

موازنه خط مونتاژ با رویکرد الگوریتم ژنتیک

نظام الدین فقیه^۱، محمد مهدی منتظری^{۲*}

۱. استاد بخش مدیریت دانشگاه شیراز، ایران

۲. کارشناس ارشد دانشگاه شیراز، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۴/۴، تاریخ تصویب: ۱۳۸۷/۱۰/۱)

چکیده

در هر فرآیند تولید تعدادی ماشین آلات و تجهیزات و همچنین میزان نسبتاً ثابتی از نیروی انسانی موجود است که جهت انجام عملیات تولید از آنها استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد با مشاهده نحوه کار یک فرآیند می‌توان دید که تعدادی از ماشین آلات، مشغول کار نیستند ولی تعداد دیگری از تجهیزات، یکسره مشغول بکار بوده و در جلوی آنها مقدار زیادی از قطعات، آماده بسته شدن روی ماشین جهت انجام عملیات ساخت هستند و در مقابل تعدادی از کارگران به شدت مشغول کار می‌باشند و حجم قابل توجهی از کار انجام نشده، در کنار آنها انباشته گردیده است. وجود زمانهای بیکاری و یا وجود کار بیش از حد، یعنی نبود توازن و تعادل در فرآیند تولید، از جمله عواملی هستند که مشکلاتی را برای مدیریت سیستم ایجاد می‌کند. برای رفع این معضلات مدیر ناچار به ارائه راهکارهایی جهت بهبود وضع موجود است. یکی از راهکارهایی که مدیر می‌تواند برای رفع مشکل عدم توازن و تعادل در فرآیند تولید از آن استفاده کند بحث موازنه و یا متعادل سازی خط تولید است. در این مقاله برای حل مسئله موازنه خط مونتاژ، از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. الگوریتم ارائه شده روش جدیدی را به هنگام انجام عملیات تقاطع و ترکیب کروموزوم‌های والد جهت تولید فرزند و نیز ایجاد جهش در کروموزوم‌ها، ارائه می‌دهد. و در نهایت، کارایی جواب‌های بدست آمده از روش الگوریتم ژنتیک با روش عددی مقایسه می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

مقدمه

عامل اصلی ایجاد انگیزه رقابت در امر تجارت در دهه اخیر، زمان است. البته این بدین معنی نیست که انگیزاننده‌های دیگر از جمله هزینه و کیفیت را در این مسابقه نادیده بگیریم. ولی در این میان زمان در پیشبرد محصولات عامل تعیین کننده‌تری است. سؤالی که اغلب اوقات مدیران با آن روبرو می‌باشند این است که: چگونه می‌توان هزینه زمان تلف شده را کاهش داد؟ یکی از ساده‌ترین راه‌ها تغییر محتوای کار در هر نقطه از خط می‌باشد. اگر زمان تولید در تمامی نقاط کاری یکسان باشد ما هیچ زمان تلف شده نخواهیم داشت و خط کاملاً متعادل است. کوشش برای تقلیل اختلاف زمانی بین نقاط مختلف کاری را «متوازن ساختن خط تولید» می‌نامند. البته به صفر رساندن زمان تلف شده ایده‌آل است و تلاش در آنست که حتی المقدور اختلاف زمانی بین نقاط کاری کمتر گردد [۱۱].

در مقاله حاضر، مسئله موازنه خط مونتاژ مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا مطالعات انجام گرفته پیشین مرور می‌گردند. سپس کلیاتی در ارتباط با مسئله موازنه و روش‌های حل آن ارائه می‌شود، بعد از آن ساختار مدل و روش حل آن توضیح داده می‌شود و در نهایت نتایج و پیشنهاداتی در ارتباط با موضوع ارائه می‌گردد.

مرور ادبیات موضوع

یک خط مونتاژ از مجموعه ای از ایستگاه‌ها تشکیل می‌شود که در هر کدام از این ایستگاه‌ها یک سری فعالیت صورت می‌گیرد، حال اگر مجموع زمان فعالیت انجام شده در هر ایستگاه کاری با ایستگاه‌های دیگر متعادل نباشد درصد بیکاری در بعضی ایستگاه‌ها زیاد شده و در بعضی ایستگاه‌ها ایجاد گلوگاه می‌شود. برای رفع این نواقص باید اقدام به متعادل کردن این ایستگاه‌ها با توجه به زمان سیکل کرد [۹ و ۱۲]. در این مقاله مسئله موازنه خط مونتاژ با استفاده از رویکرد الگوریتم ژنتیک حل شده است. الگوریتم ژنتیک از اصل تکامل طبیعی داروین گرفته شده و با انبوهی از جوابها سر و کار دارد و بواسطه داشتن همین خصوصیت امکان اجرای موازی الگوریتم و همچنین مهاجرت بین زیر جمعیت‌ها را که باعث تنوع ژنتیکی می‌شوند فراهم می‌آورد. در این الگوریتم نقاط بر روی مجموعه $\{0, 1, \dots, k\}$ تعریف می‌شود یعنی اعداد بصورت رشته‌های باینری و بطول k بیان می‌شوند. منشاء بروز اختلاف بین الگوریتم ژنتیک و تکاملی نیز همین تفاوت در نحوه بیان نقاط می‌باشد. الگوریتم ژنتیک روشی است بر مبنای جستجو در فضای $\{0, 1, \dots, k\}$ و با

موازنه خط مونتاژ با رویکرد الگوریتم ژنتیک _____ ۱۰۹

استفاده از تابع توزیع احتمال که این تابع در طول اجرای الگوریتم مرحله به مرحله به سمت محدوده‌ای که جواب در آن قرار دارد همگرا می‌شود. امروزه الگوریتم ژنتیک در این بین شناخته شده‌ترین نوع الگوریتم تکاملی به حساب می‌آید، چرا که الگوریتم‌های ژنتیکی اخیراً به دقت قابل ملاحظه‌ای دست یافته اند [۸]. در زیر قصد داریم ابتدا تاریخچه‌ای از الگوریتم ژنتیک و سپس موازنه خط مونتاژ و در نهایت کاربرد الگوریتم ژنتیک در موازنه خط مونتاژ را بیان کنیم.

الف) تاریخچه الگوریتم ژنتیک

گلدبرک (۱۹۸۳) برای اولین بار از مکانیزم الگوریتم ژنتیک در صنعت استفاده کرد. گلاور (۱۹۹۱) برای تشریح همگرایی، روش الگوریتم ژنتیک و فقی را ارائه کرد که در آن عملگرهای تقاطع و جهش بصورت دینامیکی تغییر می‌نماید. فوکویاما و چیانگ (۱۹۹۶) از روش موازی در الگوریتم ژنتیک برای برنامه ریزی توسعه ظرفیت نظام‌های تولید انرژی الکتریکی استفاده کردند [۱۷]. پارک و همکاران (۲۰۰۰) برای افزایش کارایی و سرعت محاسبات الگوریتم و دوری جستن از دام نقاط بهینه محلی و مبتنی بر نتایج تحقیقات فوکویاما و چیانگ نوعی روش خلق مصنوعی جمعیت اولیه با استفاده از روش‌های تصادفی پیشنهاد نمودند [۲۰].

