گرفت، ایجاد سیستمی بود که توانایی انجام آزمایشهای مربوط به فرایند ساخت مدل را به صورت جامع و فراگیر و با صرفه‌جویی در زمان و بلطبع آن هزینه، در اختیار قرار دهد و با امکاناتی که در اختیار می‌گذارد انجام این آزمایش‌ها را سهل‌تر نماید. به همین جهت یکی از مسایل دیگر، ایجاد و بکارگیری الگوریتم‌های ابتکاری در رابطه با مدل برای حصول جواب‌های بهینه و یا نزدیک به بهینه می‌باشد. تعیین توالی و زمانبندی تولید در سیستمهای تولیدی کار کارگاهی در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. پارامتر زمان انجام فرآیند در هر مرحله از زمانبندی و بر روی هر ماشین به صورت متغیر تصادفی در نظر گرفته شده است که این امر قابلیت سازگاری با شرایط واقعی صنعت امروز را فراهم می‌سازد. سیستم تولید کار کارگاهی با n کار و m ماشین در نظر گرفته می‌شود. هر عملیات مخصوص به یک کار دارای مدت زمان تصادفی با میانگین و واریانس مشخص می‌باشد، در نظر گرفتن این عدم قطعیت در مفروضات مدل، انطباق و سازگاری مدل را با شرایط واقعی محیط تولید، ایجاب می‌نماید. هر کار دارای هزینه‌هایی به شرح زیر می‌باشد:

۱- هزینه عملیاتی ماشین در هنگام انجام پردازش،
۲- هزینه بیکاری تجهیزات به ازای هر واحد زمانی تاخیر در دریافت کار،
۳- در این بررسی زمانبندی بهینه در قالب ۲ معیار مورد تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد:
۳-۱- تصمیم‌گیری بر اساس زمان تحویل برای هر ماشین،
۳-۲- تصمیم‌گیری بر اساس کاهش هزینه‌های مورد نظر.

کارآیی الگوریتم‌های ارایه شده با تعدادی مساله منتخب از ادبیات موضوع، آزمون و تحلیل شده است. این بررسی در حالتی که زمان انجام عملیات بر روی مواد دارای قطعیت نمی‌باشد و از توزیع آماری خاصی (نرمال، نمایی و یکنواخت) پیروی می‌کند، انجام گرفته است.

روی و ساسمن در سال ۱۹٦٤ اولین کسانی بودند که مساله زمانبندی کار کارگاهی را به‌صورت گراف نشان دادند و بالاس در سال ۱۹٦۲ اولین کسی بود که روش شمارشی برمبنای گراف متصل را برای حل این مساله بکاربرد. با این وجود پیش از این نیز کارهایی در زمینه مساله زمانبندی کار کارگاهی انجام شده بود. گیفلر[5] و تامپسون در سال۱۹٦۰ یک قاعده توزیع پیشنهاد کردند، جکسون در سال۱۹۵٦ الگوریتم جریان کاری را به مساله زمانبندی کار کارگاهی تعمیم داد و آکرز[6] و فریدمن[7] در سال ۱۹۹۵ از یک روش جبر بولی برای نشان‌دادن توالی پردازش استفاده‌کردند. با این حال کار مدون برروی مساله زمانبندی کار کارگاهی نخستین بار توسط جانسون در سال ۱۹۵٤ انجام گرفته و اعتقاد بر اینست که وی یکی از پایه‌گذاران تئوری زمانبندی بوده‌است. وی الگوریتم بهینه‌ای برای یک مساله کارگاه جریان با دو ماشین ارایه کرده‌است

با وجود اینکه نمودار گانت ارایه شده توسط گانت در سال ۱۹۱۹، کلارک[1] در سال ۱۹۲۲ و پرتر[2] (۱۹٦۸) معروفترین روش حل مساله بود، بلازویچ در سال ۱۹۹٦ نشان داد که استفاده از مدل گراف منفصل که توسط روی و ساسمن، در سال۱۹٦٤مطرح گردید، برای این منظور مناسب‌تر است. وایت و راجرز[3] در سال ۱۹۹۷ این مدل را توسعه داده و محدودیت‌های آن را بیان کردند. چندین روش کارآمد که در زمان چندجمله‌ای قابل حل بودند برای حل مسایل زمانبندی کار کارگاهی با اندازه‌های $m\times 2$ که توسط آکرز، در سال ۱۹۹٦، $n\times 2$ که در آن هر کار بیشتر از دو عملیات ندارد توسط جکسون در سال۱۹۵٦ و $n\times 2$ که در آن تمام عملیات‌ها زمان پردازش واحد دارند، پیشنهاد شده‌است

معروفترین روش دسته‌بندی مسایل زمانبندی، استفاده از چهار نماد *(A/B/C/D)* است که کانوی و همکارانش در سال ۱۹٦۷ ارایه کردند. A تعداد کارها، B تعداد ماشین‌ها، C الگوی جریان در کارگاه و D معیار عملکردی است که زمانبندی توسط آن ارزیابی می‌شود. این روش در مورد مسایل پایه مناسب بود ولی مسایل غیرپایه (شامل

1. Giffler
2. Akers
3. Friedman
4. Clark
5. Porter
6. Rogers

پیشدستی، کارهای وابسته و امثال آن) نیاز به دسته‌بندی سه نمادی *(A/B/Y)* داشته‌اند که گراهام در سال ۱۹۷۹ مطرح کرد. A نشان‌دهنده الگوی جریان و تعداد ماشین‌ها، B محدودیت‌های موجود در مورد کارها و Y معیار زمانبندی است.

به طور کلی یکی از مهمترین دوره‌ها در زمینه تحقیق در عملیات و علم مدیریت دهه ۱۹۵۰ بود. در خلال این دهه بسیاری از مسایل توسط روش‌های ابتکاری کارآمدی حل شدند که پایه گسترش تئوری زمانبندی کلاسیک را تشکیل می‌دادند. در طول دهه ۱۹٦۰ توجهات به یافتن جواب‌های دقیق توسط الگوریتم‌های شمارش معطوف گردید. با وجود اینکه این روش‌ها از نظر تئوریک ارزش زیادی داشتند (تحقیقات رینوی کان در سال۱۹۷٦)، ولی نتایج بدست‌آمده در بسیاری از روش‌های شمارشی مایوس‌کننده بود. اغلب این روش‌ها قادر به دستیابی به جواب‌های موجه برای بسیاری از مسایل نبوده و در نتیجه در عمل ارزش چندانی نداشتند. نهایتا این روش‌ها فقط برای بدست‌آوردن حد پایین در مسایل بکارگرفته شده‌اند. مهمترین این روش‌های شمارشی، روش انشعاب و تحدید است که به‌وسیله لاولر در سال ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. در این روش توسط یک درخت فضای جواب تمام زمانبندی‌های موجه را نشان داده و جستجو می‌کند. در این روش با استفاده از یکسری قواعد، بخش عمده‌ای از درخت حذف می‌شود. علی رغم مناسب‌بودن روش انشعاب و تحدید برای مسایل با اندازهn کمتر از ۲۵۰، مشکلات محاسباتی مانع از بکارگیری آن در مسایلی با اندازه بزرگ است. گذشته از این، عملکرد آن بسیار وابسته به نوع مثال و مقادیر اولیه حد پایین است. تحقیقات فعلی بر بهبود روش‌های انشعاب و تحدید و بکارگیری قواعد حذف مناسب‌تری برای کاهش تعداد گره‌های مورد بررسی در مراحل اولیه این روش متمرکز شده‌اند

در دهه ۱۹۷۰ تا اواسط دهه ۱۹۸۰ بررسی پیچیدگی مسایل زمانبندی نیز مورد توجه قرار گرفت. تحقیقات متعددی از زمان بررسی کوک[1] در سال ۱۹۷۱ تا بررسی انجام شده توسط لاولر در سال ۱۹۸۲ نشان‌دادند که تنها مثال‌های محدودی از مساله زمانبندی کار کارگاهی در زمان چند جمله‌ای قابل حل هستند. پارکر[2] در سال ۱۹۹۵ از دوره قبل از ۱۹۷۰ به عنوان دوره پیش از پیچیدگی یاد کرده‌است. تحقیقات انجام‌شده پس از این دوره نشان داد که بسیاری از مثال‌هایی که در دهه ۱۹۵۰حل شدند در صورت تعمیم جزو مسادل NP-Hard هستند. گری[3] و جانسون در سال ۱۹۷۹، ۳۲۰ مساله NP-Hard را گردآوری کردند. به علت محدودیت‌های موجود درروش‌های شمارشی، روش‌های تقریبی جایگزین آنها شدند. اولین الگوریتم‌های تقریبی، توابع توزیع اولویت بودند. این روش‌ها به هر یک از عملیات در دسترس برای زمانبندی، یک اولویت تخصیص داده و سپس عملیات با بیشترین اولویت را انتخاب می‌کنند. بکارگیری آنها بسیار ساده بوده و به محاسبات کمی نیاز دارند. تحقیقات انجام‌شده در این زمینه توسط فیشر و تامپسون در سال ۱۹٦۳، پنوالکر[4] و ایسکندر[5]در سال ۱۹۷۷ و لارنس[6] در سال ۱۹۸٤ نشان داده‌است که بهترین

1. Cook
2. Parker
3. Garey
4. Panwalker
5. Iskander
6. Lawrence

روش‌ها آنهایی هستند که شامل ترکیب خطی یا تصادفی چند قاعده توزیع اولویت هستند. در دو روش جدید از منطق فازی که در سال ۱۹۹٤ توسط گرابوت[۳] و جنست[٤] انجام گرفت و نیز جستجوی موضعی ژنتیک که توسط دورندورف[٥] و پچ[٦] در سال ۱۹۹۵ صورت پذیرفت، برای این منظوراستفاده شد

در اواخر دهه ۱۹۸۰ شناخت کامل پیچیدگی این مساله منجر به صرفنظر کردن از تاکید بر ایجاد روش‌های بهینه‌سازی شد. در عین‌حال توجهات به حل آن توسط روش‌های تقریبی معطوف گردید. با این وجود به علت ضعف‌های موجود در قواعد توزیع اولویت، گرایش‌های بیشتری به روش‌های مناسب‌تر به وجود آمد. تحقیق در این زمینه برای اولین بار توسط فیشر و رینوی‌کان[۷] در سال ۱۹۹۸ انجام شد که بر ویژگی‌های ایجاد روش‌های هیوریستیک طراحی، تجزیه و تحلیل و بکارگیری تاکید کردند. بررسی انجام شده توسط رودامر[۸] و وایت در سال ۱۹۸۸ نشان‌داد که انعطاف‌پذیری و توانایی این روش‌ها از روش‌های بهینه‌سازی بیشتر است. پس از آن در دوره کوتاهی از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۱ پیشرفت چشمگیری در تحقیقات در این زمینه بوجود آمد و الگوریتم‌های بسیاری ایجاد شدند. گلاور[۹] و گرینبرگ[۱۰] در سال ۱۹۸۹ ضرورت بکارگیری استراتژی‌های هیورستیک را که از پدیده‌های طبیعی و حل مساله خبره الهام می‌گیرند، برای حل مسایل مشکل ار قبیل مساله زمانبندی کار کارگاهی نشان‌دادند. با وجود اینکه در خلال این سال‌ها تحقیقات بیشتر در زمینه روش‌های تقریبی صورت می‌پذیرفت، برخی روش‌های بهینه‌سازی نیز با اعمال اصول بدست‌آمده از هیورستیک‌های جدید بوجود آمدند. به‌عنوان مثال کارلیر و پینسون در سال ۱۹۸۹ با استفاده از یک روش انشعاب و تحدید جواب بهینه مساله نمونه *FT10* (فیشر و تامپسون، سال ۱۹٦۳) را که ۲۵ سال بدون جواب مانده‌بود، بدست آوردند. حتی مساله بزرگتر از این مساله نیز با روش‌های دیگر انشعاب و تحدید حل شدند. پیش از سال ۱۹۸۸ تنها روش حل مسایل با بیش از ۱۰۰ عملیات، قواعد توزیع اولویت بود که توسط لارنس در سال ۱۹۸٤ طرح گردید(هرمان، ۲۰۰۵)

