بهینه سازی خط تولید ترکیبی در صنعت تولید پوشاک ورزشی

زینب سلطان‌زاده*، ثریا جابرزاده انصاری

یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، پردیس فنی و مهندسی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

z.soltanzade@yazd.ac.ir

چکیده

احساس نیاز انسان به مد و پوشاک متنوع باعث می‌شود که تنوع پارچه‌های ورودی و پوشاک خروجی از کارخانه‌های تولید پوشاک بسیار زیاد باشد. مطمئنا کنترل و بهینه‌سازی این فرآیند بدون استفاده از نرم‌افزارهای کاربردی، زمانبر و همراه با خطای زیاد خواهد بود. در این پژوهش سعی شده است کاربرد نرم‌افزار بهینه‌سازی لینگو در مدیریت منابع انسانی و تعداد محصولات تولیدی به منظور ماکزیمم‌سازی سود با توجه به محدودیت‌های کارخانه‌های تولید پوشاک ارائه شود که این نرم‌افزار پرکاربرد به راحتی قابل دسترسی می‌باشد. بدین منظور، کارخانه‌ای با تولید سه محصول تی‌شرت، سویی‌شرت و شلوار ورزشی به صورت ریاضی مدل‌سازی شد. تابع هدف ماکزیمم سازی سود کارخانه با انتخاب ماهرترین اپراتور برای هر مرحله از تولید هر محصول و تعداد تولید هر محصول تعریف گردید. تعیین اپراتورهای هر مرحله‌ی کاری بر اساس مهارت آنها و تعداد تولید از هر محصول به عنوان متغیرهای تصمیم تعریف شد. تمام محدودیت‌های کارخانه و منابع انسانی نیز، به صورت ریاضی مطرح شد. در نهایت مدل در نرم‌افزار لینگو حل شد و نتایج نشان داد می‌توان با انتخاب درست اپراتورها و تغییر تعداد تولید هر محصول، سود کارخانه را ۷ درصد افزایش داد. در ادامه با توجه به اینکه این نرم‌افزار محل گلوگاه تولید را مشخص می‌کند می‌توان با پیشنهادهای به‌صرفه، سود را تا ۲۲ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تولید پوشاک، نرم‌افزار لینگو، گلوگاه، زمان‌سنجی

Optimization of Mixed Production Line in Sportswear Industry

Zeynab Soltanzadeh*, Soraya Jaberzadeh Ansari

Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, P.O. Box: 89195-741

z.soltanzade@yazd.ac.ir

The feeling of human need for various fashions and clothes makes the variety of incoming fabrics and outgoing clothing from clothing factories very high. Certainly, controlling and optimizing this process without the use of application software will be time consuming and with a lot of errors. In this research, it has been tried to present the application of Lingo optimization software in human resource management and the number of products produced in order to maximize profits according to the constraints of clothing factories. This widely used software is easily accessible. For this purpose, a factory was mathematically modeled by producing three products: T-shirts, sweatshirt and sports pants. The objective function of maximizing factory profit was defined by selecting the most skilled operator for each stage of production of each product and the number of productions of each product. Determining the operators of each workstation based on their skills and the number of productions of each product were defined as decision variables. All factory and human resource constraints were raised mathematically. Finally, the model was solved in Lingo software and the results showed that the factory profit could be increased by 7% by choosing the right operators and changing the production number of each product. Furthermore, considering that this software determines the location of the production bottleneck, the profit can be increased up to 22% with cost-effective offers.

Keywords: Optimization, Clothing production, LINGO software, Bottleneck, Time study

۱-مقدمه

یکی از اهداف مهم در تمامی صنایع، بهینه‌سازی[1] و متوازن‌سازی خط تولید[2]به منظور افزایش بازده خطوط تولید می‌باشد. متوازن‌سازی خط تولید در کارخانجات پوشاک به دلیل تنوع محصولات و تعداد زیاد مراحل کاری و در نتیجه وجود تعداد زیادی کارگر با مهارت‌های مختلف بسیار مهم و ضروری می‌باشد. طراحی سیستم‌های تولید از دیرباز تاکنون به عنوان یک مساله مهم در مهندسی صنایع مطرح بوده است و به دلیل افزایش رقابت جهانی و گسترش سریع تکنولوژی، این مساله اهمیت بیشتری یافته است. خطوط مونتاژ یکی از گسترده‌ترین سیستم‌های تولید می‌باشند که در اکثر سیستم‌های تولید مورد استفاده قرار می‌گیرند. در خطوط دوزندگی کارخانجات پوشاک به دلیل تعدد عملیات و ماشین‌آلات مختلف و همچنین اپراتورها با مهارت‌های مختلف، متوازن کردن خط در این بخش می‌تواند به افزایش راندمان تولید کمک شایان توجهی نماید اما پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها در طول زمان به صورت شهودی و ذهنی ممکن نبوده و نمی‌توان به صورت شهودی قضاوت کرد. همچنین وجود متغیرهای زیاد در سیستم‌های واقعی و نوسان این متغیرها باعث شده است که به صورت ذهنی نتوان قضاوتی را انجام داد.

بهینه‌سازی یک پروژه، پیدا کردن راه‌حلی است که بهترین استفاده از منابع را برای به حداقل رساندن مدت زمان کل پروژه و یا هزینه‌های کل آن فراهم می‌کند. امروزه بهینه‌سازی کاربرد وسیعی در رشته‌های مختلف مهندسی پیدا کرده است.