امروزه کاربرد الگوریتم‌های ژنتیکی حوزه وسیعی از مسایل بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف فنی مهندسی، علوم اجتماعی را در بر می‌گیرد. الگوریتم ژنتیک را می‌توان هم برای مسایل محدود شده و هم برای مسایل محدود نشده بکار برد. برای مسایل بهینه‌سازی استاندارد، صرفاً روشی برای به بدست آوردن یک جواب می‌باشد. همچنین می‌توان آن را برای مسایل خطی، غیرخطی و برنامه ریزی احتمالی که دارای متغیرهای تصادفی و درجه‌ای از عدم قطعیت است استفاده نمود در ضمن مسایل بهینه‌سازی ترکیبی که شامل مسایل مختلف علوم کامپیوتری می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای مهم الگوریتم ژنتیک استفاده از آن در مسئله موازنه خط مونتاژ است.

ب) تاریخچه موازنه خط مونتاژ

تعریف قابل قبول از موازنه خط مونتاژ در وهله اول به سالوسون منسوب است که بیان می‌کند (موازنه خط مونتاژ یعنی کاهش وقت تلف شده یا کاهش تعداد کارگرهایی که وقت زیادی برای کار می‌گیرند این در حقیقت کاهش تاخیر موازنه است). اشخاص

دیگری مانند گیلبریچ و وستر در زمینه موازنه مطالعاتی را انجام داده‌اند و بیان می‌کنند که مقدار بالای تاخیر موازنه با دامنه زمان بین مراحل کار و درجه بالای اتوماسیون خط ارتباط دارد. کوتجاهر و نماسر (۱۹۶۴) اولین مسئله موازنه را با الگوریتمی که زمان تاخیر هر ایستگاه کاری را حداقل می‌کرد انجام دادند. سپس این الگوریتم توسط ارل و گوکسن (۱۹۶۴) توسعه داده شد و از آن برای خطوط مونتاژی محصولات مشابه با در نظر گرفتن مجموع زمان مراحل مختلف کاری استفاده شد [۱۹]. با تغییرات سریع تکنولوژی و افزایش تجهیزات مورد استفاده در تولید سیستم‌های مونتاژ منعطف نیز بوجود آمدند. اون (۱۹۸۵) در مورد سیستم‌های مونتاژ منعطف نقش ربات‌ها را خیلی مهم می‌داند. در سال ۱۹۸۸ گراوز و هولمز الگوریتمی را برای تخصیص فعالیت‌ها و تجهیزات به ایستگاه‌های خط مونتاژ به منظور بهبود نرخ تولید سالیانه ارائه کردند. هدف کار آنها مینیم کردن هزینه کل مونتاژ بود که ترکیبی از هزینه‌های ثابت تجهیزات و هزینه‌های متغیر راه‌اندازی و استفاده از تجهیزات و نیروی انسانی بود. مشکل این الگوریتم این بود که در خطوط مونتاژ منعطف چندان کارایی نداشت زیرا امکان بدست آوردن زمان ایده‌آل را برای هر ایستگاه نداشت. سپس رایبنویتز و بوکچین (۱۹۹۱) بمنظور مینیم کردن تعداد ایستگاه‌های کاری برای رسیدن به سیکل زمانی بهینه الگوریتمی را ارائه کردند. الگوریتم رایبنویتز و بوکچین بر اساس روش برانچ و بوند بود. کیم و پارک (۱۹۹۵) بمنظور کاهش تعداد ربات‌های مورد استفاده در یک خط مونتاژی منعطف کار خود را شروع کردند. در ادامه نقش الگوریتم ژنتیک را در حل این گونه مسائل مرور می‌کنیم.

ج) تاریخچه استفاده از مکانیزم الگوریتم ژنتیک در حل مسئله موازنه خط مونتاژ
 برای اولین بار بود که رایبنویتز و لاوتین (۱۹۹۵) با استفاده از مکانیزم الگوریتم ژنتیک مسئله موازنه خط مونتاژ را حل کردند [۱۸]. سورش (۱۹۹۶) اولین کسی بود که با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهترین جواب را برای یک مسئله موازنه خط مونتاژ بدست آورد. در روش او زمان و توقف‌های خط مینیم می‌شد و همچنین زمان انحرافی ایستگاه‌های کاری از زمان سیکل تولید کاهش می‌یافت [۱۹]. در سال ۱۹۹۸ فالکنور کتابی را در زمینه حل مسائل گروهی بوسیله الگوریتم ژنتیک نوشت و مطالبی را در زمینه کاربردهای الگوریتم در مباحث مختلف بیان کرد. در سال ۲۰۰۰ توسط بوکچین و تزار نیز برای طراحی خط مونتاژ به منظور کاهش هزینه تجهیزات الگوریتمی پیشنهاد شد. در همین رابطه خوجا (۲۰۰۰) نیز عملیات خوشه‌ای آماری را برای خط مونتاژ منعطف طراحی کرد [۱۸].

گانگور و گوپتا (۲۰۰۲-۲۰۰۱) الگوریتمی را برای حل موازنه خط مونتاژ با هدف ارزیابی وظایف ایستگاه‌های کاری و مینیم کردن هزینه هر بخش پیشنهاد دادند [۱۹]. همچنین نیکوسیا (۲۰۰۲) الگوریتمی را بمنظور مینیم کردن هزینه ایستگاه‌های کاری با در نظر گرفتن محدودیت سیکل زمانی ارائه کرد. فرمول پیشنهادی او خیلی شبیه الگوریتم ژنتیک رباتیک بود [۱۸]. مک گاورن (۲۰۰۳) برای اولین بار از تکنیک‌های بهینه ترکیبی برای حل مسئله موازنه استفاده کرد. مک گاورن و گوپتا (۲۰۰۴) با ترکیب روش‌های مختلف بهینه ترکیبی روشی بهینه‌تر برای مسئله موازنه پیدا کردند. اخیراً نیز کتابی توسط لامبرت و گوپتا (۲۰۰۵) در مورد خطوط مونتاژ و الگوریتم‌های مناسب برای رفع مشکلات آنها به چاپ رسیده است [۱۹].