استفاده از شبکه‌های عصبی توسط فو و تاکفوجی [۱]. در سال ۱۹۸۸، ژو[۱] و همکاران در سال ۱۹۹۰ برای مسایل NP-Hard با اندازه ۲۰×۲۰ به سرعت جواب ایجاد می‌کرد. در سال ۱۹۸۷ فاکس و در سال ۱۹۹۱ ساده[۲] حل مسایل صنعتی با استفاده از روش‌های برآورده‌ساختن محدودیت را بررسی کردند. مثال‌هایی از الگوریتم‌های جدید که در فاصله زمانی اواخر ۱۹۸۰ و اوایل ۱۹۹۰ ایجاد شدند شامل: بهینه‌سازی گام بزرگ که توسط مارتین[۳] در سال ۱۹۸۹ ارایه گردید، جستجوی ممنوع در سال ۱۹۹۰ توسط گلاور و تیلارد[٤] در سال ۱۹۸۹ مطرح شد، شبیه‌سازی عملیات

1. Grabot
2. Geneste
3. Dorndorf
4. Pesch
4. Rinnooy Kan
5. Rodammer
6. Glover
7. Greenburg
8. Joo
9. Sadeh
10. Martin
11. Taillard

حرارتی که توسط ماتسائو[۵] و همکاران در سال ۱۹۸۸، ون لارهوون[۶] در سال ۱۹۸۸، آرتز[۷] در سال ۱۹۹۱ تحت بررسی قرار گرفت، الگوریتم‌های ژنتیک که توسط فالکناور[۸] و بافویکس[۹] در سال ۱۹۹۱، ناکانو[۱۰] و یامادا[۱۱] در سال ۱۹۹۱، روش جستجوی موضعی ژنتیک توسط موسکاتو[۱۲] در سال ۱۹۸۹ و آرتز و همکاران در سال ۱۹۹۱ مورد بررسی قرار گرفت، می‌باشند. بررسی‌های انجام‌شده توسط ون لارهوون در سال ۱۹۸۸، ماتسائو در سال ۱۹۸۸، که از تحقیقات بالاس در سال ۱۹۶۹ و گرابوسکی[۱۳] در سال ۱۹۸۸ نشات گرفته بودند، اساس ساختارهای همسایگی حل مساله زمانبندی کار کارگاهی را بنا نهاد که از روش‌های جستجوی موضعی که خود مبنای جایگشت عملیات بحرانی بودند، استفاده می‌کردند (دوگانیس، ۲۰۰۷)

روش انتقال گلوگاه که تاثیر بسیار مهمی بر روش‌های تقریبی داشت و اولین روش ابتکاری برای حل مساله FT10 در سال ۱۹۸۸ توسط آدامز و همکاران طرح و بررسی گردید. مراحل ایجاد جواب در این روش شامل شناسایی زیر مساله، انتخاب گلوگاه، حل زیر مساله و بهینه‌سازی مجدد زمانبندی است که توسط دمیرکول[۱] در سال ۱۹۹۷ مطرح گردید. تجزیه و تحلیل محاسباتی این روش توسط هولتسکلاو[۲] و اوزوی[۳] در سال ۱۹۹۶ و دمیرکول در سال ۱۹۹۷ انجام شده‌است. این روش در بسیاری از بررسی‌های دیگر توسط محققانی مانند کاسئو[۴] و لابورته[۵] در سال ۱۹۹۵، یامادا و ناکانو در سال ۱۹۹۶، وائسنز[۶] در سال ۱۹۹۶، بالاس و وازاکوپولوس[۷] در سال ۱۹۹۸، برای بهبود حدود بالا و پایین چندین مساله مشکل بکارگرفته‌شد.

روش‌های برآورده‌کردن محدودیت مثال‌هایی از روش‌های تقریبی تکراری بودند که بسیاری از قواعد و استراتژی‌های بکارگرفته شده در الگوریتم‌های انشعاب و تحدید را بکار می‌بردند. هدف این روش‌ها کاهش فضای جستجو با استفاده از یک سری محدودیت‌هاست که ترتیب انتخاب عملیات‌ها را محدود می‌کنند. جواب‌های بدست آمده از این روش‌ها معمولا ضعیف بودند. کاسئو و لابورته در سال ۱۹۹۵، پچ و تتزلاف[۸] در سال ۱۹۹۶ و نایجتن[۹] و لیپپ[۱۰] در سال ۱۹۹۸ از جمله محققانی بودند که بررسی‌هایی در این زمینه انجام دادند.

---

1 Matsuo
2 Van Laarhooven
3 Aarts et al.
4 Falkenauer
5 Bouffouix
6 Nakano
7 Yamada
8 Moscato
9 Grabowski
10 Demirkol
11 Holtsclaw
12 Uzsoy
13 Causeau
14 Laburthe
15 Vaessens
16 Vazacopoulos
17 Tetzlaff
18 Nuijten
19 Le Pape

روش‌های فضای مساله از دیگر روش‌های تکراری است که جواب‌های آغازین متعددی تولید کرده و آنها را با جستجوی موضعی بهبود می‌دهند. این روش‌ها شامل جستجو بر مبنای فضای ابتکاری[11] در مساله مورد بررسی توسط استور در سال ۱۹۹۵ و روش جستجوی توافقی تصادفی حریص[12] است که در سال ۱۹۹۷ توسط رسنده[1] مورد بررسی قرار گرفت. رایج‌ترین روش تکراری، الگوریتم‌های آستانه‌ای[2] هستند که اگر تفاوت بین هزینه جواب فعلی و یک همسایه آن زیر یک حد آستانه باشد، ترتیب جدید را انتخاب می‌کنند. این گروه از الگوریتم‌ها شامل بهبود تکراری[3]، شبیه‌سازی عملیات حرارتی و پذیرش آستانه[4] می‌باشد. شبیه‌سازی عملیات حرارتی مهمترین روش موجود در این دسته بوده و به‌طور گسترده‌ای برای حل مسایل زمانبندی کار کارگاهی بکارگرفته شده‌است. با این حال این روش قادر به بدست‌آوردن جواب‌های خوب با سرعت زیاد نمی‌باشد. به همین دلیل برای بهبود جواب‌ها و کاهش زمان لازم برای محاسبه معمولا این روش را با روش‌های دیگر ترکیب می‌کنند. در سال ۱۹۹۶ ترکیب این روش با همسایگی‌های بحرانی[5] و تولید زمانبندی فعال[6]، توسط یامادا و ناکانو مورد بررسی قرار کرفت. در سال ۱۹۹۸ نیز کولونکو[7] با ترکیب این روش با الگوریتم‌های ژنتیک، این روش را از نظر کیفیت جواب‌های بدست آمده بسیار کارآمد ساخته است

گرفنستت[8] در سال ۱۹۸۷، موتوسکاتو در سال ۱۹۸۹ و آلدر[9] در سال ۱۹۹۱، روش جستجوی موضعی ژنتیک را به دلیل وجود برخی نقایص در حل مساله زمانبندی کار کارگاهی توسط الگوریتم‌های ژنتیک از جمله عدم همگرایی آنها به یک جواب بهینه، مورد بررسی قرار دادند. که روش جستجوی موضعی ژنتیک[10] نیز نامیده‌می‌شود. متفیلد[11] در سال ۱۹۹۶ و یامادا و ناکانو مشکلات موجود در الگوریتم‌های ژنتیک قبلی را برطرف کردند[٤]. در سال ۱۹۸۹ روش جستجوی ممنوع توسط گلاور پیشنهاد گردید که یک روش تقریبی تکراری است که جستجو را از جواب‌هایی که منجر به رسیدن به جواب‌های تکراری می‌شوند، منحرف می‌سازد. روش ارایه شده توسط ناویکی[12] اسمتنیکی[13] در سال ۱۹۹۶ یکی از قدرتمندترین روش‌های جستجوی ممنوع است که به سرعت جواب‌های مناسب تولید می‌کند. هرچند میزان موفقیت بدست آمده در حل مساله زمانبندی کار کارگاهی علیرغم بررسی فراگیر محققان، پیشرفت تکنولوژی، اشراف کامل به پیچیدگی این مساله تا کنون محدود بوده‌است، دستیابی به پاسخی برای حل این مساله چندان دور از دسترس به نظر نمی‌رسد

1 Heuristic space based search
2 Greedy random adaptive search procedure
3 Resende
4 Threshold Algorithms
5 Iterative Improvement
6 Treshold Acceptance
7 Critical Neighbourhoods
8 Active schedule generation
9 Kolonko
10 Grefenstette
11 Ulder
12 Genetic Local Search (GLS)
13 Mattfeld
14 Nowicki
15 Smutnicki

حل مساله زمانبندی تولید کار کارگاهی از طریق کاربرد شبکه‌های عصبی[1] اولین‌بار توسط وانگ[2] و بران[3] در سال ۱۹۹۵ مطرح گردید و جین[4] و میران[5] در سال ۱۹۹۸ و وانگ و بران در سال ۲۰۰۱ کاربرد این روش را برای بدست‌آوردن جواب نزدیک به بهینه بهبود بخشیدند. در این راستا در سال‌های ۱۹۹۱ الی ۱۹۹۸ شبکه‌های هوپفیلد[6] مورد توجه محققانی از جمله ون‌هال، زوو، باوارینگارگان[7]، فوو، ویلمز[8]، ساتاک[9] و تاکفوجی قرار گرفت. روش های انتشار معکوس خطا[10] نیز توسط داگلی[11] در سال ۱۹۹۱ و واتانابه[12] در سال ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. کیوین و سوییني[13] **۲۰۱۹** به ارزیابی اولویت ها در یک مسئله کارگاهی پرداختند در این مقاله تحقیقات مربوط به ارزیابی قوانین اولویت در یک مسئله توبید کارگاهی کاملاً واکنشی با آزمایش عملکرد هشت قانون منتخب در یک مدل شبیه سازی گسترش یافته است: سیستم حمل و نقل ناوبری داخلی رودخانه می سی سی پی (UMR .UMR) بسیاری از پیچیدگی های دنیای واقعی مانند زمان پردازش کار تصادفی وابسته به توالی و متغیرهای فصلی، سرورهای خازنی و بدون خازن و مشاغل ناهمگن با ورودهای تصادفی متفاوت متمایز به فصلی را دارد که می تواند مانع از استفاده از سیستم شود. در پاسخ به سطح ضعیف خدمات پیش بینی شده با استفاده از دو معیار مرتبط اما متفاوت، میانگین زمان جریان و مقدار کل فعالیت های پردازش شده، نتایج نشان می دهد که قوانینی که اطلاعات سیستمی بیشتری را در خود جای می دهند، معمولاً با افزایش عملکرد بهتری همراه هستند .