روش‌های بهینه‌سازی که برنامه‌ریزی و مدل‌سازی ریاضی نیز نامیده می‌شوند، تنوع بسیار زیادی دارند. هدف از بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب قابل قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسئله است. برای یک مسئله، ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه آن‌ها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می‌شود. انتخاب این تابع به طبیعت مسئله وابسته است. گاهی در بهینه‌سازی چند هدف به طور همزمان مدنظر قرار می‌گیرد، این‌گونه مسائل بهینه‌سازی را که در برگیرنده چند تابع هدف هستند، مسائل چند هدفی می‌نامند.

با معرفی نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مانند GAMS، LINGO، LINDO، ARENA و غیره با ویژگی‌های مختلف، مسئله‌های بهینه‌سازی قابل حل و تجزیه و تحلیل شده‌اند. یکی از نرم‌افزارهای پر کاربرد با قابلیت زیاد در این زمینه نرم‌افزار لینگو است که توسط شرکت لیندوسیستمز[3]ارائه شده است.

این نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم شاخه و کران[4]در زمینه های مختلف بهینه‌سازی در صنعت و تجارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صنعت نساجی نیز از این نرم‌افزار در بخش‌های مختلف این صنعت مورد استفاده قرار گرفته است. به خصوص در مسائل بهینه‌سازی با مثالی از صنعت

[1] Optimization
[2] Production Line Balancing

3 LINDO Systems
4 Branch & Bound Algorithm

نساجی، نگاه ویژه‌ای به این نرم‌افزار و کاربرد گسترده‌ی آن در این بخش شده است.

در سال ۲۰۰۸ سنگوپتا[1] و همکارانش [۱] با در نظر گرفتن یک سری فرضیات، تابع لجستیک را برای برنامه‌ریزی خطی فازی (FLP)[2] ساده کردند و از آن در مدل‌سازی مسئله بهینه‌سازی یک کارخانه‌ی نساجی استفاده کردند. این کارخانه میزان تولیدات یک ماهه و سود خود را بدون استفاده از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی پیش بینی کرده بود. سنگوپتا و همکارانش با استفاده از زمان مورد نیاز برای تولید هر محصول، سود کارخانه از فروش هر محصول و بکارگیری تابع اصلاح شده، مدل‌سازی مسئله را انجام دادند و توسط نرم‌افزار لینگو حل کردند. نتایج حل مسئله توسط لینگو، رضایت‌بخش‌تر از پیش‌بینی کارخانه بود.

در سال ۲۰۱۴ چوداری[3] و همکارش [۲] برای بهینه‌سازی خط تولید یک کارخانه پوشاک که در آن به طور همزمان چند محصول تولید می‌شد، ابتدا نمودار تقدم مراحل تولید هر محصول و سپس نمودار تقدم مدل ترکیبی (تولید همزمان سه محصول) را بدون استفاده از نرم‌افزار رسم کردند. وظایف باید به کارگرانی اختصاص داده شود که قادر به رسیدگی به وظایف مربوطه هستند. با اختصاص دادن کار مناسب به هر ایستگاه، ماشین‌ها می‌توانند کار اختصاص داده شده را با حجم متعادلی انجام دهند. آنها زمان انجام عملیات و هزینه‌ی ایستگاه را به عنوان محدودیت در مدل-سازی وارد کردند. سپس مدل ریاضی را در نرم‌افزار لینگو وارد و حل کردند. با توجه به نتایج بدست آمده از نرم‌افزار لینگو، در مدل ترکیبی تعداد ایستگاه‌های کاری و زمان چرخه‌ی تولید، نسبت به برنامه‌ریزی دستی (بدون استفاده از نرم افزار) کاهش پیدا کرد که در نهایت باعث کاهش هزینه‌های کارخانه شد.

در سال ۲۰۱۵ نیکزاد شهریور[4] و همکارش [۳] برای اولویت‌بندی عوامل موفقیت در مدیریت و ارتباط موثر با مشتری از نرم‌افزار لینگو استفاده کردند. آنها در ابتدا، برای تعیین این عوامل، پرسشنامه‌ای برای مدیران کارخانجات نساجی کاشان تهیه کردند و با استفاده از نرم افزار SPSS افعال به عدد تبدیل شدند. سپس برای تعیین اولویت این عوامل، مدل‌سازی ریاضی در نرم‌افزار لینگو انجام شد و با توجه به نتایج بدست آمده از لینگو اولویت هر عامل در مدیریت ارتباط با مشتری در صنعت نساجی مشخص شده است.

در مطالعه‌ای دیگر، ون‌تان[5] و همکارانش [۴] یک سیستم پشتیبانی برای برنامه‌ریزی تولید در یک شرکت تولید پوشاک طراحی کردند تا تعداد سفارشات به تاخیر افتاده را کاهش داده و زمان تولید را برای افزایش سود شرکت کوتاه کند. آنها مطالعه‌ای بر روی شرکت تولید پوشاکی با ۱۵ خط تولید که تخصص آنها تولید شلوار و پیراهن است انجام دادند که تولید را بر اساس تجربه‌ی کارکنان بخش برنامه-ریزی، مدیریت کرده و منجر به تنظیم تنها ۸۷٪ سفارشات شده است. مشکل این سیستم، نداشتن پشتیبانی تولید

1 Sengupta
2 Fuzzy Linear Programming
3 Choudhary
4 Nikzad Shahrivar
5 Van Thanh

است. طراحی بخشی از این سیستم پشتیبانی، با استفاده از یک برنامه‌ریزی خطی و با بهره‌برداری موثر از نرم‌افزار لینگو انجام شده است.