در مورد تاریخچه استفاده از الگوریتم ژنتیک در مسئله موازنه خط مونتاژ در ایران نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. خوش الحان اسپیلی (۱۳۷۶) در پایان نامه خود از الگوریتم‌های ژنتیکی برای حل مسئله موازنه خط مونتاژ فازی استفاده می‌کند. در این تحقیق، الگوریتم ژنتیکی جدیدی برای مسئله موازنه خط مونتاژ فازی ارائه می‌شود و همچنین یک روش جدید تعمیر و یا عملگر کارای جابجایی نیز تعریف شده است [۳]. در سال ۱۳۸۵، درهمی موازنه خط مونتاژ را با استفاده از برنامه ریزی چند هدفه انجام می‌دهد. او در تحقیق خود از معیارهای هزینه، زمان تلف شده و محدودیت منابع استفاده می‌کند و در نهایت با مقایسه روش برنامه ریزی چند هدفه و الگوریتم ژنتیک، مدلی را برای موازنه خط مونتاژ ارائه می‌دهد. همانطور که مشاهده شد دامنه وسیعی از مطالعات صورت گرفته در ارتباط با مکانیزم الگوریتم ژنتیک در موازنه خط مونتاژ بیان گردید اما باید گفت در بیشتر موارد عملگرهای ژنتیکی بر روی ایستگاه‌ها کار می‌کنند و نقش آنها در تخصیص فعالیت‌ها کمتر دیده می‌شود بنابراین در این مقاله سعی شده است تا به این مسئله پردازد و کارایی آن را مورد بررسی قرار دهد.

مراحل اجرای پروژه موازنه خط مونتاژ

برای موازنه خط مونتاژ، تکنیک‌های دستی و تکنیک‌های کامپیوتری وجود دارد، که برای هر دوی آنها اطلاعات زیر ضروری است:

۱. زمان سیکل
۲. عناصر کاری و زمان استاندارد هر یک از آنها
۳. روابط فعالیت‌ها با یکدیگر

طریقه محاسبه زمان سیکل در فرمول زیر آمده است.

$$\text{کل زمان کاری در دسترس در روز} = \frac{\text{نیاز به تولید محصول در روز}}{\text{زمان سیکل}}$$

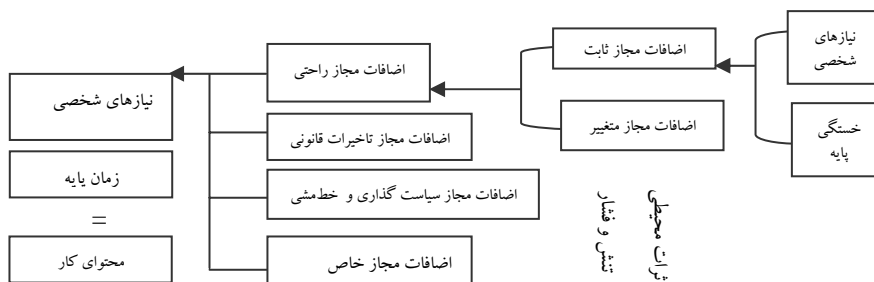
زمان در دسترس در روز برابر است با زمان مفیدی که کارگران در روز کار می‌کنند [۹].

بمنظور انجام پروژه موازنه خط مونتاژ در این مقاله گام‌های زیر برداشته شده است.

۱. تعیین عناصر کاری، ۲. تعیین تعداد نمونه مورد استفاده برای انجام مطالعات زمان‌سنجی،
۳. تعیین ضریب عملکرد، ۴. بدست آوردن اضافات مجاز، ۵. بدست آوردن زمان استاندارد هر عنصر کاری، ۶. مشخص کردن تابع هدف و محدودیت‌های خط مونتاژ، ۷. نوشتن برنامه موازنه خط مونتاژ در محیط برنامه نویسی، ۸. استفاده از مکانیزم الگوریتم ژنتیک بمنظور رسیدن به جواب بهینه.

در مقاله حاضر بررسی بر روی خط مونتاژ موتور سیکلت صورت گرفته است. در این خط ۱۲ نوع فعالیت و ۸۶ عنصر کاری تعریف شده است. سپس برای تعیین تعداد مورد مطالعه از روش توزیع t استفاده می‌شود [۱۲].

در خط مونتاژ مورد نظر با نظر خواهی از مسئول کنترل کیفیت و سرپرست خط بعد از تعیین فرد واجد شرایط و مقایسه عملکردش با سایر افراد، ضرایب عملکرد هر یک از کارگران با استفاده از جداول وستینگهاوس تعیین شد بعد از تعیین ضریب عملکرد از رابطه (ضریب عملکرد \times زمان مشاهده = زمان نرمال) زمان نرمال عناصر بدست آمد [۹ و ۱۲]. پس از محاسبه زمان نرمال باید یک گام دیگر را به منظور بدست آوردن زمان استاندارد عملیات پیمود. در آخرین مرحله باید درصدهای مجازی بنام اضافات مجاز تعیین گردند که کلیه موارد مربوط به تاخیرات و خستگی‌های ناشی از اثر کار و سایر موارد دیگر را پوشانند. مدل اساسی تعیین اضافات مجاز در این مقاله در زیر آمده است [۱۲].



نمودار ۱. مدل اساسی مربوط به تعیین اضافات مجاز

در زیر توضیحاتی در ارتباط با روش استفاده از مدل بالا می‌آید.
 در اینجا اضافات مجاز رفع نیازهای شخصی بصورت درصدی از کل زمان کار (۵٪ برای مردان) در نظر گرفته شده که در نهایت زمان مفید کاری در این کارخانه بصورت زیر بدست می‌آید.

$$\text{دقیقه} = ۴۸۰ = (\text{دقیقه}) ۶۰ \times ۸ (\text{ساعت}) = \text{کل زمان کار}$$

$$\text{دقیقه} = ۲۴ = ۴۸۰ \times ۵\% = \text{اضافات مجاز نیازهای شخصی}$$

اضافات مجاز نیازهای شخصی ۲۵ دقیقه و زمان خوردن صبحانه ۳۰ دقیقه می‌باشد بنابراین زمان مفید کاری برابر است با

زمان مفید کاری = کل زمان کار در دسترس - {اضافات مجاز نیازهای شخصی + زمان در نظر گرفته برای خوردن صبحانه}

$$\text{دقیقه} = ۴۲۵ = ۴۸۰ - \{۲۵ + ۳۰\} = \text{زمان مفید کاری در هر روز در کارخانه}$$

مابقی اضافات مجاز که شامل رفع خستگی پایه، اضافات مجاز متغیر و اضافات مجاز خاص می‌باشد، بصورت درصدی از زمان نرمال بدست می‌آید که نحوه محاسبه آنها با توجه به جداول پیتر استیل و همکارانش در این مقاله محاسبه شده است. حال با داشتن زمان‌های نرمال و درصد تاخیرات مجاز، و جایگذاری در رابطه زیر زمان استاندارد عناصر کاری بدست می‌آید [۹ و ۱۲].