سمر قندی حامد **۲۰۱۹** حل مسئله برنامه ریزی زمانبندی تولید کارگاهی بدون انتظار با محدودیت های موعد مقرر در این مقاله به مسئله برنامه ریزی تولید کارگاهی با شرط اضافی پرداخته شده است که هیچ زمان انتظار بین عملیات مجاز نیست. علاوه بر این، فعالیتها باید به طور کامل توسط تاریخ مقرر مربوطه پردازش شوند. هدف این است که حداقل قدرت را ایجاد کنیم. مشکل به شدت NP-Hard است. در این مقاله مشکل ذکر شده به یک مسئله برنامه ریزی دیگر تبدیل شده و مدل های ریاضی را برای هر دو پیشنهاد می کند. مدلهای ریاضی پیشنهادی برای مسئله تبدیل شده عملکرد بهتری را در مقایسه با مدلهای تهیه شده برای مشکل اصلی نشان می دهد. یک الگوریتم ژنتیکی برای مقابله با نمونه های بزرگتر از مشکلات اصلی و اصلی تبدیل شده است. شواهدی که از نتایج محاسباتی جمع آوری شده تأیید می کند که GA پیشنهادی عملکرد بهتری در استفاده از مشکل تغییر یافته دارد.

زمانبندی کار کارگاهی در شرایط احتمالی

1 Neural Networks
2 Wang
3 Brown
4 Jain
5 Meeran
6 Hopefeild Network
7 Bvaringaran
8 Wiliams
9 Satake
10 Via Spread Error
11 Dagli
12 Watanabe
13 Keivin & sweeny

مرور ادبیات موضوع زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی در این تحقیق تنها در حالت احتمالی و ایستا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در طی سه دهه گذشته مطالب و کتب بسیاری در خصوص زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی به چاپ رسیده‌اند، اما تنها تعداد بسیار کمی از آنها به مقوله احتمالی بودن پارامترهای تولیدی پرداخته‌اند. شرایط احتمالی برای مساله زمانبندی کار کارگاهی می‌تواند در قالب یک یا چند حالت زیر مطرح شود:

- احتمالی بودن محدودیت‌های پیشنیازی و تقدم/ تاخر،
- تصادفی بودن متغیرهای زمان انجام کارها،
- احتمالی بودن محدودیت‌های منابع و توالی،

از محدود کارهای انجام گرفته در این رابطه می‌توان به کار گینزبرگ[1] و گونیکدر[2] اشاره کرد. در سال ۲۰۰۲ تحقیقی بر مساله تولید کار کارگاهی با درنظرگرفتن زمان پردازش احتمالی در قالب سه توزیع نرمال، نمایی و یکنواخت، صورت گرفت. در مساله تخصیص n کار به m ماشین سه دسته هزینه مدنظر بوده است. ۱) هزینه جریمه که به ازای تاخیر هر کار به صورت یکجا پرداخت می‌شود. ۲) هزینه تاخیر به ازای هر واحد زمانی و ۳) هزینه انبارداری که در حالت زودکرد یا تحویل زودتر از موعد تحویل که به ازای هر واحد زودکرد پرداخت می‌شود. مساله تعیین زودترین زمان شروع انجام کار به منظور حداقل کردن متوسط هزینه نگهداری موجودی و هزینه تاخیر از موعد تحویل می‌باشد. در مدل ارایه شده ۳ مفهوم اساسی در نظر گرفته شده است: ۱) در هر لحظه از زمان یک انتخاب بر اساس مقایسه بین دو کار در تخصیص به یک ماشین بر اساس روش ابتکاری با اهداف هزینه، صورت می‌پذیرد. ۲) یک مدل شبیه‌سازی شده از مساله تولید کارگاهی و ترکیب آن با قانون تصمیم‌گیری مطرح، ارایه گردیده است. ۳) بهینه‌سازی بر اساس شبیه‌سازی انجام گرفته و متغیر تصمیم‌گیری زودترین زمان شروع کار می‌باشد. مثال عددی در شبیه‌سازی انجام شده، قانون تصمیم‌گیری را روشن‌کرده‌است و مدل بهینه از طریق تکرار شبیه‌سازی، معتبر گردیده است.

یانگ و وانگ شبکه عصبی بر آورده نمودن محدودیت‌ها[3] (CSANN) را همراه با چندین الگوریتم ابتکاری برای حل مساله عمومی زمانبندی کارگاهی، مورد بررسی قرار دادند. در شبکه عصبی پیشنهاد شده، قابلیت تنظیم وزن‌ها و بایاس‌ها در طول زمان پردازش بر مبنای محدودیت‌های توالی و منابع امکان‌پذیر می‌باشد. ترکیب الگوریتم‌های ابتکاری با شبکه عصبی امکان بهبود کیفیت و عملکرد جواب موجه حاصل از مدل شبکه عصبی را ایجاد می‌نماید. در این تحقیق شبیه‌سازی بر مبنای چهار مساله انجام گرفت و از طریق نتایج شبیه‌سازی مشخص‌گردید که شبکه عصبی پیشنهادی و نگرش‌های ترکیبی با توجه به جواب‌ها و سرعت حل کارا هستند. نکته اساسی در این مقاله، بهبود کیفیت جواب نهایی از طریق ترکیب مدل شبکه عصبی با الگوریتم‌های ابتکاری عنوان گردیده‌است که همواره منجر به ایجاد زمانبندی مناسب (جواب‌های بهینه/ نزدیک به بهینه) می‌شود.

1 Ginzburg
2 Gonik
3 Constraint satisfaction adaptive neural network

در طول دهه‌های قبل الگوریتم‌های بسیاری برای حل مساله تولید کار کارگاهی سنتی ارایه گردیده است (بلازویچ[1] ۱۹۹۶، بروکر[2] در سال ۱۹۹۵، پیندو[3] در سال ۱۹۹۵). تمرکز الگوریتم‌های مطرح در این دوران بر مسایل $J\|C_{\max}$ با محدودیت‌های قطعی برای کارها بوده‌است. درحالیکه وجود زمان‌های پردازش تصادفی برای اینگونه مسایل کمتر مورد بررسی قرارگرفته‌است. همچنین زمانیکه مسایل دارای محدودیتهای تقدم و تاخر احتمالی هستند، ندرتا عنوان گردیده‌است. در این خصوص می‌توان به مطالعات سچنیدر[4] اشاره نمود. این محقق حل مساله تولید کار کارگاهی را در حالتی که محدودیت‌های پیشنیازی دارای عدم قطعیت بودند با استفاده از شبکه گرت[5] و الگوریتم ابتکاری انتقال گلوگاه مورد بررسی قرار داد. روش دوم بکارگرفته‌شده برای ایجاد حل بهینه/ نزدیک به بهینه، روش‌های ابتکاری قوانین اولویت از نوع جیفلر–تامپسون[6] بود. و در نهایت عملکرد این دو الگوریتم ابتکاری از طریق مقایسه نتایج محاسباتی مورد بررسی قرار گرفت.

همچنین تعیین زمان‌های تحویل برای کارها با در نظرگرفتن هزینه‌های تاخیر مورد بررسی قرار گرفت نوآوری این تحقیق بر اساس در نظر گرفتن بارکاری در تعیین موعد تحویل داخلی که برای اولویت‌بندی کارها در کف کارگاه بکارمی‌رود و نیز برای تعیین موعدهای تحویل خارجی که نیاز به تعیین توابع چگالی احتمال زمان جریان دارد، صورت پذیرفته‌است. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، نشان داده شده‌است که درنظرگرفتن بارکاری در تعیین موعد تحویل، هزینه کمتری را نسبت به زمانی ایجاد می‌کند که در تعیین زمان‌های تحویل حجم کاری در نظر گرفته نمی‌شود.

تحقیق مسایل زمانبندی با تمرکز بر روی احتمالی بودن زمان پردازش کار، مقوله‌ای است که اخیرا با توجه به نیاز سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر، مورد توجه قرار گرفته‌است. از اینرو در سال‌های اخیر مسایلی مطرح گردید که بر اساس زمان‌های فرایند احتمالی با هدف‌های مختلف مدل‌سازی صورت پذیرفته است. زودترین زمان شروع کارها به عنوان متغیر تصمیم‌گیری و برآورده‌کردن موعد تحویل و سطوح اطمینان با توابع هدف مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. المغربی[7] مدل برنامه‌ریزی پویا را برای فرایندهای تک/ چند پردازشگر مطرح نمود. و ارتباطاتی را به منظور کاهش حجم محاسباتی پیشنهاد داد.

موهان و لانکا ۲۰۱۹ به مسئله زمانبندی تولید کارگاهی پویا در حالت احتمالی پرداخته است. در این مقاله، توسعه مسئله برنامه ریزی تولید کارگاهی پویا به طور گسترده خلاصه شده است. این برنامه در مورد مفهوم برنامه ریزی تولید پویا، رویدادهای پویا، شاخص ارزیابی، استراتژی برنامه ریزی پویا، روش های برنامه ریزی پویا و سیستم برنامه ریزی بحث می کند. روش های برنامه ریزی به دو دسته تقسیم می شوند: روش های دقیق و روش های

1 Blazewicz
2 Brucker
3 Pinedo
4 Schneider
5 Gert
6 Giffler- Thompson
7 El-Maghrebi

تقریبی. خصوصیات هر روش تجزیه و تحلیل می شود. سرانجام، به مشکلاتی که نیاز به تحقیقات بیشتر و جهت گیری های پژوهشی ممکن داشته باشد، اشاره شد.در نهایت نتیجه حاصل شد که روش شبکه عصبی برای حل این مسئله عملکرد بهتری دارد.

مدل ریاضی پیشنهادی در شرایط احتمالی

در این بخش از تحقیق مدلی برای زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی در یک محیط احتمالی و ایستا ارایه می‌شود. به منظور حل مسایل زمانبندی از طریق شبکه عصبی، مدل‌های برنامه‌ریزی صحیح مختلط و خالص برای نشان دادن مسایل زمانبندی تولید کار کارگاهی بکار گرفته شده است [۳۱، ۱۷، ۷، ۵و۳۲]. در این مقاله برای تبدیل محدودیت‌های توالی، محدودیت‌های منابع، موعد شروع پردازش، محدودیت موعد تحویل، محدودیت‌های عدم تداخل زمانی پردازش‌ها و فاصله اطمینان α درصدی برای زمان پردازش عملیات، به نامعادلات خطی صحیح، مدل ریاضی صحیح خالص بکار گرفته شده است. این مدل به راحتی قابلیت تبدیل مسایل زمانبندی کار کارگاهی را به طرح شبکه عصبی دارا می‌باشد.