ژانگ[1] [۵] در مطالعه‌ای به بررسی پیش فروش آنلاین پوشاک و تاثیر آن پرداخت. او با در نظر گرفتن مشکلات انباشته شدن پوشاک به دلیل فروش نرفتن و عوامل موثر بر فروش لباس، مدل‌سازی برای به حداکثر رساندن فروش و سود تولیدی پوشاک طراحی و توسط نرم افزار لینگو آن را حل کرد و در نهایت نتایج بدست آمده از مدل‌سازی را با نتایج توزیع سنتی پوشاک مقایسه کرد. وی در تحقیق خود نشان داد که در بازار پوشاک، در حالت پیش از فروش، محصولات سفارش داده می‌شوند و می‌توان از بازخورد بسیار کارآمد پیش فروش آنلاین برای راهنمایی به کانال-های توزیع پوشاک به روش سنتی با پیش‌بینی تقاضای دقیق در یک محیط خاص استفاده کرد که به کانال توزیع سنتی اجازه می‌دهد تا هر گونه کمبود را تحت کنترل نگه دارد. این امر درآمد فروش و سود کلی را افزایش می‌دهد و مشکل موجودی بیش از حد انبار شده را حل می‌کند.

در سال ۲۰۱۸ خانان[2]و همکارانش [۶] با استفاده از نرم-افزار لینگو مشکل کارخانه‌ی نساجی ساری‌وارنا[3]در اندونزی را حل کردند. مشکل این کارخانه در یکی از انبارهای محصولات بود که آنها با شناسایی مشکلات آن، یک مدل ریاضی برای طراحی انبار ارائه دادند که نتایج بدست آمده از لینگو، نسبت بین مناطق مختلف در انبار را مشخص کرد. با مقایسه حالت قبلی انبار و حالت بهینه‌ی بدست آمده از نرم‌افزار لینگو، مساحت استفاده شده در انبار کمتر و هزینه-ی انبادای ۶/۷۹۰/۲۱۸ روپیه اندونزی کاهش یافت. آنها نشان دادند که با مدل‌سازی و در نظر گرفتن تمام محدودیت‌های پیش روی می‌توان از نرم‌افزار لینگو در طراحی و بهینه‌سازی فضای کارخانه نیز استفاده کرد.

در سال ۲۰۲۰ اونال[4]و همکارش [۷] برای کاهش هزینه-های تولید پوشاک، میزان مصرف پارچه در بخش برش کارخانه‌ی پوشاک را با استفاده از نرم‌افزار لینگو بهینه کردند. آنها بیان کردند که ۵۰-۶۰ درصد هزینه‌ی تولید پوشاک مربوط به پارچه‌ی مصرفی آن است. بنابراین با بهینه کردن مصرف پارچه سعی در کاهش هزینه‌های تولید و در نتیجه، افزایش سود کارخانه کردند. آنها با مدل‌سازی که انجام دادند طول مارکر استفاده شده و تعداد لایه‌های پارچه در بخش برش را در حالت بهینه به دست آورده و با توجه به نتایج بدست آمده، حدود ۷٪ پارچه‌ی مصرفی کاهش یافته که باعث افزایش ۴-۱۳ درصدی سود کارخانه شده است. در نهایت نتیجه گرفتند که استفاده از مارکر طولانی‌تر باعث مصرف پارچه‌ی کمتر می‌شود.

هنیف[5][۸] در سال۲۰۱۲، با هدف بالا بردن بازدهی تولید و کیفیت محصول وکاهش هزینه‌ها، مراحل طراحی یک خط مونتاژ تولید لباس را ارائه کرد و با مدل‌سازی خط تولید با استفاده از نرم‌افزار ارنا، گلوگاه‌ها در ایستگاه‌های‌کاری مشخص شدند که نشان می‌دهد خط

[1] Zhang
[2] Khannan
[3] Sari Warna
[4] Ünal
[5] Hanife

تولید باید بالانس شود. همچنین در این مطالعه دو روش ابتکاری برای بالانس خط مونتاژ در یک کارخانه لباس استفاده شد. ۱- استفاده از تابع توزیع نرمال[1] ۲- استفاده از الگوریتم بیشترین زمان عملیات[2] در روش متوازن‌سازی خط احتمالی از تابع توزیع احتمال نرمال استفاده می‌شود. این باعث می‌شود که مراحل کار با حساسیت بیشتری به یک ایستگاه‌کاری اختصاص داده شوند و نتایج توازن خط مونتاژ قابل اطمینان‌تر می‌شود اما تعداد بیشتر ایستگاه‌های کاری و راندمان خط پایین نیز بدست می‌آیند. درحالی‌که روش دوم انعطاف‌پذیری بیشتری در ترتیب اپراتورها از روش احتمالاتی دارد، بنابراین برای بالانس خط مونتاژ نیز انتخاب می‌شود. همچنین چیدمان ماشین‌آلات می‌تواند به صورت U شکل و یا موازی باشند که راندمان آنها متفاوت می‌شود.

برای طراحی یک خط تولید بلوز زنانه کایار[3] و همکارانش[۹] در سال ۲۰۱۶، اطلاعات مربوط به خط مونتاژ را با زمان‌سنجی و تهیه نمودار تقدم و تاخر عملیات و نمودار جریان کار تولید و نوع ماشین آلات مورد استفاده درهرعملیات را جمع‌آوری کردند و با روش هافمن و برنامه شبیه‌سازی ارنا بالانس خط تولید را انجام دادند و نتایج حاصل از هر دو روش را با یکدیگر مقایسه کردند. گلوگاه‌ها از مدل شبیه سازی سیستم موجود شناسایی شده و با اضافه یا حذف کردن عملیات و یا تعداد اپراتور، تعداد بهینه ماشین‌آلات و اپراتور برای خط تولید به دست آمد. در نهایت نتایج دو روش هافمن و شبیه سازی را مقایسه کردند. نتایج نشان می‌دهد که همان تعداد بلوز را می‌توان با استفاده از دو روش بالانس خط مونتاژ با استفاده کمتر از ماشین‌آلات و تعداد اپراتور و بهره‌وری بالاتر خط، تولید کرد.