$$\text{درصد اضافات مجاز} + ۱ = \text{زمان نرمال} = \text{زمان استاندارد}$$

سپس باید محدودیت‌های موجود در خط، با توجه به هدف مسئله که در واقع حداکثر کارایی منابع (نیروی انسانی و ماشین‌آلات) است شناسایی شود. برای رسیدن به حداکثر کارایی باید بیکاری‌های آشکار و پنهان را در خط مونتاژ شناسایی و با چیدمان صحیح و اصولی کارگران و ماشین‌آلات در کنار یکدیگر آنها را کاهش دهیم. البته رسیدن به بیکاری صفر یا کارایی ۱۰۰ درصد در خط آرمانی و ایده‌آل است و ما باید سعی کنیم زمان این بیکاری‌ها را به کمترین مقدار خود برسانیم. در خط مونتاژ مورد مطالعه زمان مفید کاری در دسترس در هر روز محاسبه شد و معلوم شد در هر روز ۴۲۵ دقیقه مفید برای مونتاژ موتورسیکلت وجود دارد. همچنین در این خط تعداد تولید مطلوب، ۳۰ موتور در روز می‌باشد اما در حال حاضر فقط ۲۶ موتور در روز مونتاژ می‌شود. در نگاره زیر نحوه محاسبه زمان استاندارد عناصر کاری موجود در خط مونتاژ، برای استفاده در تابع هدف و محدودیت‌ها آمده است.

نگاره ۱. زمان‌های نرمال، اضافات مجاز و زمان‌های استاندارد عناصر کاری
در صنعت موتور سیکلت

عنصر کاری	زمان نرمال (ثانیه)	اضافات مجاز (ثانیه)	زمان استاندارد (ثانیه)
B1	۵۰	۴	۵۴
B2	۱۸	۱	۱۹
C1	۲۵	۱	۲۶
C2	۲۸	۲	۳۰
C3	۱۹	۱	۲۰
D1	۳۳	۱	۳۴
D2	۴۲	۳	۴۵
D3	۳۱	۱	۳۲
D4	۳۲	۱	۳۳
D5	۳۰	۱	۳۱
E1	۳۶	۱/۵	۳۸
E2	۴۰	۲	۴۲
E3	۲۰	۱	۲۱
E4	۱۷	۱	۱۸
F1	۱۴	۱/۵	۱۵
F2	۳۳	۴	۳۷
F3	۲۰	۲	۲۳
F4	۵۹	۴	۶۳
G1	۴۲	۳	۴۵
G2	۳۳	۱	۳۴
H1	۳۹	۱	۴۰
H2	۴۴	۱	۴۵
H3	۵۶	۲/۸	۵۸/۸
H4	۲۸	۱	۲۹
H5	۶۳	۲/۲	۶۵
H6	۱۶	۱/۶	۱۶/۶
H7	۲۳	۱	۲۴
H8	۲۲	۱	۲۳
H9	۵۷	۳	۶۰
H10	۳۶	۱/۵	۳۷/۵
H11	۱۷	۱/۷	۱۷/۷
H12	۴۰	۱/۶	۴۱/۶
H13	۱۴	۱/۶	۱۴/۶
H14	۴۹	۲	۵۰
H15	۳۹	۱	۴۰
H16	۱۸	۱/۸	۱۹
H17	۳۸	۱	۳۹
H18	۳۵	۱/۸	۳۶/۸
H19	۵۰	۲	۵۲
H20	۱۹	۱/۵	۲۰
H21	۱۸	۱/۷	۱۸/۷
H22	۲۳	۱/۶	۲۴/۶
H23	۱۷	۱	۱۸
صحت با سرپرست	۴	-	۴
K1	۴۵	۳/۵	۴۹
K2	۲۳	۱	۲۴
K3	۶۶	۴	۷۰
K4	۱۰۱	۴	۱۰۵
K5	۸۸	۳/۵	۹۱/۵
K6	۱۰۳	۵	۱۰۸
K7	۹۹	۸	۱۰۷
K8	۳۷	۱/۵	۳۸/۵
K9	۸۴	۳	۸۷

۵۶	۲	۵۴	K10
۱۲۹	۶	۱۲۳	K11
۱۳۰	۱۰	۱۲۰	K12
۴۰	۳	۳۷	K13
۲۸	۲	۲۶	K14
۳۶/۵	۱/۵	۳۵	K15
۶۳/۵	۲/۵	۶۱	K16
۵۵	۲	۵۳	K17
۷/۵	۰/۵	۴	K18
۳	—	۳	صحت با مسئول کنترل کیفیت
۱۲/۵	/۵	۱۲	M1
۵۸	۲	۵۶	M2
۳۳	۲	۳۱	M3
۵۱	۲	۴۹	M4
۳۶	۲	۳۴	M5
۴۲/۶	۱/۶	۴۱	M6
۶۳	۴	۵۹	M7
۳۷	۱	۳۶	M8
۱۱	۱	۱۰	M9
۱۵	۱	۱۴	N1
۳۲	۲	۳۰	N2
۵۲	۲	۵۰	N3
۵۶	۳	۵۳	N4
۴۰/۶	۱/۶	۳۹	N5
۳۰/۵	۱/۵	۲۹	P1
۲۹/۷	۱/۷	۲۸	P2
۲۶/۵	۱/۵	۲۵	P3
۷۱	۴	۶۷	P4
۲۳	۱	۲۲	P5
۲۲	۱	۲۱	P6
۱۴/۵	/۵	۱۴	P7
۵	—	۵	صحت با مسئول کنترل کیفیت
۱۹۵	۹	۱۸۶	R1
۳۳۰	۱۲/۶	۳۱۷	R2
۱۸۲/۷	۸/۷	۱۷۴	R3
۱۳۰	۵	۱۲۵	R4

(۱)B: ایستگاه شماره خوان C(۲): ایستگاه پرس D(۳): طوقه بندی E(۴): مونتاژ فرمان F(۵): مونتاژ کمک فتر عقب و جلو G(۶): مونتاژ کیلومتر H(۷): شاسی بندی K(۸): انجین M(۹): باک و زین (۱۰): کنترل سیم کشی روی موتور p(۱۱): کنترل نهایی R(۱۲): انبار و تحویل

تابع هدف و محدودیت‌های مسئله

حال برای رسیدن به بهترین ترکیب بین افراد و ماشین آلات باید تابع هدف و محدودیت‌ها موجود در خط شناسایی شوند تا بتوان با ورود این اطلاعات به کامپیوتر، روش حل را برای رسیدن به جواب بهینه پیاده‌سازی کرد. با بررسی‌های انجام شده در خط مشخص شد، محدودیت‌های ما شامل محدودیت‌های تقدم و تأخر فعالیت‌ها و محدودیت منابع که شامل نیروی انسانی و ماشین آلات است، می‌باشد. همانطور که در گذشته گفته شد تابع هدف نشان دهنده کارایی خط مونتاژ است، یعنی ما بدنبال کاهش بیکاری در خط و افزایش