مفروضات مدل

فرضیات درنظر گرفته شده برای این مدل عبارتند از:

- تعداد مناسبی از ترکیبات محصولی ممکن (سناریو) وجود دارند که می‌توانند اتفاق بیافتند.
- هر ترکیب محصول بوسیله یک مجموعه منحصر به فرد از انواع قطعات معرفی می‌شود.
- زمان عملیات تمامی قطعات روی هر نوع ماشین از توزیع احتمالی خاصی پیروی می‌نماید.
- انواع قطعات (ترکیب عملیات‌ها) در هر دوره معلوم است و به‌صورت تصادفی تعیین می‌گردد.
- قابلیت و ظرفیت هر نوع ماشین در طول زمان ثابت و معلوم است.
- هزینه تاخیر هر نوع قطعه معلوم است.
- زمان تحویل هر نوع قطعه معلوم است.
- هزینه عملیاتی هر نوع ماشین مشخص است.
- هزینه فرصت از دست رفته برای هر ماشین در هر ساعت مشخص است.
- تعداد قطعات، عملیات‌ها و ماشین‌ها طی تمامی دوره‌ها و در طول زمان مشخص و ثابت است.
- محدودیت در تعداد ماشین‌ها باید مشخص بوده و در طول زمان ثابت باقی بماند.
- هر نوع ماشین می‌تواند تنها یک نوع عملیات را انجام دهد و هر عملیات نیز تنها می‌تواند توسط یک ماشین انجام شود.
- زمان های برپایی در نظر گرفته نشده است.
- سفارشات به تاخیرافتاده و برگشتی مجاز نیست.
- زمان شکست برای ماشین‌ها نخواهیم داشت.

- راندمان ماشین‌ها ۱۰۰٪ می‌باشد.
- تمامی ماشین‌ها در ابتدای دوره‌ها برای استفاده در دسترس می‌باشند (زمان نصب ماشین‌ها صفر است.)
- ارزش زمانی پول در نظر گرفته نمی‌شود.
- انعطاف‌پذیری ماشین‌ها در انجام عملیات‌های مختلف در نظر گرفته شده است.

بر اساس فرضیات فوق نمادها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مساله به شرح زیر تعریف می‌شوند:

نمادها و تعاریف

$M = \{1,...,m\}$: مجموعه ماشین‌ها که m تعداد ماشین‌ها می‌باشد.

$P = \{1,...,p\}$: مجموعه قطعات که p تعداد قطعات می‌باشد.

j : نماد عملیات موردنیاز قطعه p $\left(j = 1,2,...,O_p\right)$

پارامترها

Et_{jpm} : میانگین زمان لازم برای پردازش عملیات j قطعه p بروی ماشین m.

Vt_{jpm} : انحراف معیار زمان لازم برای پردازش عملیات j قطعه p بروی ماشین m .

a_{jpm}: ۱ اگر عملیات j قطعه p بروی ماشین m قابل پردازش باشد. . در غیر اینصورت

D_p : زمان تحویل قطعه p.

C_m : هزینه عملیاتی ماشین m برای هر واحد زمانی.

I_m : هزینه بیکاری ماشین m برای هر واحد زمانی.

O_{jpm} : نشان دهنده عملیات jام از قطعه p روی ماشین m می‌باشد.

متغیرهای تصمیم

X_{jpms}: ۱ اگر عملیات j قطعه p به ماشین m و در توالی (نوبت) S تخصیص یابد. . در غیر اینصورت

Y_{jpms} : زمان شروع پردازش عملیات j قطعه p بروی ماشین m در توالی s .

t_{jpm} : زمان بهینه لازم برای پردازش عملیات j قطعه p بروی ماشین m با توجه به فاصله اطمینان α درصدی.

مدل ریاضی

$$Min\ Z=\sum_{m=1}^{M}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op}\left(Y_{j_{max}pms}+X_{j_{max}pms}\times t_{j_{max}pm}-D_p\right)+\sum_{m=1}^{M}C_m\times\left(\sum_{s=}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op}X_{jpms}\times t_{jpm}\right)+\sum_{m=1}^{M}I_m\times\left(\sum_{s=1}^{S-1}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op}MAX\left(Y_{jpm(s+1)}-Y_{jpms}-X_{jpms}\times t_{jpm}\ ,\ 0\right)\right)$$

محدودیت ها :

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}a_{jpm}X_{jpms}=1 \qquad \forall j,p \qquad (۱-۴)$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op}X_{jpms}\le 1 \qquad \forall m,s \qquad (۲-۴)$$

$$Y_{jpms}\le RX_{jpms} \qquad \forall j,p,m,s \qquad (۳-۴)$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\left(Y_{jpms}+X_{jpms}t_{jpm}\right)\le\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\left(Y_{(j+1)pms}\right) \qquad \forall j,p \qquad (۴-۴)$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op}\left(Y_{jpms}+X_{jpms}t_{jpm}\right)\le\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{Op}\left(Y_{jpm(s+1)}\right) \qquad \forall m,s \qquad (۵-۴)$$

$$Et_{jpm}-Z_{\alpha/2}Vt_{jpm}\le t_{jpm}\le Et_{jpm}+Z_{\alpha/2}Vt_{jpm} \qquad \forall j,p,m \qquad (۶-۴)$$

$$X\in[0,1]\ ,\ Y\ge 0\ ,\ R>>0 \qquad (۷-۴)$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تابع هدف رابطه (٤-١) یک معادله عدد صحیح غیرخطی می‌باشد که مجموع میزان انحراف زمان پردازش واقعی از مقدار برنامه‌ریزی شده، هزینه‌های عملیاتی و هزینه فرصت از دست‌رفته ماشین‌ها را در طول افق برنامه‌ریزی حداقل می‌سازد. عبارت اول، مجموع میزان انحراف زمان پردازش واقعی از مقدار برنامه‌ریزی شده را در طول افق برنامه‌ریزی محاسبه می‌نماید. این مجموع برابر است با مجموع زمان شروع پردازش عملیات j قطعه p بروی ماشین m در توالی s و زمان بهینه لازم برای پردازش عملیات j قطعه p بروی ماشین m. با توجه به فاصله اطمینان α درصدی در صورتیکه عملیات j قطعه p به ماشین m در توالی (نوبت) S تخصیص یابد. عبارت دوم، هزینه‌های عملیاتی ماشین‌ها را محاسبه می‌نماید. این هزینه برابر است با مجموع حاصل ضرب تعداد ساعت‌های موردنیاز انواع ماشین‌ها در هزینه عملیاتی متناظر آن ماشین. عبارت سوم، نیز هزینه فرصت از دست رفته ماشین‌ها را محاسبه می‌نماید، به این‌صورت که اگر هیچ قطعه‌ای به یک ماشین اختصاص نیابد. ماشین مربوطه بیکار بماند، در این‌صورت هزینه‌ای تحت عنوان هزینه فرصت از دست‌رفته متناظر این ماشین خواهیم داشت.

محدودیت متناظر با رابطه (٤-٢) تضمین می‌کند که هر عملیات مربوط به هر قطعه بایستی فقط به یک ماشین و یک توالی تخصیص یابد. رابطه (٤-٣) تضمین می‌کند که به هر توالی خاص در هر ماشین حداکثر فقط یک عملیات می‌تواند تخصیص یابد. رابطه (٤-٤) تضمین می‌کند که زمان شروع پردازش مقدار متناهی دارد. رابطه (٤-٥) رعایت توالی عملیات‌های مربوط به هر قطعه را تضمین می‌کند. رابطه (٤-٦) عدم تداخل زمانی پردازش عملیاتهای تخصیص‌یافته به هر ماشین را تضمین می‌کند. رابطه (٤-٧) یک فاصله اطمینان α درصدی برای زمان پردازش عملیات‌ها در نظر می‌گیرد.

روش حل ابتکاری

تعیین زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی از لحاظ محاسباتی پیچیده است و تنها مسایل کوچک را می‌توان با استفاده از رویه‌های حل ارایه شده بصورت بهینه حل کرد. حل مسایل بزرگ به دلیل محدودیت منابع موردنیاز (زمان، حافظه، کامپیوتر و غیره) بصورت بهینه غیرممکن است. در این بخش از پایان‌نامه یک روش حل تلفیقی برای زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی ارایه می‌شود که به‌طور کلی از سه مرحله به شرح زیر تشکیل شده است:

۱- تخصیص تصادفی ماشین‌ها به کارها به دلیل انعطاف‌پذیری ماشین‌ها در پردازش عملیات‌های مختلف.

۲- ایجاد حل اولیه یا جواب شدنی با استفاده از مدل شبکه عصبی.

۳- بهبود کیفیت و عملکرد جواب اولیه بدست‌آمده از مدل شبکه عصبی، توسط الگوریتم آنالینگ شبیه‌سازی‌شده.

تشریح جزییات مراحل مختلف الگوریتم ابتکاری ارایه شده به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱) تخصیص تصادفی ماشین‌ها به کارها

عملیات‌های معینی از انواع قطعات می‌تواند برروی ماشین‌های متفاوت انجام شود و وجود توانایی پردازش عملیات‌های متفاوت در قطعات، امکان ایجاد زمانبندی تصادفی در زمان صفر را فراهم می‌آورد. حل بدست آمده از تخصیص تصادفی ماشین‌ها به عملیات‌ها، حل ورودی به شبکه عصبی می‌باشد. این جواب برای ایجاد زمانبندی موجه در مرحله بعد استفاده خواهد شد.

مرحله ۲) ایجاد حل اولیه یا جواب شدنی با استفاده از مدل شبکه عصبی

برای حل مساله زمانبندی تولید کارگاهی، مدل ریاضی صحیح ارایه شده تبدیل به طرح شبکه عصبی می‌شود [٤٩]. جهت فرموله کردن مدل تولید کار کارگاهی پیشنهاد شده بصورت یک شبکه عصبی، احتیاج به سه دسته واحدهای محاسباتی (نرون) می‌باشد که به قرار زیر تعریف می‌شوند :

۱- واحدهای مربوط به محدودیت‌های عدم تداخل زمان پردازش عملیات هرقطعه با توجه به توالی عملیاتی ارایه شده برای آن (واحدهای SC).

۲- واحدهای مربوط به محدودیت‌های عدم تداخل زمان پردازش عملیات تخصیص‌یافته به هر ماشین (واحدهای RC).

۳- واحدهای مربوط به شروع زمان پردازش عملیات (واحدهای ST). خروجی این واحدها در نهایت به عنوان خروجی یک حل‌شدنی تلقی می‌گردد. واحدهای ST از هر دو واحدهای (مرتبط) SC و RC ورودی دریافت‌کرده و به هر دوی آنها خروجی ارسال می‌کند. همچنین واحدهای ST دارای بازخورد نیز می‌باشند .