هدف از انجام این پژوهش این است که با بررسی زمان انجام عملیات در هر مرحله‌ی کاری برای تولید همزمان سه محصول (خط تولید ترکیبی) و بهینه‌سازی خط تولید به گونه‌ای که با اختصاص دادن ماهرترین اپراتور به هر ایستگاه کاری، در نظر گرفتن زمان انجام عملیات برای تولید محصولات و تعیین تعداد تولید محصولات، سودآوری این کارخانه به حداکثر رسانده شود. در عمل استفاده از حداکثر توان اپراتورها و ماشین‌های دوخت بدون استفاده از نرم-افزارهای کاربردی ممکن نیست، چرا که ممکن است بازده یک ایستگاه به علت ورود کمتر قطعات، کمتر از حداکثر توان تولید آن ایستگاه باشد ولی مدیریت بخش متوجه این موضوع نشود.

۲-مدل‌سازی ریاضی

در صنعت پوشاک، اپراتورها سطوح مهارت[4]متفاوتی برای انجام کارهای[5]مختلف دارند. به منظور بهینه‌سازی و اجرای یک خط مونتاژ با حداقل زمان کاری و هزینه، لازم است وظایف و کارها به اپراتورهایی اختصاص داده شود که بیشترین توانایی را در انجام آن کار دارند. یکی از معیارهای سنجش توانایی اپراتورها در انجام هر وظیفه، مدت زمان

[1] Probabilistic line balancing technique
[2] Largest Set Rule Algorithm
[3] Kayar
[4] Skill
[5] Tasks

انجام کار است. زمان سنجی و مقیاس سنجش زمان، برای مدت زمان انجام عملیات در ماشین آلات، نیروهای انسانی، ایستگاه‌ها و در نهایت سنجش زمانی خط تولید استفاده می‌شود. اگر برآورد از پتانسیل واقعی تولید بیشتر باشد، برنامه تولید عقب خواهد ماند و چنانچه برآورد از پتانسیل واقعی تولید کمتر باشد، ماشین و نیروی انسانی بیکار، هزینه اضافی به سیستم تولید متحمل خواهد شد. لذا برای برنامه‌ریزی واقع بینانه جهت تولید، نیاز به یک روش نظام مند، با استفاده از زمان‌سنجی دقیق میسر خواهد بود. زمان‌سنجی به منظور تعیین زمان لازم برای یک اپراتور واجد شرایط که کار مشخصی را درسطح کارایی معین انجام می‌دهد، استفاده می‌شود. به عبارتی می‌توان گفت که زمان-سنجی روشی است که از طریق آن می‌توان به منافع بسیاری مانند ارائه و انتخاب خدمات بهتر، کاهش هزینه‌ها، ارتقای عملکرد انسانی، افزایش تولید دست یافت و به مدیریت کمک می‌کند که زمان غیر موثر تولید را از زمان موثر آن جدا کند و در نهایت بهره‌وری نیروی انسانی و ماشین‌آلات را افزایش داد.برای رسیدن به این هدف در ابتدا لازم است مدل‌سازی از خط تولید انجام شود. در واقع یک مدل، نمایش خاصی از یک واقعیت است. جنبه مشترک مدل‌ها، علیرغم گوناگونی آنها، ساده کردن "واقعیت" است.. به طور خلاصه و جامع مدل‌سازی به فرایند شناسایی و نمایش ریاضی تابع هدف[1] متغیرهای تصمیم[2] و محدودیت‌های[3] مسأله گفته می‌شود. خروجی و نتیجه مدل‌سازی، بهینه‌سازی خط مونتاژ است. هدف از بهینه‌سازی، یافتن بهترین جواب قابل قبول با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای تولید است. برای یک مسأله، ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه آنها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می‌شود. انتخاب این تابع به طبیعت مسأله وابسته است. به بیان ساده، در یک مسأله بهینه‌سازی، هدف کمینه‌سازی[4] یا بیشینه‌سازی[5]یک تابع حقیقی[6]است؛ برای چنین کاری سیستم بهینه‌سازی ریاضیاتی، به طور سیستماتیک، مقادیر ورودی را از یک مجموعه داده انتخاب و پس از آن، مقدار تابع حقیقی را محاسبه می‌کند. به طور کلی، اصطلاح بهینه‌سازی به فرایندی اطلاق می‌شود که هدف آن پیدا کردن بهترین مقدار برای تابع هدف در یک دامنه تعریف شده است. بهینه‌سازی ابزار مهمی در تصمیم‌گیری و تحلیل سیستم‌های فیزیکی محسوب می‌شود. از نظر ریاضی، یک مسأله بهینه‌سازی، مسأله پیدا کردن بهترین جواب از میان مجموعه‌ای از جواب‌های امکان‌پذیر[7]است

۲-۱ -تابع هدف

تابع هدف در این تحقیق، حداکثر کردن سود در کارخانه مورد مطالعه است. در این کارخانه از خط تولید ترکیبی برای تولید سه محصول، تی‌شرت[8] سویی‌شرت[9] و شلوار[10]ورزشی استفاده شده است.