راندمان کاری افراد و ماشین آلات هستیم. در زیر تابع هدف به همراه محدودیت‌ها آمده است.

$$\max z = 1 - \frac{\sum (\max ts - tsi)}{k \times \max tS}$$

26 < Production < 30

زمان ایستگاه i = tsi

K = تعداد ایستگاه

Production: تعداد موتور مونتاژ شده در شرایط موجود و مطلوب

$$sx_{12} \geq sx_{11} + tx_{11}$$

$$sx_{22} \geq sx_{21} + tx_{21}$$

$$sx_{23} \geq sx_{22} + tx_{22}$$

$$sx_{32} \geq sx_{31} + tx_{31}$$

$$sx_{33} \geq sx_{32} + tx_{32}$$

$$sx_{34} \geq sx_{33} + tx_{33}$$

$$sx_{35} \geq sx_{33} + tx_{33}$$

$$sx_{43} \geq sx_{41} + tx_{41}$$

$$sx_{43} \geq sx_{42} + tx_{42}$$

$$sx_{44} \geq sx_{41} + tx_{41}$$

$$sx_{44} \geq sx_{42} + tx_{42}$$

$$sx_{52} \geq sx_{51} + tx_{51}$$

$$sx_{53} \geq sx_{52} + tx_{52}$$

$$sx_{62} \geq sx_{61} + tx_{61}$$

$$sx_{71} \geq sx_{12} + tx_{12}$$

$$sx_{71} \geq sx_{23} + tx_{23}$$

$$sx_{719} \geq sx_{34} + tx_{34}$$

$$sx_{719} \geq sx_{714} + tx_{714}$$

$$sx_{719} \geq sx_{72} + tx_{72}$$

$$sx_{720} \geq sx_{715} + tx_{715}$$

$$sx_{722} \geq sx_{73} + tx_{73}$$

$$sx_{712} \geq sx_{711} + tx_{711}$$

$$sx_{711} \geq sx_{12} + tx_{12}$$

$$sx_{713} \geq sx_{12} + tx_{12}$$

$$sx_{76} \geq sx_{12} + tx_{12}$$

$$sx_{721} \geq sx_{75} + tx_{75}$$

$$sx_{81} \geq sx_{719} + tx_{719}$$

$$sx_{82} \geq sx_{71} + tx_{71}$$

$$sx_{83} \geq sx_{719} + tx_{719}$$

$$sx_{83} \geq sx_{720} + tx_{720}$$

$$sx_{84} \geq sx_{83} + tx_{83}$$

$$sx_{85} \geq sx_{721} + tx_{721}$$

$$sx_{86} \geq sx_{716} + tx_{716}$$

Sxij = زمان شروع فعالیت i و عنصر کاری j

Txij = طول زمان فعالیت i و عنصر کاری j

$$sx_{74} \geq sx_{73} + tx_{73}$$

$$sx_{74} \geq sx_{62} + tx_{62}$$

$$sx_{75} \geq sx_{73} + tx_{73}$$

$$sx_{75} \geq sx_{44} + tx_{44}$$

$$sx_{78} \geq sx_{53} + tx_{53}$$

$$sx_{79} \geq sx_{54} + tx_{54}$$

$$sx_{710} \geq sx_{79} + tx_{79}$$

$$sx_{715} \geq sx_{79} + tx_{79}$$

$$sx_{717} \geq sx_{710} + tx_{710}$$

$$sx_{718} \geq sx_{717} + tx_{717}$$

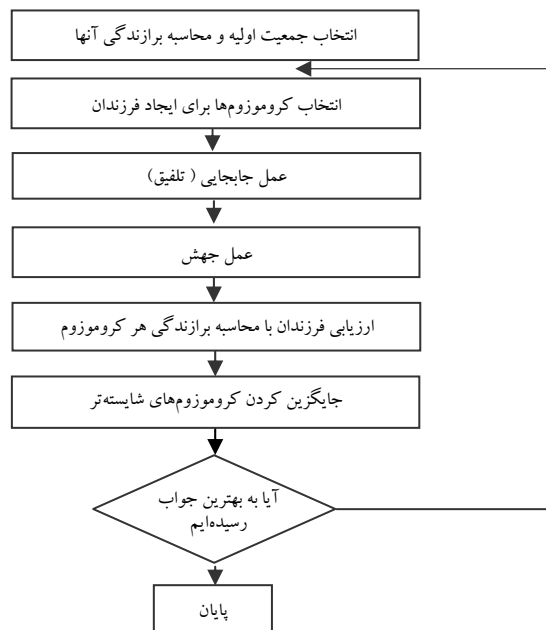
$$\begin{aligned}
sx\ 87 &\geq sx\ 81 + tx\ 81 \\
sx\ 88 &\geq sx\ 77 + tx\ 77 \\
sx\ 89 &\geq sx\ 719 + tx\ 719 \\
sx\ 810 &\geq sx\ 721 + tx\ 721 \\
sx\ 810 &\geq sx\ 720 + tx\ 720 \\
sx\ 811 &\geq sx\ 74 + tx\ 74 \\
sx\ 811 &\geq sx\ 83 + tx\ 83 \\
sx\ 811 &\geq sx\ 716 + tx\ 716 \\
sx\ 812 &\geq sx\ 89 + tx\ 89 \\
sx\ 812 &\geq sx\ 815 + tx\ 815 \\
sx\ 813 &\geq sx\ 83 + tx\ 83 \\
sx\ 814 &\geq sx\ 83 + tx\ 83 \\
sx\ 815 &\geq sx\ 72 + tx\ 72 \\
sx\ 816 &\geq sx\ 83 + tx\ 83 \\
sx\ 817 &\geq sx\ 83 + tx\ 83 \\
sx\ 91 &\geq sx\ 84 + tx\ 84 \\
sx\ 92 &\geq sx\ 91 + tx\ 91 \\
sx\ 92 &\geq sx\ 103 + tx\ 103 \\
sx\ 94 &\geq sx\ 92 + tx\ 92 \\
sx\ 95 &\geq sx\ 816 + tx\ 816 \\
sx\ 96 &\geq sx\ 94 + tx\ 94 \\
sx\ 93 &\geq sx\ 92 + tx\ 92 \\
sx\ 97 &\geq sx\ 92 + tx\ 92 \\
sx\ 98 &\geq sx\ 92 + tx\ 92 \\
sx\ 101 &\geq sx\ 816 + tx\ 816 \\
sx\ 102 &\geq sx\ 101 + tx\ 101 \\
sx\ 103 &\geq sx\ 102 + tx\ 102 \\
sx\ 104 &\geq sx\ 101 + tx\ 101 \\
sx\ 105 &\geq sx\ 104 + tx\ 104 \\
sx\ 105 &\geq sx\ 718 + tx\ 718 \\
sx\ 111 &\geq sx\ 817 + tx\ 817 \\
sx\ 112 &\geq sx\ 103 + tx\ 103 \\
sx\ 112 &\geq sx\ 105 + tx\ 105 \\
sx\ 112 &\geq sx\ 722 + tx\ 722 \\
sx\ 113 &\geq sx\ 814 + tx\ 814 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 76 + tx\ 76 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 713 + tx\ 713 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 93 + tx\ 93 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 97 + tx\ 97 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 98 + tx\ 98 \\
sx\ 115 &\geq sx\ 114 + tx\ 114 \\
sx\ 116 &\geq sx\ 115 + tx\ 115 \\
sx\ 117 &\geq sx\ 116 + tx\ 116 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 810 + tx\ 810 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 113 + tx\ 113 \\
sx\ 114 &\geq sx\ 96 + tx\ 96
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 sx\ 113 &\geq sx\ 811 + tx\ 811 \\
 sx\ 111 &\geq sx\ 812 + tx\ 812 \\
 sx\ 113 &\geq sx\ 111 + tx\ 111 \\
 sx\ 117 &\geq sx\ 112 + tx\ 112 \\
 sx\ 111 &\geq sx\ 813 + tx\ 813 \\
 sx\ 113 &\geq sx\ 85 + tx\ 85 \\
 sx\ 114 &\geq sx\ 86 + tx\ 86 \\
 sx\ 113 &\geq sx\ 87 + tx\ 87 \\
 sx\ 111 &\geq sx\ 88 + tx\ 88 \\
 sx\ 121 &\geq sx\ 117 + tx\ 117 \\
 sx\ 122 &\geq sx\ 121 + tx\ 121 \\
 sx\ 123 &\geq sx\ 122 + tx\ 122 \\
 sx\ 124 &\geq sx\ 123 + tx\ 123 \\
 sx\ 74 &\geq sx\ 62 + tx\ 62 \\
 sx\ 719 &\geq sx\ 78 + tx\ 78 \\
 K &\geq 3 \\
 L &\leq 7
 \end{aligned}$$