فعال‌شدن دسته شبکه‌های RC و SC از طریق مقداردهی اولیه بر اساس مرجع [٤٩] انجام می‌پذیرد. رویه ایجاد زمانبندی تولید برای انواع عملیات‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۱- تولید یک وضعیت اولیه یا حل شدنی: ابتدا به هر ماشین تعداد LB قطعه نامتشابه بصورت تصادفی تخصیص داده سپس عملیات مربوط به هر قطعه را با توجه به نیاز پردازشی آنها به ماشین‌ها تخصیص می‌دهد. به دلیل قابلیت

انعطاف‌پذیری ماشین‌ها در انجام عملیات مربوط به هر قطعه، ماشین‌ها به صورت تصادفی به هر عملیات اختصاص می‌یابند. در اینصورت یک حل شدنی و اولیه $S_{ikp}(0)$ برای هر عملیات O_{ikp} که $(i \in N, k \in \{1,...,n_i\})$ ایجاد می‌شود که می‌تواند به عنوان ورودی خالص $I_{ST_{ikp}}$ هر واحد ST در نظر گرفته شود.

۲- هر واحد SC، SC_{ikl}، از دسته شبکه SC فعال می‌شود و تبدیل $A_{SC_{ikl}}(t)$ را از طریق معادلات مربوطه محاسبه می‌نماید. در صورتیکه $A_{SC_{ikl}}(t) \neq 0$، بدین معناست که محدودیت‌های مربوط به توالی عملیات‌ها برآورده نشده است. در این حالت تبدیلات از طریق فعال‌شدن بازخوردهای مربوطه، تنظیم می‌شوند و شرایط برآورده می‌گردند.

۳- هر واحد RC، RC_{qikjl}، از دسته شبکه RC فعال می‌شود و تبدیل $A_{RC_{qikjll}}(t)$ را از طریق معادلات مربوطه محاسبه می‌نماید. در صورتیکه $A_{RC_{qikjll}}(t) \neq 0$، بدین معناست که محدودیت‌های مربوط به منابع برآورده نشده است. در این حالت تبدیلات از طریق فعال‌شدن بازخوردهای $S_{ikq}(t+1), S_{jlq}(t+1)$، تنظیم می‌شوند و شرایط برآورده می‌گردند.

٤- گام‌های ۲ و ۳ آنقدر تکرار می‌شوند تا کلیه واحدها در وضعیت باثباتی، بدون تغییرات قرارگیرند. این حالت بدین معناست که محدودیت‌های منابع و توالی برآورده شده است و حل موجه بدست آمده است.

۵- حل اولیه بدست آمده از مرحله قبل، به‌عنوان حل اولیه به الگوریتم ابتکاری وارد می‌شود. روش حل در قالب الگوریتم ابتکاری در گام های بعدی دنبال می‌شوند.

در انتهای این مرحله از الگوریتم، زمانبندی اولیه موجه را با توجه به محدودیت توالی و محدودیت منابع بدست می‌آید. حال برای تکمیل حل اولیه و ایجاد حل بهینه/ نزدیک به بهینه، نیاز است تا از الگوریتم ابتکاری طبق مرحله ۳ استفاده نماییم.

مرحله ۳) بهبود کیفیت و عملکرد جواب اولیه بدست‌آمده از مدل شبکه عصبی، توسط الگوریتم آنالینگ شبیه‌سازی‌شده.

در این مرحله، از SA برای بهبود زمانبندی اولیه ایجاد شده در مرحله قبل استفاده می‌شود[۳۱]. فرایند بهبود از طریق جابجایی انواع عملیات بصورت دو به دو بین ماشین‌ها انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، حل‌های همسایه از طریق جابجایی قطعات بین ماشین‌ها ایجاد می‌شوند. به این صورت که ابتدا یک عملیات از یک قطعه بطور تصادفی انتخاب شده سپس یک عملیات دیگر از یک قطعه دیگر نیز بطور تصادفی انتخاب می‌شود، سپس این دو عملیات را با هم جابجا می‌گردد. برای استفاده از SA ، ابتدا باید مقادیر پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم SA را مشخص نماییم. دمای اولیه را عددی بین حداکثر تفاوت در هزینه میان حل‌های همسایه و حداقل تفاوت هزینه بین حل‌های همسایه در نظر می‌گیریم. حل‌های همسایه از زمانبندی اولیه (ایجاد شده در مرحله قبل) بدست می‌آیند. نرخ سرمایش ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. تعداد تکرارها (nrep) در هر دما نسبت به دمای دیگر متفاوت است. مقدار اولیه آن برابر ۵ بوده و در هر دما بصورت تصاعد حسابی با قدر نسبت ۵ افزایش می‌یابد. الگوریتم زمانی‌که دمای نهایی به ۰/۰۵ برسد متوقف می‌شود. البته لازم به ذکر است که پکیج تهیه شده برای این منظور، انعطاف لازم جهت

تغییر تمامی این مفروضات را داشته و بدین ترتیب می توان آنالیز حساسیت روی تمامی این پارامترها را نیز به عمل آورد. نمادها و پارامترهای اولیه در الگوریم SA به شرح زیر می‌باشند:

n : تعداد حرکت های پذیرفته شده در هر دما .

r : تعداد انتقالات دما

T_0 : دمای اولیه

T_f: دمای نهایی

$e = AT_{\min}$: مبدا : حداقل وضعیت‌های پذیرفته شده که برای تعیین شرایط تعادل استفاده می‌شود و در واقع یک پارامتر کنترلی برای بررسی اینکه سیستم به تعادل رسیده است یا خیر، می‌باشد.

δ : عدد مثبت کوچک که نرخ سرمایش را کنترل می‌کند.

ε_i : عدد مثبت کوچکی که تعیین می کند آیا سیستم در یک دمای خاص T_r در تعادل است یا خیر.

ε_r : عدد مثبت کوچکی که نقطه انجماد را کنترل می‌کند.

$C_i(T_r)$: هزینه وضعیت (حالت i ام) وقتی دما T_r می‌باشد.

$\overline{C}_e(T_r)$: متوسط مقادیر هدف وضعیت‌های پذیرفته شده در هنگام مبدا در دمای T_r.

$\overline{C}_G(T_r)$: متوسط مقادیر هدف وضعیت‌هایی که تا کنون پذیرفته شده‌اند در دمای T_r.

$\overline{C}(T_r)$: متوسط مقادیر هدف وضعیت‌های پذیرفته شده برای رسیدن به تعادل در دمای T_r.

$V(T_r$ ؛ واریانس مقادیر هدف وضعیت‌های پذیرفته شده برای رسیدن به تعادل در دمای T_r که بصورت رابطه (٤-۲۲) $V(T_r) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(C_i(T_r) - \overline{C}(T_r)\right)^2$ تعریف می‌شود.

قدم‌های الگوریتم SA به شرح زیر می‌باشد:

۱- مقداردهی اولیه شمارنده‌ها به‌صورت $r = 0$ و $n = 0$.

۲- مقداردهی اولیه دما در قالب دمای اولیه T_r .

۳- بکارگیری وضعیت اولیه یا حل شدنی با استفاده از حل حاصل از مرحله دوم.

٤- محاسبه انرژی

$C_i(T_r)$ (مقدار تابع هدف به ازای حل جاری i در دمای T_r) را طبق تابع هدف محاسبه می‌کند.

۵- الگوی پراکندگی – حرکت در فضای شدنی

a) حل شدنی جدید jرا تولید کرده سپس تغییرات مقدار هدف را طبق رابطه

(٤-۲۳) $\Delta C(T_r) = C_j(T_r) - C_i(T_r)$ محاسبه می‌کند.

اگر $\Delta C(T_r) \le 0$، به گام (c)۵ برمی‌گردد.

b) یک متغیر تصادفی (۱ و ۰) $u \rightarrow y$ را انتخاب می‌کند.

اگر $y > e^{\frac{-\Delta C(T_r)}{T_r}}$ سپس به گام (a)۵ بر می‌گردد.

c) حل جدید را قبول می‌کند، زیرا تابع هدف را بهبود بخشیده است.

مقداردهی $n = n + 1$ انجام می‌گردد و اگر $n < e$ به گام (a)۵ بر می‌گردد.

۶- آزمون برای حالت تعادل:

مقداردهی $n = 0$، اگر $\left|\overline{C}_e(T_r) - C_{Ce}(T)_r\right| > \varepsilon 1$ یا اگر سیستم برای مقدار n در دمای جاری ساکن نباشد به گام (a)۵ بر می‌گردد.

۷- آزمون برای حالت انجماد:

a) $\overline{C}(T_r)$ و $V(T_r)$ را محاسبه می‌کند. اگر $r = 0$ به گام (c)۷ می‌رود،

اگر $\frac{V(T)}{T\left(\overline{C}(T_0) - \overline{C}(T)\right)} \le \varepsilon_2$

(b) ۷ : توقف می‌کند زیرا شرایط توقف برآورده شده است .

(c) ۷ : دما را طبق رابطه $T_{r+1} = \frac{T_r}{1 + \frac{\ln(1+\partial)T_r}{3V(T_r)}}$ به هنگام می‌کند.

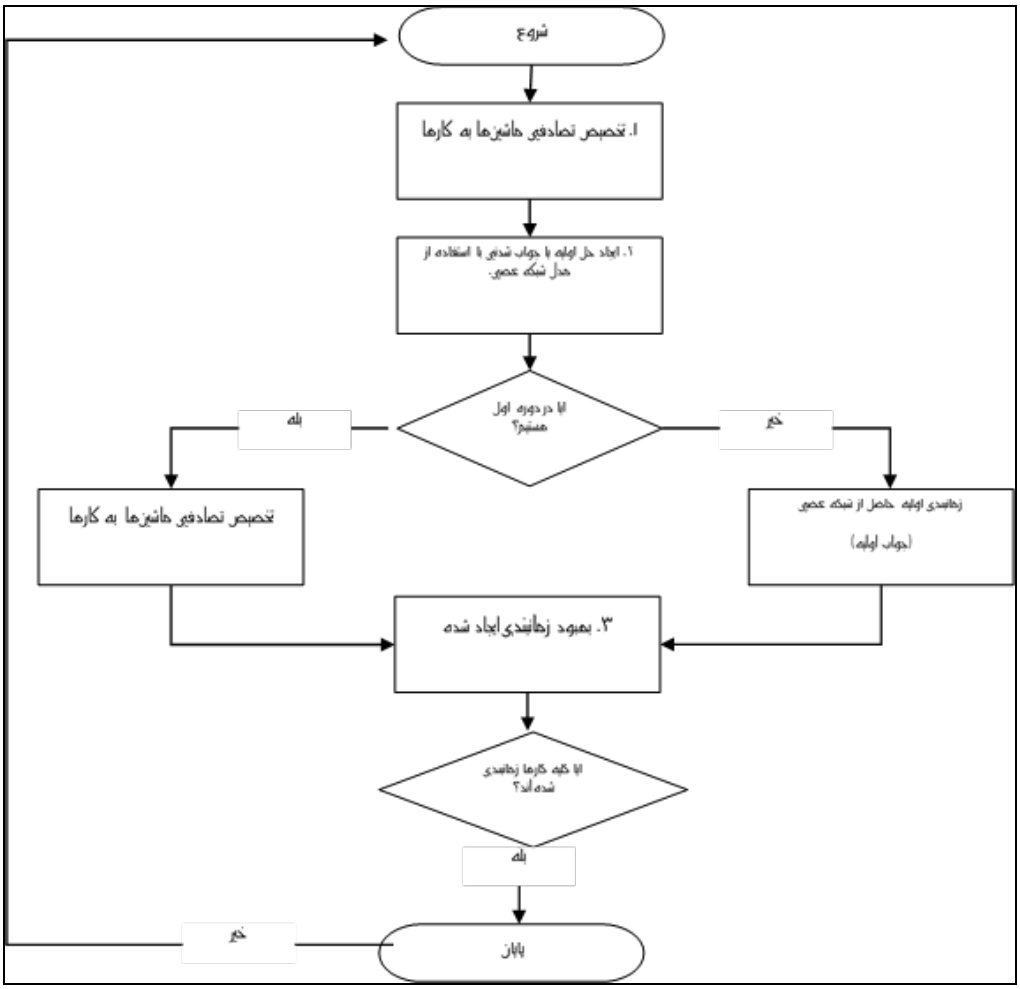
$r = r + 1$ و به گام (a)۷ برمی‌گردد.

فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در شکل (۴-۶) ارایه شده است.

- جمع‌بندی مدل

در این فصل مدل ریاضی پیشنهادی همراه با رویه حل مدل با استفاده از یک الگوریتم تلفیقی کارا ارایه گردید. اعتباردهی مدل از طریق حل مسایل منتخب که شامل ۳ مساله FT نیز می باشد، در فصل پنجم ارایه گردیده است. زمان به عنوان منبعی با ارزش همیشه مورد توجه محققان بوده است. الگوریتم تلفیقی پیشنهاد شده بهبود عملکرد ایجاد جواب بهینه یا نزدیک به بهینه را از نظر زمان رسیدن به حل، بسیار بهبود داده است. این ادعا در فصل بعدی مشهود می‌باشد.

قدم بعدی در این تحقیق عبارتست از ارزیابی نحوه عملکرد الگوریتم ارایه شده، که این ارزیابی با استفاده از یک مطالعه تجربی که داده‌های آن بصورت تصادفی تولید شده‌اند، انجام می‌گیرد. شیوه کار به این صورت است که که این ارزیابی با استفاده از یک مطالعه تجربی که داده‌های آن بصورت تصادفی تولید شده‌اند، انجام می‌گیرد. شیوه کار به این صورت است که حل‌های بدست آمده از روش تلفیقی پیشنهاد شده برای مسایل مختلف زمانبندی کار کارگاهی، با جواب‌های بدست آمده از رویه‌های حل بهینه که از بکارگیری نرم‌افزار لینگو نسخه ۶ بدست آمده است، مقایسه می‌شوند. بدست آوردن جواب بهینه برای یک مساله زمانبندی کار کارگاهی متناسب با پیچیدگی مساله به زمان بسیار زیادی نیاز دارد، بنابراین به جای استفاده از حل بهینه از حد پایین برای مساله استفاده می‌نماییم. محاسبه حد پایین برای مساله با استفاده از نرم‌افزار لینگو ۶ انجام می‌شود.



شکل ۱: فلوچارت الگوریتم تلفیقی

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

طراحی آزمایش

در این بخش به ارزیابی الگوریتم ارایه شده در فصل قبل پرداخته و نحوه عملکرد روش آن تحت شرایط متفاوت بررسی و تعیین می‌گردد. برای این منظور مجموعه‌ای از داده‌ها جهت تهیه مسایل منتخب بصورت تصادفی تولید و حل آنها با استفاده از الگوریتم تلفیقی پیشنهادی انجام می‌گردد.

فاکتورهای سیستم تولیدی

به منظور ایجاد یک سری مسایل منتخب، ابتدا فاکتورهای زمانبندی از میان مجموعه متغیرهای موثر بر ایجاد توالی عملیات، انتخاب می‌گردد. این متغیرها عبارتند از:

۱) انواع قطعات: مجموعه قطعاتی که باید تولید شوند. هر نوع قطعه دارای یک توالی عملیات خاص خود می‌باشد.

۲) انواع ماشین‌ها: مجموعه ماشین‌های مورد نیاز جهت تولید انواع محصولات. هر نوع ماشین می‌تواند بیش از یک نوع عملیات را انجام دهد. (انعطاف‌پذیری تولید به وسیله ماشین‌ها)

۳) توالی عملیات یک قطعه: ترتیب انواع ماشین‌هایی که هر قطعه باید از آنها عبور نماید. (توسط آنها پردازش گردد) در واقع ترتیب و تعداد عملیات موردنیاز جهت تولید هر نوع قطعه توسط ایتن توالی مشخص می‌شود.
٤) زمان عملیات: زمان لازم جهت انجام عملیات قطعه روی یک نوع ماشین خاص که یک متغیر تصادفی می‌باشد.
۵) ظرفیت ماشین: زمان در دسترس هر ماسین برای تولید قطعات.
٦) هزینه عملیاتی ماشین: هزینه استفاده از یک نوع ماشین برای پردازش قطعات در یک واحد زمانی.
۷) هزینه فرصت از دست رفته (بیکاری): هزینه عدم استفاده از ماشین به ازای هر واحد زمانی یا هزینه بیکار ماندن هر ماشین.
۸) هزینه تاخیر: هزینه دیرکرد در اتمام عملیات مربوط به هر قطعه به ازای هر واحد زمانی تاخیر.
۹) موعد تحویل: زمان تحویل مورد نظر برای هر قطعه.

در الگوریتم پیشنهاد شده کلیه این مشخصه‌ها در نظر گرفته شده است. مساله $J_m/recrc/L$ تحت پنج مساله منتخب مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصه‌های مسایل منتخب که فاکتورهای آنها به صورت تصادفی تولید شده‌اند، در جدول (۵-۱) مشخص می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات مسایل آزمایشی منتخب جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهاد شده

آزمایش	تعداد قطعه	تعداد ماشین	تعداد عملیات
۱	۳	۲	۳
۲	۵	۳	۳
۳	٦	٦	٦
٤	۱۰	۱۰	۵
۵	۲۰	۵	۵

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

تعیین مقادیر پارامترهای مسایل

قدم بعدی جهت تولید مسایل منتخب، عبارتست از تعیین مقادیری برای پارامترهای مسایل آزمایشی. جدول ۵-۲ بطور خلاصه نحوه تولید مقادیر پارامترهای مسایل آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.

جدول ۲: خصوصیات مسایل منتخب برای پارامترها

فاکتور مساله زمانبندی	مقدار	توضیحات
حداکثر انعطاف‌پذیری برای هر عملیات	۲	
دامنه زمان پردازش برای هر عملیات	[۱-۱۰]	توزیع یکنواخت
دامنه هزینه بیکاری برای هر ماشین	[۱-۵]	توزیع یکنواخت گسسته
دامنه هزینه عملیاتی برای هر ماشین	[۱۰-۱۵]	توزیع یکنواخت گسسته
دامنه زمان تحویل برای هر قطعه	[۱۰-۵۰]	توزیع یکنواخت
دامنه هزینه تاخیر برای هر قطعه	[۱-۱۰]	توزیع یکنواخت گسسته

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

ایجاد حد پایین

با توجه به پیچیدگی مسایل زمانبندی کار کارگاهی، زمان نسبتا زیادی صرف می‌شود تا حل‌های بهینه بدست آید. بنابراین به جای استفاده از حل بهینه، از حد پایین برای مقایسه استفاده می‌شود. در این تحقیق برای بدست آوردن

حد پایین از نرم‌افزار لینگو نسخه ٦ استفاده شده است. لازم به توضیح است که میزان نزدیکی حل بهینه بدست آمده از الگوریتم تلفیقی به جواب ایجاد شده به عنوان حد پایین، معیار ارزیابی عملکرد الگوریتم تلفیقی نمی‌باشد. بنابراین مقایسه حد پایین با حل بهینه برای نتیجه‌گیری میزان کیفیت عملکرد الگوریتم پیشنهادی قابل استناد نمی‌باشد.

در این قسمت به منظور توضیح بیشتر روش پیشنهادی، حل یک مثال بوسیله الگوریتم ابتکاری همراه با گانت ایجاد شده و مقایسه نتایج آن با حد پایین ارایه شده است. همچنین به مسایل منتخب و حل آنها بوسیله این الگوریتم ابتکاری و مقایسه نتایج آن با حل بدست آمده از نرم‌افزار لینگو نیز در این تحقیق پرداخته شده است.

مساله زمانبندی کار کارگاهی شامل ۳ نوع قطعه، ۲ ماشین و ۳عملیات برای هر عملیات در نظر گرفته شده است. اطلاعات تکمیلی مربوط به داده‌های مثال موردنظر مطابق جداول (۵–۳) الی (۵–۷) ارایه شده است. نتایج حاصل از حل مثال فوق با استفاده از الگوریتم حل پیشنهادی و حد پایین بدست آمده از نرم‌افزار لینگو ٦ در جدول (۵–۷) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳: داده‌های توالی عملیات

	عملیات۱	عملیات ۲	عملیات۳
قطعه۱	۱	۲	۳
قطعه۲	۱	۰	۰
قطعه۳	۲	۳	۱

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

جدول ٤: داده‌های تحویل قطعات

	قطعه۱	قطعه۲	قطعه۳
هزینه تاخیر	۷	۷	۵
زمان تحویل	۳٤	٤٤	۲۰

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

جدول ۵: داده‌های هزینه‌های ماشین

	ماشین۱	ماشین۲
هزینه بیکاری	۵	۳
هزینه عملیاتی	۱۳	۱۱

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

جدول ٦: داده‌های زمان عملیات (Et, Vt)

	قطعه۱			قطعه۲			قطعه۳		
	عملیات ۱	عملیات۲	عملیات۳	عملیات ۱	عملیات۲	عملیات۳	عملیات ۱	عملیات۲	عملیات۳
ماشین ۱	(۳، ٤۱/۳)	(۰، ۰)	(۷، ۲۳/۷)	(۰، ۰)	(۰، ۰)	(۰، ۰)	(۰، ۰)	(۳، ۲٤/۹)	(۰، ۰)
ماشین ۲	(۲، ۲۹/۲)	(۷، ٤۱/۷)	(۲، ۹۸/۲)	(۸، ۱۵/۸)	(۰، ۰)	(۰، ۰)	(٤، ۹۹/٤)	(۸، ۵٤/۸)	(۲، ۵۰/۲)

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

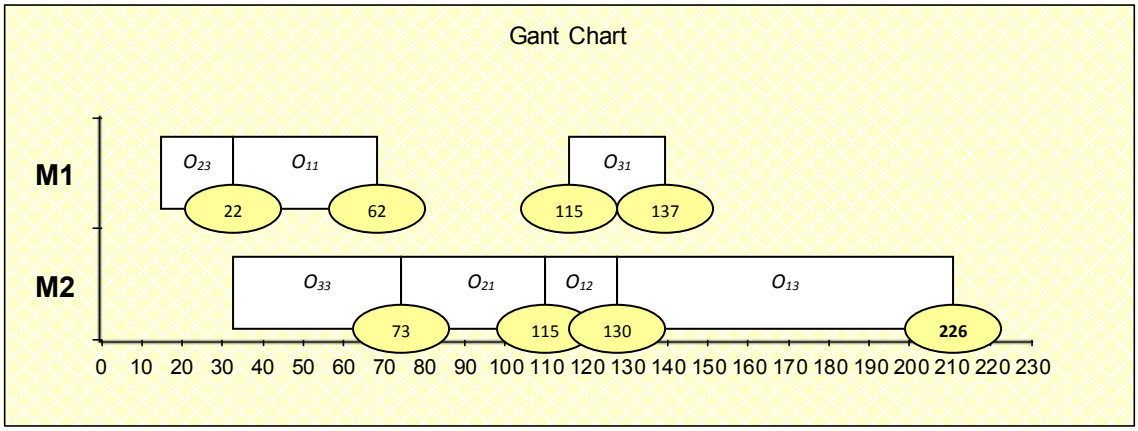
جدول ۷: مقایسه بین نتایج حاصل از حل ابتکاری و لینگو ٦ برای مثال موردنظر