[1] Objective Function (OF)
[2] Decision variables
[3] Constraints
[4] Minimizing
[5] Maximizing
[6] Real Function
[7] Feasible
[8] T-shirt
[9] Sweatshirt
[10] Pants

$$\text{Max OF} = \text{Profit_Tshirt} * T-shirt + \text{Profit_Sweatshirt} * Sweatshirt + \text{Profit_Pant} * Pant \quad (۱)$$

که:

OF: تابع هدف

T-shirt: تعداد تی‌شرت تولید شده

Sweatshirt: تعداد سویی‌شرت تولید شده

Pant: تعداد شلوار ورزشی تولید شده

سود خالص کارخانه از فروش هر تی‌شرت Profit_Tshirt ، هر گرمکن Profit_Sweatshirt و هر شلوار Profit_Pant می‌باشد.

۲-۲ -شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

شاخص‌های مدل شامل:

W (Workers): تعداد اپراتورها (با اندیس i)

P (Products): تعداد انواع محصولات تولیدی (با اندیس k)

T (Tasks) : ماکزیمم تعداد مراحل کاری در محصولات (با اندیس j). مطمئنا تعداد مراحل کاری در محصولات مختلف، متفاوت است. در این مدل، در محصولاتی که مراحل کاری از T کمتر است، مدت زمان انجام کار در آن مراحل برابر صفر قرار داده می‌شود و در تابع هدف در نظر گرفته نمی‌شود.

پارامترهای مدل شامل:

Time: مدت زمان انجام کار j از محصول k توسط اپراتور i

Ave_{kj}: متوسط مدت زمان انجام کار j از محصول k توسط تعداد W اپراتور

Diff_{ikj}: تفاوت زمانی کار j از محصول k توسط اپراتور i از مقدار متوسط Ave_{kj}

Skill_{ikj}: ماتریسی از مهارت اپراتور i در انجام کار j از محصول k (یک ماتریس باینری است که ۱ نشان دهنده این است که اپراتور در مدت زمانی کمتر از متوسط کار را انجام می‌دهد یعنی مقدار Diff منفی است و ۰ نشان می دهد که مقدار تفاوت (Diff) مثبت است.

Time_Tshirt: مدت زمان دوخت کامل یک تی‌شرت توسط اپراتورهای انتخابی

Time_Sweatshirt: مدت زمان دوخت کامل یک سویی شرت توسط اپراتورهای انتخابی

Time_Pant: مدت زمان دوخت کامل یک شلوار توسط اپراتورهای انتخابی

متغیرهای تصمیم این مدل شامل:

Chosen_{ikj}: متغیر تصمیم باینری که بهترین اپراتور i را برای انجام کار j از محصول k انتخاب می‌کند. اگراپراتور i برای انجام کار j از محصول k انتخاب شود.

Chosen_{ikj}: انتخاب نشود.

T-shirt: تعداد تی‌شرت تولید شده

Sweatshirt: تعداد سویی‌شرت تولید شده

Pant: تعداد شلوار ورزشی تولید شده

۲-۳ -محدودیت‌ها

هدف این مدل‌سازی رسیدن به تابع هدف (۱) با توجه به[1] محدودیت‌های موجود در کارخانه است. در این مدل، محدودیت (۲) تضمین کننده این موضوع است که به هر

[1] Subject to (st)

اپراتور تنها یک کار تخصیص داده شود و محدودیت (۳) تعیین می‌کند که برای انجام هر کار از هر محصول تنها یک اپراتور انتخاب می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{W} Skill_{ikj} * Chosen_{ikj} = 1 \quad \forall k,j \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{T}\sum_{k=1}^{P} Skill_{ikj} * Chosen_{ikj} = 1 \quad \forall i \qquad (۳)$$

مدت زمان دوخت کامل سه محصول از معادلات ۴ تا ۶ محاسبه و تعیین می‌شود.

$$Time_{Tshirt} = \sum_{i=1}^{W}\sum_{j=1}^{T} Time_{ikj} * Chosen_{ikj} \quad k = 1 \qquad (۴)$$

$$Time_{Sweatshirt} = \sum_{i=1}^{W}\sum_{j=1}^{T} Time_{ikj} * Chosen_{ikj} \quad k = 2 \qquad (۵)$$

$$\mathrm{Time_{Pant}} = \sum_{i=1}^{W}\sum_{j=1}^{T} Time_{ikj} * Chosen_{ikj} \quad k = 3 \qquad (۶)$$

تعداد ایستگاه‌ها و ظرفیت آنها در هر کارخانه‌ای مشخص است و مراحل تولید هر محصول در ایستگاه‌های مختلف انجام می‌شود. در واقع هر ایستگاه با توجه به حجم کاری که انجام می‌دهد و ظرفیت آن ایستگاه یک محدودیت در کارخانه است. در کارخانه مورد مطالعه، ۶ ایستگاه و در نتیجه ۶ محدودیت وجود دارد.

اولین ایستگاه کارخانه مدت زمان چاپ بر روی سه محصول است. به صورت معادله (۷) این محدودیت اعمال می‌شود.

$$Print_Tshirt * T - Shirt + Print_Sweatsirt * Sweatshirt + Print_Pant * Pant \leq Days * Shift * 3600 \qquad (۷)$$

که Print_Tshirt، مدت زمان چاپ طرح بر روی یک تی-شرت، Print _Sweatshirt، مدت زمان چاپ طرح بر روی یک سویی‌شرت و Print_Pant مدت زمان چاپ طرح بر روی یک شلوار ورزشی است و ورودی‌های مدل هستند. از آنجایی که در این بهینه‌سازی هدف ماکزیمم کردن سود کارخانه در تعداد روز و ساعت کاری مشخص است، سمت راست محدودیت‌ها بر حسب زمان ارائه می‌شود. Days تعداد روز کاری در یک ماه و Shift ساعت مفید کار در یک روز است. بازده متوسط اپراتورها و دستگاه‌ها (۷۵٪) در مدت زمان کار مفید در یک روز در نظر گرفته شده است. واحد زمان در زمان‌سنجی ثانیه می‌باشد و به همین دلیل سمت راست معادله‌ی (۷) به ثانیه تبدیل شده است.