حال بعد از مشخص شدن محدودیت‌ها و تابع هدف مسئله، برای رسیدن به جواب‌های ممکن و قابل قبول و مهم‌تر از همه دستیابی به جواب بهینه باید به چهار سؤال اصلی پاسخ دهیم. البته جواب هر سؤال باید بصورت دستورالعمل‌های کامپیوتری در ++C نوشته شود. اول اینکه اولویت‌بندی مسئله برای تخصیص فعالیت‌ها چیست؟ دوم، برنامه چگونه فعالیت‌ها را تخصیص دهد؟ سوم، بعد از تخصیص فعالیت‌ها کارایی خط مونتاژ چه میزان است؟ و چهارم اینکه آیا می‌توان با استفاده از مکانیزم الگوریتم ژنتیک به جوابی بهتر دست یافت؟

اما راهکار پیشنهادی در این مقاله برای پاسخ به سؤال اول این که ابتدا زمان هر فعالیت به اضافه زمان فعالیت‌های وابسته به آن می‌شود و سپس فعالیت‌ها به ترتیب اولویت زمانی از طولانی‌ترین زمان به کوتاهترین زمان فهرست می‌شود. در واقع با انجام این دو مورد اولویت‌بندی فعالیت‌ها برای تخصیص مشخص می‌شود. در مورد پاسخ به دومین سؤال باید گفت ابتدا با حداقل تعداد ایستگاه و نفرات که به ترتیب ۳ و ۳ تعیین شده شروع می‌کنیم و برنامه مورد نظر در ++C برای تعیین حالت‌های مختلف چیدمان افراد در ایستگاه‌ها نوشته می‌شود و با توجه به اولویت‌بندی مشخص شده در گام قبل و تعیین محدوده زمانی برای هر فرد بعنوان سیکل تولید-محدوده به این صورت تعیین می‌شود که ابتدا کل زمان فعالیت‌ها که شامل ۴۲۸۴ ثانیه است بر تعداد ایستگاه تعیین شده توسط نرم‌افزار تقسیم می‌شود و بعنوان حداکثر زمان آن ایستگاه در نظر گرفته می‌شود سپس برنامه با کاهش ۱٪ این زمان در هر مرحله حل، به بهترین زمان تخصیص داده شده به نفرات می‌رسد- فعالیت‌ها را تخصیص می‌دهد. حال برای اینکه درصد کارایی در روش عددی به دست آید، کل زمان مفیدی که کارگران در کل خط مشغول به کار بوده‌اند را محاسبه و آن را بر حاصل

بیشترین زمان موجود در خط ضرب در تعداد کل افراد موجود تقسیم می‌کنیم. بعد از این مراحل قصد داریم تا در صورت امکان با استفاده از مکانیزم الگوریتم ژنتیک به جوابی بهتر از حالت قبل برسیم. در اینجا باید برنامه مراحل پیاده سازی الگوریتم ژنتیک در C++ نوشته شود. ابتدا جمعیت اولیه از بین جواب‌های موجود در روش عددی بصورت تصادفی انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است هر جواب بعنوان یک کروموزوم در نظر گرفته شده و سپس برای هر کروموزوم با توجه به تابع هدف مسئله مقدار برازندگی تعیین می‌شود. عملگر تلفیق در این مسئله بدین شکل عمل می‌کند که بعد از انتخاب دو کروموزوم بر اساس اصل بقای بهترین‌ها، تعداد نفرات یک کروموزوم و فعالیت‌های تخصیص داده شده به کروموزوم دیگر را قطع می‌دهد و فرزند جدیدی را با خواص بهتری نسبت به والدین خود ایجاد می‌کند بعد از آن عملگر جهش در صورتی که در فرزند ایجاد شده توازن بین تعداد نفرات و فعالیت‌های تخصیص داده شده به هم خورده باشد وارد عمل می‌شود و سعی می‌کند با جابجا کردن فعالیت‌های ژن‌های کناری تعادل جدید و بهتری را دوباره ایجاد کند و بعد از آن نیز دوباره مقدار برازندگی برای فرزندان ایجاد شده محاسبه می‌شود و مراحل تا رسیدن به معیار توقف که در این مسئله خاص ایجاد جواب‌های بهتر از روش عددی است تکرار می‌شود. به طور خلاصه گام‌های الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به جواب در نمودار زیر آمده است [۶ و ۱۰].



نمودار ۲. گام‌های الگوریتم ژنتیک

در زیر بهترین خروجی نرم افزار که جواب مسئله می باشد، نشان داده شده است.