روش حل	تعداد تکرار	مقدار تابع هدف	زمان اجرا (ثانیه)
الگوریتم تلفیقی	٤۲	۳۸۱۱	۷۲۹/٦۳
Lingo 6	۲٤	۲۹۸۸/۳۲	٦۹۵۳
درصد اختلاف نسبت به لینگو٦		٪۲۷/۵۳	٪۸۹/۵

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

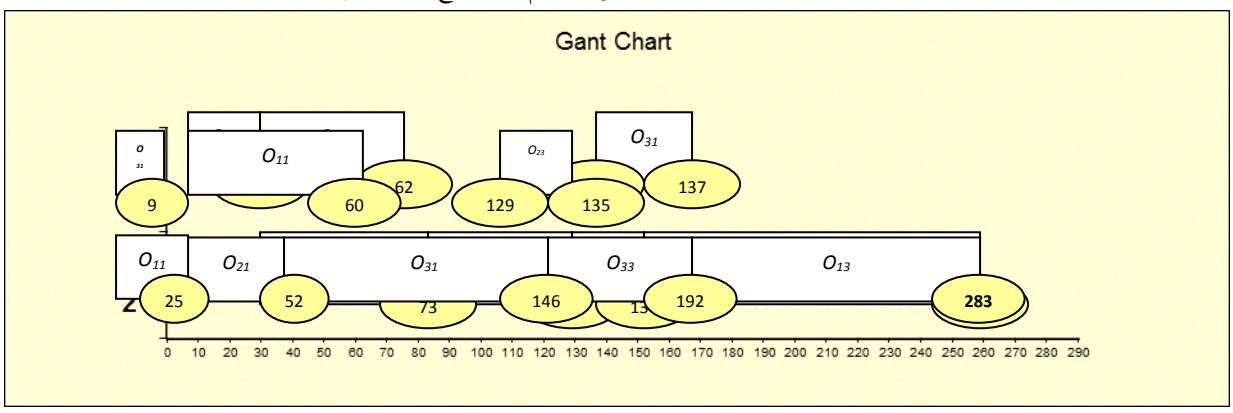
همانطور که درجدول مشاهده می‌شود، درصد اختلاف مقادیر هدف توسط در روش حل نسبت به حل لینگو٦، ۲۷/۵۳٪ می‌باشد. این مقدار با توجه به این امر که حل بدست آمده از لینگو به عنوان حد پایین در نظر گرفته می‌شود، نشان‌دهنده عملکرد مناسب الگوریتم تلفیقی در ایجاد جواب نزدیک به بهینه، می‌باشد. یکی از مهمترین معیارهای ایجاد یک زمانبندی بهینه یا نزدیک به بهینه، میزان زمان مورد نیاز برای تولید جواب می‌باشد. همانطور که از مقایسه زمان موردنیاز برای حل توسط دو روش، مشاهده می‌شود، بکارگیری الگوریتم تلفیقی به اندازه ۸۹/۵٪ نسبت به روش لینگو ٦ در زمان صرفه‌جویی داشته است. این مقدار صرفه‌جویی در زمان حل به خصوص در مورد مسایل با اندازه بزرگ، بسیار قابل توجه و مهم می‌باشد.

از آنجاییکه طول زمان تکمیل کلیه عملیات یک قطعه[1]، C_{max}، در زمانبندی همواره در شرایط تولید واقعی حایز اهمیت ویژه‌ای بوده است، در این قسمت با توجه به حل‌های بدست آمده از الگوریتم تلفیقی و لینگو٦، به ارایه گانت مربوطه به ترتیب مطابق شکل‌های (۵-۱) و (۵-۲) و محاسبه C_{max} *در هر یک از حالات* پرداخته شده است.



شکل ۱: نمودار گانت مساله زمانبندی کار کارگاهی ۲×۳ بر اساس حل الگوریتم تلفیقی منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

گانت مساله زمانبندی کار کارگاهی ۲×۳ بر اساس حل الگوریتم تلفیقی منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۲: نمودار گانت مساله زمانبندی کار کارگاهی ۲×۳ بر اساس حل لینگو٦ منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

همانطور که در نمودار گانت مساله مورد نظر (شکل ۱) نشان داده شده است، مقدار Makespan بر اساس الگوریتم تلفیقی برابر با ۲۲٦ واحد زمانی محاسبه گردیده است. در حالیکه این مقدار بر اساس حل بدست آمده از لینگو٦

1 Makespan

مطابق شکل (۲) برابر با ۲۸۳ واحد زمانی می‌باشد. واضح است که اگرچه مقدار هدف بدست لامده از روش تلفیقی نسبت به حد پایین به اندازه ۲۷/۵۳٪ افزایش می‌یابد، اما کاهش در زمان حل و نیز کاهش در کل زمان تکمیل که از اهمیت بالایی برخوردار است، به اندازه قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است.

نتایج محاسباتی حاصل از حل مسایل منتخب

در این بخش از تحقیق به ارایه نتایج محاسباتی حاصل از حل مسایل منتخب و مقایسه این جواب‌ها با حدود پایین و هم‌چنین تجزیه و تحلیل آنها می‌پردازیم. همانگونه که قبلا نیز بیان گردید، هدف از انجام این آزمایشات، تعیین نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در شرایط مختلف می‌باشد. در واقع با مشاهده نتایج بدست آمده و نحوه عملکرد الگوریتم تلفیقی در مسایل با اندازه‌های مختلف، می‌توان بهترین شرایط بکارگیری این روش را در تعیین زمانبندی تولید، شناسایی کرد. جواب‌های بدست آمده از حل مسایل منتخب در جدول (۵–۸) ارایه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که الگوریتم تلفیقی در اغلب اوقات و در شرایط متفاوت عملکرد خوبی را از نظر زمانی، نشان می‌دهد و زمان‌های ایجاد جواب نسبت به زمان مورد نیاز توسط لینگو ٦، بسیار کاهش می‌یابد.

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برنامه کامپیوتری به زبان ویژوال بیسیک تهیه شده و کلیه محاسبات نیز روی کامپیوتر Pentium 1800 MHz انجام پذیرفته است. برای این منظور پنج مساله نمونه بر اساس ادبیات موضوع تولید شده‌اند. همچنین برای مقایسه الگوریتم، با توجه به پیچیدگی مسایل زمانبندی سیستم‌های تولید کار کارگاهی که زمان نسبتاً زیادی صرف می‌شود تا حل‌های بهینه بدست آید، به جای استفاده از حل بهینه، از حد پایین استفاده می‌شود. در این مقاله، برای بدست آوردن حد پایین از نرم‌افزار "لینگو نسخه ٦" استفاده شده است. به این صورت که مساله زمانبندی حل‌های ممکن را با توجه به برآورده کردن محدودیت‌ها حل‌کرده و نهایتاً جمع هزینه‌ها در توالی حاصل از زمانبندی، حد پایین را برای مساله اصلی بدست می‌دهد. از اینرو حد پایین همواره کمتر یا مساوی حل بهینه خواهد بود. نتایج محاسباتی بدست آمده در جدول (۵–۸) ارایه شده است.

بررسی نتایج بدست آمده از مسایل حل شده با الگوریتم پیشنهادی، در این تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم مذکور در شرایط متفاوت عملکرد خوبی داشته است. نتایج بر اساس نمودارهای (۵–۳) الی (۵–٦) قابل تحلیل می‌باشند. به منظور حصول اطمینان از میزان تاثیر اندازه مساله در کیفیت جواب نهایی، برخی از مسایل مجدداً انتخاب و این بار با استفاده از توالی انتخابی توسط نرم افزار لینگو حل شدند و مشاهده شده است که نتایج حاصل به میزان قابل قبولی بهبود یافتند. مقایسه نتایج بدست آمده در شکل(۵–۳) و (۵–٤) نشان داده شده است. استفاده از نرم‌افزار لینگو ٦ به منظور ایجاد حد پایین برای مقدار هدف در شکل (۵–۳ الف) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۸: نتایج محاسباتی حاصل از حل الگوریتم تلفیقی و حد پایین برای مسایل منتخب منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۹

شماره آزمایش	تعداد انواع قطعات	تعداد انواع ماشین‌ها	تعداد انواع عملیات‌ها	روش حل	تعداد تکرار	مقدار تابع هدف	زمان اجرا (ثانیه)
۱	۳	۲	۳	الگوریتم تلفیقی	٤۲	۳۸۱۱	۷۲۹/٦۳
				Lingo 6	۲٤	۲۹۸۸/۳۲	٦۹۵۳
۲	۵	۳	۳	الگوریتم تلفیقی	۳۵	۸۷۸۰	۱۲٦٦/۸
				Lingo 6	۵۲۷۷	۳۷٤۰/۲۸	۱۱۷۸۷٤
۳	٦	٦	٦	الگوریتم تلفیقی	۲۵٤	۲۰۰٤۰	٤٤۵٦/۹۹

						Lingo 6	٤٩٠	٦٥٨١/٩٦	١٦٢١٧٩
٤	١٠	١٠	٥			الگوریتم تلفیقی	٣٦٢	٢٩٥٤٧	٨٥٤٧/٣٥
						Lingo 6	٥٧٦	١٠٣٥٢/٦	١٩٠٨٠٠
٥	٢٠	٥	٥			الگوریتم تلفیقی	٤٧٣	٣٧١٤٠	١٣٥٤٨/٩٤
						Lingo 6	٦٨٠	١٨٢٥٤/٢١	٢١٩٦٠٠

مطابق نتایج بدست آمده می‌توان دید که الگوریتم ابتکاری تلفیقی جواب نزدیک به بهینه را در زمان کمتر ایجاد می‌کند کاهش میزان محاسبات انجام شده در نتایج حاصل از حل مثال‌های عددی منتخب با استفاده از الگوریتم تلفیقی مشهود می‌باشد. مطابق شکل (۵-۲) اختلاف بین زمان‌های حل در دو روش با افزایش اندازه مساله به صورت صعودی افزایش می‌یابد. این امر برتری زمانی در استفاده از الگوریتم تلفیقی را در ایجاد جواب نزدیک به بهینه نشان می‌دهد. با بررسی و مطالعه دقیق نتایج بدست آمده و مقایسه آن‌ها، موارد زیر قابل مشاهده است.