ایستگاه‌های ۲ تا ۵ مراحل دوخت محصولات است که تعداد مشخصی ماشین دوخت در هر ایستگاه وجود دارد و هر مرحله از هر محصول تنها در یک ایستگاه تکمیل می-شود. معادله‌ی (۸) به طور کلی محدودیت‌های ناشی از این ایستگاه‌ها را به صورت ریاضی نمایش می‌دهد.

$$\mathrm{Tshirt} * \sum_{i=1}^{w} Time(i,1,k) * Chosen(i,1,k) + Sweatshirt * \sum_{i=1}^{w} Time(i,2,k) * Chosen(i,2,k) + Pant * \sum_{i=1}^{w} Time(i,3,k) * Chosen(i,3,k) \leq SM(Station) * Days * Shift * 3600 \quad k \in Station \qquad (۸)$$

که SM(Station) تعداد ماشین دوخت یا تعداد اپراتور را در هر ایستگاه نشان می‌دهد. K برای هر ایستگاه شامل

مراحلی از هر محصول است که در آن ایستگاه انجام می-شود.

هدف این کارخانه تولید حداقل ۴۵۰۰ عدد از هر محصول می‌باشد و تعداد تولید محصولات برابر است. لازم است تعداد پیشنهادی هر محصول یک عدد صحیح مثبت باشد. این نکات هم به عنوان محدودیت‌های مدل به صورت ریاضی وارد می‌شوند.

۳-مدل پیشنهادی

در کارخانه مورد مطالعه، از خط تولید ترکیبی برای تولید تی‌شرت، سویی‌شرت و شلوار ورزشی استفاده شده است. تولید تی‌شرت ورزشی در ۶ مرحله کاری انجام می‌شود که شامل مراحل دوخت آستین‌ها به قطعات پیش و پشت تی-شرت[۱] دوخت لبه‌ی آستین‌ها[۲] درزهای بغل[۳] و اتصال اتیکت[۴] دوخت یقه[۵] دوخت لبه‌ی پایین تی‌شرت[۶] و در نهایت مرحله‌ی نخ‌چینی[۷] اتو[۸] و بسته‌بندی[۹] می‌باشد (شکل ۱).

سویی‌شرت ورزشی در این کارخانه در ۷ مرحله کاری شامل دوخت لبه جیب‌ها[۱۰] و اتصال جیب‌ها به الگوهای پیش، دوخت سرشانه‌ها[۱۱] و اتصال آستین‌ها به سویی‌شرت، دوخت درز آستین‌ها و درزهای بغل، دوخت و اتصال کشباف به لبه‌ی پایین سویی‌شرت[۱۲] سرآستین‌ها[۱۳] و یقه، دوخت زیپ[۱۴] دوخت سجاف‌های جلو دو طرف سویی‌شرت و در نهایت مرحله‌ی نخ‌چینی، اتو و بسته‌بندی تولید می-شود (شکل ۲).

شلوار ورزشی در ۶ مرحله کاری تولید می‌شود. در مرحله‌ی اول آستری جیب‌ها به الگوهای پیش شلوار متصل شده و لبه جیب‌ها[۱۵] دوخته می‌شود. مرحله ۲، درزهای بغل[۱۶] و قطعه‌های کناری جیب[۱۷] شلوار و مرحله ۳، درزهای داخلی[۱۸] و فاق[۱۹] پیش و پشت شلوار دوخته می‌شود. دوخت لبه‌های پایین[۲۰] شلوار مرحله ۴ و اتصال قسمت کمر[۲۱] مرحله ۵ از تولید شلوار است. در نهایت جایگذاری قیطان در قسمت کمری شلوار، نخ‌کشی، اتو و بسته‌بندی انجام می‌شود (شکل ۳).

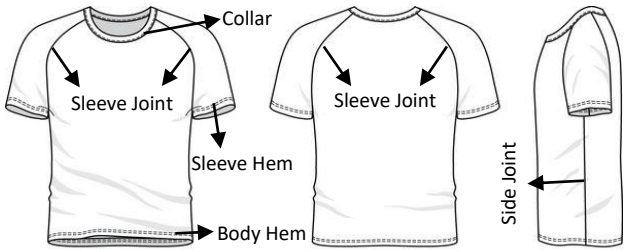
در این مطالعه با زمان‌سنجی، هر اپراتور عملیات هر مرحله را n بار انجام می‌دهد و با استفاده از معادله (۹) مقدار متوسط زمان انجام کار i از محصول k توسط اپراتور j به دست می‌آید.

$$Time_{ikj} = \frac{\sum_{l=1}^{n} x_l}{n} \qquad (۹)$$
$$\forall\, i, k, j$$

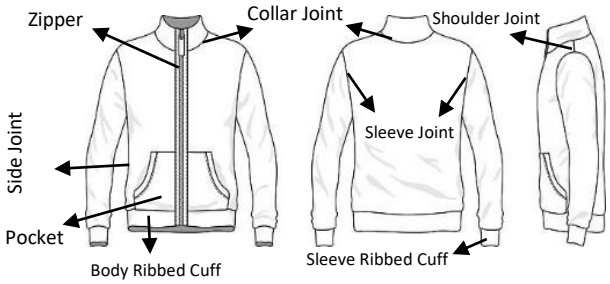
که، $\sum x_l$ مجموع زمان‌های ثبت شده و n تعداد تکرار عملیات است.