نگاره ۲. جواب مسئله

تعداد ایستگاه بهینه		تعداد کارگران		جواب بهینه در روش عددی		جواب بهینه در روش الگوریتم ژنتیک	
۴		۵		۹۵۲۸۴۷		۹۵۳۰۵۹	
ایستگاه ۱ و کارگر ۱				ایستگاه ۲ و کارگر ۱			
تعداد فعالیت	زمان شروع فعالیت	ترتیب انجام فعالیت	زمان استاندارد فعالیت	تعداد فعالیت	زمان شروع فعالیت	ترتیب انجام فعالیت	زمان استاندارد فعالیت
۱	۰	D1		۱	۸۹۶	H3	
۲	۳۴	D2		۲	۹۵۵	G1	
۳	۷۹	D3		۳	۱۰۰۰	G2	
۴	۱۴۲	F4		۴	۱۰۳۴	H4	
۵	۱۷۴	B1		۵	۱۰۶۳	H5	
۶	۲۲۸	B2		۶	۱۱۲۸	H6	
۷	۲۴۷	H1		۷	۱۱۴۵	H7	
۸	۲۸۷	H2		۸	۱۱۶۹	K1	
۹	۳۳۲	D4		۹	۱۲۱۸	K3	
۱۰	۳۶۵	D5		۱۰	۱۲۸۸	K4	
۱۱	۴۰۰	H9		۱۱	۱۳۹۳	K5	
۱۲	۴۶۰	H19		۱۲	۱۴۸۵	K6	
۱۳	۵۱۲	H20		۱۳	۱۵۹۳	K7	
۱۴	۵۳۲	H21		۱۴	۱۷۰۰	K9	
۱۵	۵۵۱	H22		۱۵	۱۷۸۷	K18	
۱۶	۵۷۶	H23		۱۶	۱۷۹۵		
۱۷	۵۹۴	H10					
۱۸	۶۳۲	H11					
۱۹	۶۵۰	H12					
۲۰	۶۹۲	H13					
۲۱	۷۰۷	C1					
۲۲	۷۳۳	C2					
۲۳	۷۶۳	C3					
۲۴	۷۸۳	H8					
۲۵	۸۰۶	H14					
۲۶	۸۵۶	H15					
۲۷	۸۹۶						

ادامه نگاره ۲. جواب مسئله

بیشترین زمان این کارگر (ایستگاه) ۸۹۶ ثانیه				بیشترین زمان این کارگر (ایستگاه) ۸۹۹ ثانیه			
ایستگاه ۲ و کارگر ۲				ایستگاه ۳ و کارگر ۱			
تعداد فعالیت	زمان شروع فعالیت	ترتیب انجام فعالیت	زمان استاندارد فعالیت	تعداد فعالیت	زمان شروع فعالیت	ترتیب انجام فعالیت	زمان استاندارد فعالیت
۱	۸۹۶	E1		۱	۱۷۹۵	N1	
۲	۹۳۴	E2		۲	۱۸۱۰	N2	
۳	۹۷۶	E3		۳	۱۸۴۲	N3	
۴	۹۹۷	E4		۴	۱۸۹۴	N4	
۵	۱۰۱۵	H16		۵	۱۹۵۰	N5	
۶	۱۰۳۴	H17		۶	۱۹۹۱	M1	
۷	۱۰۷۳	H18		۷	۲۰۰۴	M2	
۸	۱۱۱۰	F1		۸	۲۰۶۲	M3	
۹	۱۱۲۵	F2		۹	۲۰۹۵	M4	
۱۰	۱۱۶۲	F3		۱۰	۲۱۴۶	M5	
۱۱	۱۱۸۵	K8		۱۱	۲۱۸۲	M6	
۱۲	۱۲۲۴	K10		۱۲	۲۲۲۵	M7	
۱۳	۱۲۸۰	K11		۱۳	۲۲۸۸	M8	
۱۴	۱۴۰۹	K12		۱۴	۲۳۲۵	M9	
۱۵	۱۵۳۹	K13		۱۵	۲۳۳۶	P1	
۱۶	۱۵۷۹	K14		۱۶	۲۳۶۷	P2	
۱۷	۱۶۰۷	K15		۱۷	۲۳۹۷	P3	
۱۸	۱۶۴۴	K16		۱۸	۲۴۷۲	P4	
۱۹	۱۷۰۸	K17		۱۹	۲۴۹۵	R1	
۲۰	۱۷۶۳	K2		۲۰	۲۶۹۰		
۲۱	۱۷۸۷						
بیشترین زمان این کارگر (ایستگاه) ۸۹۱ ثانیه				بیشترین زمان این کارگر (ایستگاه) ۸۹۵ ثانیه			
ایستگاه ۴ و کارگر ۱							
تعداد فعالیت	زمان شروع فعالیت	ترتیب انجام فعالیت	زمان استاندارد فعالیت				
۱		P5	۲۶۹۰				
۲		P6	۲۷۱۳				
۳		P7	۲۷۳۵				
۴		R2	۲۷۵۰				
۵		R3	۳۰۸۰				
۶		R4	۳۲۶۳				
۷			۳۳۹۳				
بیشترین زمان این کارگر (ایستگاه) ۷۰۳ ثانیه							

همانطور که در بالا مشاهده می شود بیشترین مقدار کارآیی مربوط به ۴ ایستگاه و ۵ کارگر است.

= کارایی خط مونتاژ

$$.۹۵۳ = ۹۹ * ۵ / (۸۹۹-۷۰۳) + (۸۹۹-۸۹۵) + (۸۹۹-۸۹۱) + (۸۹۹-۸۹۹) + (۸۹۹-۸۹۶)$$

یا

$$.۹۵۳ = ۸۹۹ * ۵ / ۸۹۶+۸۹۹+۸۹۱+۸۹۵+۷۰۳$$

$$۲۸,۳۶ = ۸۹۹ / ۶۰ * ۴۲۵ \text{ (دقیقه) } = \text{تعداد موتور تولید شده در روز بعد از اجرای پروژه}$$

$$\text{(ثانیه) } ۵۹ \text{ و (دقیقه) } ۱۴ = ۸۹۹ \text{ (ثانیه) } = \text{سیکل خط مونتاژ بعد از اجرای پروژه}$$

$$\text{(ثانیه) } ۲۱ \text{ و (دقیقه) } ۱۶ = ۹۸۱ \text{ (ثانیه) } = \text{(موتور) } ۲۶ / ۶۰ * ۴۲۵ \text{ (دقیقه) } = \text{سیکل خط مونتاژ قبل از اجرای پروژه}$$

$$۹۵ = ۲۸,۳۶ / ۳۰ = \text{درصد موتور تولید شده به تعداد مطلوب بعد از اجرای پروژه}$$

$$۸۷ = ۲۶ / ۳۰ = \text{درصد موتور تولید شده به تعداد مطلوب قبل از اجرای پروژه}$$

از حل مسئله می توان نتیجه گرفت با توجه به درصد موتور تولید شده به تعداد مطلوب قبل از اجرای پروژه که عبارت بود از ۸۷٪ و درصد موتور تولید شده به تعداد مطلوب بعد از انجام پروژه که ۹۵٪ شده است، انجام پروژه موازنه خط مونتاژ در کارخانه های مونتاژی بسیار لازم و ضروری است. البته بعد از بدست آوردن جواب مسئله به طرق مختلف نیز می توان با تخصیص مجدد فعالیت ها به کارگران و مشاهده نحوه کار آنها، برای بهتر شدن جواب ها و نحوه تخصیص بهینه تر به اصلاح نحوه انجام فعالیت ها پرداخت.