نتیجه گیری و دستاورد علمی پژوهشی

بررسی نتایج بدست آمده از مسایل حل شده با الگوریتم تلفیقی ارایه شده نشان می‌دهد که با افزایش پارامترهای مساله الگوریتم تلفیقی می تواند در زمان قابل قبول جواب بهینه/ نزدیک به بهینه را ایجاد نماید این امر بخصوص در مسایلی با اندازه بزرگ بسیار مهم می باشد. از طرف دیگر با افزایش پارمترهای مساله در زمان حل توسط نرم‌افزار بهینه‌ساز، افزایش زمان به صورت نمایی صورت می‌پذیرد که عملا استفاده از آن را در خصوص این نوع مسایل غیرممکن می‌سازد. مقایسه نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب الگوریتم تلفیقی در ایجاد توالی قابل قبول در زمان موجه می‌باشد. به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت که الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، در تمامی حالاتی که در آن پارامترها با اندازه بزرگ مورد نظر است، جواب‌های قابل قبول و بهتری را ارایه می‌کند. بنابراین این الگوریتم برای استفاده در انواع مسایل مختلف احتمالی که در آنها تعداد ماشین‌ها، قطعات و عملیات‌ها زیاد باشد، پیشنهاد می‌گردد.

طبیعی است که چون زمان محاسباتی مورد نیاز همراه با بزرگ شدن اندازه مساله بصورت نمایی زیاد می‌شود، بنابراین مسایل بزرگ به زمان محاسباتی بیشتری نیاز خواهد داشت. از طریق بررسی نتایج حاصل از حل بهینه مشاهده‌می‌شود که در مسایل با تعداد پارامترهای بالا و با افزایش محدودیت‌های مساله، الگوریتم ابتکاری با سهولت بیشتر و در زمان کمتری جواب بهینه/ نزدیک به بهینه را ایجاد می‌کند. از آنجاییکه شرایط سیستم‌های تولید واقعی، در نظر گرفتن محدودیت‌ها و پارامترهای بسیار زیادی را ایجاب می‌کنند، الگوریتم ابتکاری مطرح شده در این مقاله کاربرد بالایی در صنایع مختلف کشور پیدا می‌کند.

منابع

محمد جواد اصغرپور(۱۳۸۸) تحقیق در عملیات پیشرفته. موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.

بیکر, کنت آر.(۱۳۸۷). توالی عملیات و زمانبندی:ترجمه فرهاد قاسمی طاری و سید محمدتقی فاطمی قمی. موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

پیندو, مایکل ال. زمانبندی و توالی عملیات (تئوری، الگوریتم ها و سیستم ها)، ترجمه محمد حسین فاضل زرندی، ابوالفضل سلطانی، علی یوسف الهی، حامد داوری اردکانی و حامد سلیمانی. (۱۳۹۱) . انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی تکنیک تهران) . صفحات ۹-۱.

ماکویی ,احمد(۱۳۸۷) .مقدمه ای بر برنامه ریزی تولید. انتشارات دانش پرور، . صفحات ۱۰۲-۱ .

براون, جیمی, هارن, جان و شیونان, جیمز. سیستم های مدیریت تولید (با نگرش یکپارچه)، ترجمه مهدی غضنفری و سروش صغیری (۱۳۸۷) .انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران . صفحات ۲۲۷-٤.

محمد باقر فخرزاد، مهدی عظیم زاده (۱۳۹۱).الگوریتم ژنتیک برای مسئله زمان بندی تک ماشین با جرایم زودکرد خطیی و دیرکرد توان دوم و با در نظر گرفتن زمان بیکاری و شکست کار. مدیریت تولید و عملیات.، جلد ۳، شماره٤. صفحات٦۱-۷۸.

فریبرز جولای, رضا توکلی مقدم, و فرشید آزادیان(۱۳۹۱). زمانبندی ماشی نهای موازی برای کارهای قابل تقسیم با درنظرگرفتن زمان راه اندازی وابسته به توالی. ,نشریه دانشکده فنی، ، جلد ٤۰، شماره ٤.صفحات ۵۰۳-٤٦۵.

کهنسال ,حمید و طاهر پور ,محمد رضا .زمان بندی بهینه خط تولید کیک و کلوچه با استفاده از روش برنامه ریزی ترکیبی خطی. . هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۳۸۷ .صفحات۵-۱.

ذگردی ,حسام الدین ,بهشتی نیا ,محمد علی وجعفری ,ناصر .کمینه سازی حداکثر زمان تکمیل مسئله زمانبندی تولید کارگاهی با ماشین های موازی . نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید ,جلد۲، شماره۲، ۱۳۸۸. صفحات۲۱-توکلی مقدم ,رضا ,خدادگان , یاسمن وحق نویس ,معبد (۱۳۹۰). ارائه یک مدل ترکیبی برای انتخاب ماشینهای موازی و زمانبندی کارها با در نظر گرفتن زمانهای آماده سازی. چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع .صفحات ۱۰-۱

یوسفی، بابک ,خانلرزاده ,نرگس و رحیمی فرد ,علی (۱۳۹۰).*الگوریتم ممتیک برای حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی منعطف با امکان ایجاد وقفه در انجام فعالیت ها*. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۲، شماره ٤ . صفحات ۳٤۰-۳۳۲.

پورکنعانی ,یوسف قلی(۱۳۹۰) . *حل یک مسأله زمانبندی چند هدفه جدید در سیستم تولید سلولی با استفاده از یک الگوریتم تلفیقی* . پژوهشی مدیریت تولید و عملیات، جلد ۳. صفحات ۲۸-۱.

رنجبر ,محمد و تقی زاده ,مصطفی(۱۳۹۰) .*یکپارچه سازی برنامه ریزی و زمانبندی تولید در صنایع فرآیندی چند محصولی با سیستم تولیدی پیوسته*. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، . شماره ۲، جلد ۲۲ صفحات ۱۳۵-۱۲۲.

اورعی, کاظم(۱۳۸۷). *برنامه ریزی خطی مدیریت صنعتی*. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی تکنیک تهران). صفحات ۱۱۷-۱.

7-Melanie, M(1999). An Introduction to Genetic Algorithms. Fifth Printing. Massachusetts-London, England : A Bradford Book The MIT Press Cambridge.

8- Xiuli Wu,Xianli Shen,Congbo Li,(2019), The flexible job-shop scheduling problem considering deterioration effect and energy consumption simultaneously, Computers & Industrial Engineering
Volume 135, September 2019, Pages 1004-1024

9-Juan Novas,(2019), Production scheduling and lot streaming at flexible job-shops environments using constraint programming, Computers & Industrial Engineering Volume 136, October 2019, Pages 252-264

10-Gen, M و Cheng, R(1997) .Genetic Algorithm and Engineering Design :Wiley Series in Engineering design and Automation New York.

11- Joines, J A and Culbreth,CT(1996).Manufacturing cell designe: An integer programming model employing genetic.. 1, IIE Transactions, Vol. 28. pp. 69-85.

12- Srinivas, N and Deb, K,(1994).Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms. Evolutionary Computation.. New York . Wiley .

13- Deb, K, et al(2002) . A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II . IEEE Trans Evol Comput.
14. Goldberg, D E. (1989) . Genetic algorithms: Search, optimization & machine learning . MA: Addison-Wesley.
15- Khorshidian, H, et al (2011) . .A genetic algorithmfor JIT single machine scheduling with preemption and machine idle time., Expert Systems withApplications, Vol. 38. pp. 7911-7918.
16- Bülbül, K, Kaminsky, P and Yano., C (2007) . Preemption in single machine earliness/tardiness scheduling. Journal of Scheduling, Vol. 10. pp. 271-292.
17- Hendel, Y and Sourd, F (2007) . An improved earliness–tardiness timing algorithm.. 10, , Computers & Operations Research, Vol. 34.pp. 2931-2938.
18- Zhongjun, T, Ng, C T and Cheng, T.C E (2009) . Preemptive scheduling of jobs with agreeable due dates on a single machine to minimize total tardiness., , Operations Research Letters, Vol. 37. pp. 368-374.
19- Kazemi, M, et al., et al. (2012) Just-in-time preemptive single machine problem with costs of earliness/tardiness, interruption and work-in-process. Journal of Industrial Engineering Computations, Vol. 3. pp. 321–336.
20- Blömer, et al(1998). Scheduling of a Multi-Product Batch Process in the Chemical Industry.Computers in Industry, Vol. 36. pp. 245-259.
21-Zhu, X X and Majozi, T(2001). *Novel Continuous Time MILP Formulation for Multipurpose Batch Plants. 2. Integrated Planning and Scheduling* . Industrial & Engineering Chemical Research, Vol. 40. pp. 5621-5634.
22- Castro, P, et al(2005) . *A New Continuous-time MILP Model for the Short-Term Scheduling of Multi Stage Batch Plants.* ACS Publications, Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 44. pp. 9175-9190.
23- Doganis, M, et al (2007) .*Optimal scheduling in a yoghurt production line based on mixed integer linear programming.* Journal of Food Engineering, Vol. 80.pp. 445-453.
24- Marinelli, F, Nenni, M E and Sforza, A (2007).*Capacitated lot sizing and scheduling with parallel machines and shared buffers: A case study in a packaging company* . Annals of Operations Research, Vol. 150. pp. 177-192.
25- Ferreira, T, et al(2009). *Solution approaches for the soft drink integrated production & lot-sizing & scheduling problem.*. European Journal of Operational Research, Vol. 196.pp. 697-706.
26- Günther, G , Hans-Otto, S(2009). *An Application of MILP-based Block Planning in the Chemical Industry.* In proceedings 8th International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'09), Zhangjiajie. pp. 103-110.
27- Back, T, Fogel, D and Michalawecz, Z(1997). *Handbook of evolutionary computation.* Oxford . Oxford University Press.
28-. Holland, J(1975). *Adaptation in natural and artificial system* H. University of Michigan Press.
29- Reeves, C R. (1997). *Genetic algorithms for the operations researcher.* Journal on computing, Vol. 9.pp. 231–250.
30- Eiben, A E and Smith, J E(2003). *Introduction to Evolutionary Computing.* Springer.
31-Goldberg, D(1989). *Genetic Algorithm in search, Optimization and machine Learning.* Addison-Wesely.
32-Herrmann, Jeffrey W., (2005), Handbook of Production ,Scheduling, International Series in Operations Research & Management Science, Springer, pp. 1-20.

33-Kevin D.Sweeney,Donald C.Sweeney,James F.Campbel,**2019**, The performance of priority dispatching rules in a complex job shop: A study on the Upper Mississippi River, International Journal of Production Economics,Volume 216, October 2019, Pages 154-172
34-Samarghandi,hamed,**2019**, Solving the no-wait job shop scheduling problem with due date constraints: A problem transformation approach, Computers & Industrial Engineering,Volume 136, October 2019, Pages 635-662

35-Guanlong Deng,Zhiwang Zhang, Tianhua Jiang, Shuning Zhanga,**2019**, Total flow time minimization in no-wait job shop using a hybrid discrete group search optimizer, Applied Soft Computing
Volume 81, August 2019, 105480
36-Jatoth Mohana ,Krishnanan Lanka,. Neelakanteswar Rao,**2019**, A Review of Dynamic Job Shop Scheduling Techniques, Procedia Manufacturing Volume 30, 2019, Pages 34-39