[1] Sleeve Joint
[2] Sleeve Hem
[3] Side Joint
[4] Etiquette, Label
[5] Collar
[6] Body Hem
[7] Trimming
[8] Ironing
[9] Packing
[10] Pocket Hem
[11] Shoulder Joint
[12] Body Ribbed Cuff
[13] Sleeve Ribbed Cuff
[14] Zipper
[15] Pocket Hem
[16] Side Seam
[17] Side Pocket
[18] In- Seam
[19] Rise
[20] Bottom Hem
[21] Waistband

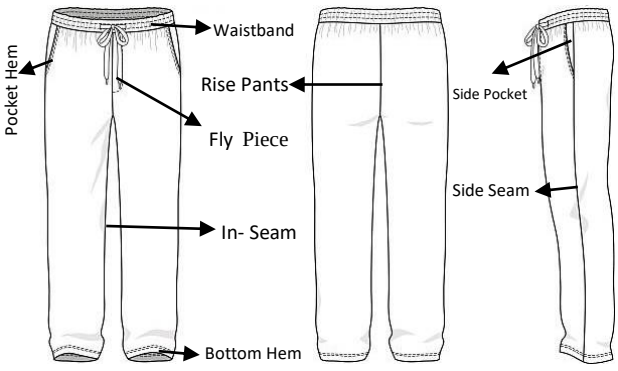
میانگین نتایج زمان‌سنجی عملی به دست آمده برای همه مراحل کاری سه محصول توسط ۲۱ اپراتور بر حسب ثانیه در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- قسمت‌های مختلف یک تی‌شرت ورزشی



شکل ۲- قسمت‌های مختلف یک سویی‌شرت ورزشی



شکل ۳- قسمت‌های مختلف یک شلوار ورزشی

جدول ۱- متوسط زمان انجام مراحل کار سه محصول توسط اپراتورهای مختلف

شماره اپراتور	تی‌شرت						سویی‌شرت							شلوار ورزشی					
	مراحل کاری هر محصول																		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
1	120	71	100	71	82	86	120	145	115	144	130	150	113	92	98	120	62	67	129
2	132	59	90	84	75	91	117	138	120	142	140	145	118	90	97	135	67	66	127
3	120	65	120	100	79	93	160	165	102	156	180	155	120	99	102	115	67	73	141
4	128	67	81	83	85	90	153	160	112	143	180	159	117	85	106	125	64	67	128
5	155	81	80	84	76	86	147	143	107	169	120	147	113	96	125	120	68	80	154
6	132	95	80	110	80	88	130	154	120	152	150	158	115	89	119	130	78	71	137
7	145	90	85	83	83	91	140	150	118	148	150	151	118	89	120	118	66	69	133
8	131	70	80	73	78	92	129	139	109	141	130	149	119	85	122	130	65	67	126
9	190	69	80	100	89	88	121	154	104	139	120	156	115	89	127	120	62	70	124
10	148	81	76	80	96	92	123	142	114	147	140	147	119	90	120	132	66	69	132
11	134	64	80	98	84	88	127	167	123	140	130	159	115	80	106	130	67	65	125
12	130	72	79	85	86	88	143	142	118	160	150	162	115	84	109	125	62	75	145
13	165	69	76	80	76	87	148	140	111	175	140	156	114	95	115	129	60	84	160
14	120	72	77	78	87	86	132	153	125	149	130	160	113	81	117	130	62	71	134
15	135	71	80	79	92	88	164	168	124	152	130	155	115	88	119	122	66	71	137
16	126	72	100	85	83	90	132	149	107	130	130	148	117	80	108	135	70	60	115
17	150	64	98	99	89	83	128	145	112	137	140	153	110	82	99	130	60	60	112
18	150	73	90	82	79	88	130	158	116	140	120	158	115	89	109	120	69	65	125
19	145	80	94	79	95	85	118	145	128	140	128	149	112	85	116	128	68	65	125
20	160	75	78	85	83	92	123	152	125	143	120	158	119	88	125	120	62	67	128
21	165	95	79	105	96	85	135	162	130	146	130	163	112	95	129	130	71	68	131

در کارخانه مورد مطالعه، ۶ ایستگاه وجود دارد. ایستگاه‌های ۱ تا ۶ به ترتیب شامل یک دستگاه چاپ، ۵ چرخ خیاطی با دوخت ۵۰۴، ۳ چرخ دوخت ۴۰۱، ۶ چرخ دوخت ۴۰۶، ۲ چرخ دوخت ۴۰۷ و در نهایت ایستگاه نخ‌چینی، اتو و بسته‌بندی می‌باشند. در جدول ۲ نشان داده شده است که هر مرحله کاری از هر محصول در کدام یک از ایستگاه‌ها انجام می‌شود. تعداد مراحل کاری در هر ایستگاه با تعداد چرخ خیاطی‌های آن ایستگاه برابر است. در واقع ماهرترین اپراتور برای هر چرخ دوخت در هر ایستگاه برای دوخت مرحله‌ی کاری خاصی انتخاب می‌شود و اگر در طول روز، زمان آزاد داشته باشد در همان ایستگاه به اپراتورهای دیگر در دوخت کمک می‌کند.