مزایای افزایش کارایی بعد از انجام پروژه را می توان بصورت خلاصه در نگاره زیر مشاهده کرد.

نگاره ۳. میزان افزایش کارایی

توضیحات	قبل از اجرای پروژه	بعد از اجرای پروژه
تعداد موتور مونتاژ شده در هر روز	۲۶	۲۸,۳۶
افزایش تعداد موتور تولید شده بعد از انجام پروژه	-	۲,۳۶
درصد موتور تولید شده به تعداد مطلوب	۸۷	۹۵
درصد کارایی خط مونتاژ	-	۹۵
زمان مونتاژ هر موتور سیکل	۱۶ دقیقه و ۲۱ ثانیه	۱۴ دقیقه و ۵۹ ثانیه
کاهش بیکاری در خط مونتاژ	-	۱ دقیقه و ۲۲ ثانیه
تعداد افراد مشغول به کار در خط مونتاژ	۶ نفر	۵ نفر
افزایش سودآوری در هر روز (سود هر موتور)	-	۸۲۶۰۰ تومان (۳۵۰۰۰ * ۲,۳۶)

نتایج

نتایجی که بعد از اجرای پروژه موازنه خط مونتاژ در کارخانه موتورسازی گرفته شد را می‌توان بصورت خلاصه اینگونه بیان کرد. با اجرای پروژه موازنه خط مونتاژ، می‌توان تا حدودی بیکاری‌های آشکار و پنهان خط را شناسایی کرد و برای رفع آنها برنامه‌ریزی نمود. بین موازنه خط مونتاژ و افزایش بهره‌وری رابطه‌ای مستقیم وجود دارد زیرا همانطور که از نتایج پروژه بر می‌آید بعد از اجرای موازنه خط هم بیکاری خط به میزان ۱ دقیقه و ۲۲ ثانیه کم شد هم توانستیم از نیروی کار مازاد در این خط در قسمت‌های دیگر کارخانه استفاده کنیم، که خلاصه همه اینها افزایش کارایی و سود آوری کارخانه شد. بطور عینی مشاهده شد که استفاده از روش‌های تجسسی و بطور اخص استفاده از مکانیزم الگوریتم ژنتیک باعث بهتر شدن جواب‌ها شد. بنابراین باید در نظر داشت تا هر چه بهتر و کارتر از روش‌های تجسسی در صنعت استفاده کنیم.

منابع

۱. الوانی، سید مهدی و نصر... میر شفیع (۱۳۷۸). مدیریت تولید، مشهد: شرکت به نشر.
۲. جعفرزاد قمی، عین اله و رمضان عباس نژاد (۱۳۸۱). آموزش گام به گام برنامه نویسی با ویژوال ++C، انتشارات علوم رایانه.
۳. خوش الحان اسپیلی، فرید (۱۳۷۶). حل مسئله موازنه خط تولید فازی بوسیله الگوریتم ژنتیکی، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. رائو، اس.اس (۱۳۷۳). بهینه سازی تئوری و کاربرد، مترجم محمد مهدی شهیدی پور، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۵. درهمی، شهاب (۱۳۸۵). موازنه خط تولید با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفه، دانشگاه بوعلی.
۶. سهرابی، بابک (۱۳۷۵). کاربرد الگوریتم توارثی در برنامه‌ریزی بهینه تعویض قطعات طرح‌ریزی تعمیرات و نگهداری، دانشگاه شیراز.
۷. سید حسینی، محمد و سعید صفا کیش (۱۳۸۵). مدیریت تولید و عملیات، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی.

۸. صادقیه، احمد (۱۳۸۴). *تصمیم‌گیری بر اساس الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی*، انتشارات یزد.
۹. علی احمدی، علیرضا (۱۳۷۹). *ارزیابی کار و زمان*، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
۱۰. فقیه، نظام‌الدین و علی هنرور (۱۳۸۳). *الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ریزی بازرسی‌های پیشگیرانه*، انتشارات نسیم حیات.
۱۱. لوکاس، کارو و بهنام مهدوی (۱۳۷۲). *یک روش یادگیری برای شبکه‌های عصبی با استفاده از الگوریتم‌های تصادفی*، امیرکبیر، نشریه علمی وفنی دوره ششم، شماره ۲۳.
۱۲. مرعشی، سید نصرالله (۱۳۸۰). *ارزیابی کار و زمان*، تهران: کارآفرینان بصیر.
13. Cheng,R.,Gen,M.,and Tsujimura,Y.,(1999)" A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithm, part ii:Hybrid Genetic Search Strategies"*Computers&Industrial.Engineering*,vol.36(2).
14. Cheng,R.,Gen,M.,and Tsujimura,Y.,(1999)"A Tutorial Survey of Job Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithm, part ii:Hybrid Genetic Search Strategies "*Computers & Industrial. Engineering*, vol.37(1-2).
15. Dagli,C.H.,and Sittisathanchai,S.,(1995)"Genetic Neuro-Scheduler: A New Approach for Job Shop Scheduling"*International Journal of Production Economics*,vol.41(1-3).
16. Falkenauer, Emanue(1997) ,*Genetic Algorithms and Grouping Problems*.
17. Fukuyama .Y,H.D.Chiang,(1996)" A parallel genetic algorithm for generation expansion planning"*IEEE Trans.On Power System*, 11, no .3.
18. Lavitin, Gregory and Rubinovitz, Jacob and shnits,Boris (2004) ,"A genetic algorithm for robotic assembly line balancing", *European Journal of Operational Research*.no. 168.
19. Mc,M.S,s.m.Gupta(2005),"A balancing method and genetic algorithm for disassembly line balancing", *European Journal of Operational Research* , vol.40 no.179.
20. Park,J.B. and others,(2000), "An improved genetic algorithm for generation capacity expansion planning " *IEEE Trans.On Power System*, vol 15, no .3.