جدول ۲- مراحل کاری انجام شده در هر ایستگاه

	تی‌شرت	سویی‌شرت	شلوار ورزشی
ایستگاه دوخت ۵۰۴	مرحله‌ی ۳	مراحل ۲ و ۳	مراحل ۲ و ۳
ایستگاه دوخت ۴۰۱	مرحله‌ی ۴	مرحله‌ی ۱	مرحله‌ی ۱
ایستگاه دوخت ۴۰۶	مراحل ۱، ۲ و ۵	مراحل ۵ و ۶	مرحله‌ی ۴
ایستگاه دوخت ۴۰۷	-	مرحله‌ی ۴	مرحله‌ی ۵
ایستگاه بسته‌بندی	مرحله‌ی ۶	مرحله‌ی ۷	مرحله‌ی ۶

همچنین، تعداد روز کاری در یک ماه (Days)، تعداد ساعت کار مفید در یک روز (Shift)، تعداد روز کاری ماشین دوخت کشباف (d)، سود خالص کارخانه از فروش محصولات مدت زمان لازم برای چاپ روی هر محصول

(ثانیه) در جدول (۳) آورده شده است. تمام داده‌های جدول‌های (۱) و (۳) به عنوان پارامتر ورودی در مدل ریاضی استفاده می شود و توسط نرم افزار لینگوحل می شود.

جدول ۳- داده‌های ورودی موردنیاز حل مسئله

محصولات	سود خالص (هزار تومان)	مدت زمان چاپ (ثانیه)	تعداد روز کاری در یک ماه (روز)	متوسط ساعت کار مفید در یک روز (ساعت)
تی‌شرت	25	20		
سویی‌شرت	45	30	26	6
شلوار	30	60		

۴-نتایج و بحث

نتایج بهینه‌سازی پس از حل مدل ریاضی (معادلات ۱ تا ۷) با الگوریتم شاخه و کران با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی لینگو ۱۷ به دست می‌آید. در واقع این کارخانه اعلام کرده است که در طول ماه حدود ۵۰۰۰ عدد از هر محصول تولید می‌کند و ماهیانه حدود ۵۰۰ میلیون تومان سود دارد. با زمان‌سنجی‌های انجام شده از اپراتورهای این کارخانه و انتخاب بهترین اپراتور برای هر مرحله‌ی کاری با توجه به نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار لینگو (شکل‌های ۴ و ۵) سود خالص کارخانه ۵۱۰/۵ میلیون تومان و تعداد تولید هر محصول، ۵۱۰۵ عدد می‌باشد. یعنی با جابه‌جایی اپراتورها و انتخاب اپراتور ماهر برای هر مرحله‌ی کاری سود کارخانه حدود ۲ درصد افزایش می‌یابد. شکل ۴ و ۵ قسمتی از نتایج حل مدل را نشان می‌دهد. در ستون دوم شکل ۴، مقادیر ورودی پارامترها در سطرهای ۲ تا ۶، مقادیر متغیرهای تصمیم (تعداد تولید محصولات) در سطرهای ۷ تا ۹ و مدت زمان تولید هر محصول با توجه به متغیر تصمیم انتخاب ماهرترین اپراتور در سطرهای ۱۰ تا ۱۲ ارائه شده است. ستون سوم شکل ۴، هزینه کاهش‌یافته[1]را نشان می‌دهد. بدین معنا است که به ازای تولید مثلا یک تی‌شرت اضافی، ۲۵ هزار تومان به تابع هدف اضافه می‌شود.

Variable	Value	Reduced Cost
P	3.000000	0.000000
T	7.000000	0.000000
W	21.00000	0.000000
DAYS	26.00000	0.000000
SHIFT	6.000000	0.000000
TSHIRT	5105.000	-25.00000
SWEATSHIRT	5105.000	-45.00000
PANT	5105.000	-30.00000
TIME_TSHIRT	483.0000	0.000000
TIME_SWEATSHIRT	877.0000	0.000000
TIME_PANT	542.0000	0.000000

شکل ۴- تعداد تولید مساوی از سه محصول

نکته قابل تحلیل از نتایج به دست آمده در شکل ۵ ارائه شده است. مقادیر کمبود یا اضافی[2](مازاد) تابع هدف و ۶ محدودیت (معادلات ۷ و ۸) در ستون دوم شکل ۵ نوشته شده است. در واقع با قرار دادن مقادیر متغیرهای تصمیم

[1] Reduced Cost

2 Slack or Surplus

(تعداد هر محصول و انتخاب ماهرترین اپراتور) به دست آمده از حل مدل در هر یک از معادلات تابع هدف و محدودیت‌ها مقدار کمبود یا اضافی حاصل می‌شود. سطر دوم این ستون مقدار ماکزیمم تابع هدف را نشان می‌دهد. اگر از حداکثر توان تولید و نیروهای انسانی این کارخانه استفاده شود، مدت زمان تولید ۵۱۰۵ عدد از هر محصول، ۵۰ ثانیه کمتر از ظرفیت ایستگاه ۱ در یک ماه کاری است (معادله ۷). این بدین معنی است که از حداکثر توان دستگاه چاپ استفاده شده است و تنها ۵۰ ثانیه در ماه، این دستگاه فعال نبوده است. همچنین، با ماشین‌های دوخت ۵۰۴ (معادله ۸)، ۹۲۱۴۰ ثانیه در ماه، دوختی انجام نشده است. در ایستگاه‌های ۳ و ۴ به ترتیب ۳۱۱۵۵۵ و ۴۲۴۰۱۵ ثانیه، چرخ‌های دوخت غیر فعال هستند یعنی هر اپراتور به ترتیب در این ایستگاه‌ها در طول یک روز، متوسط ۶۶/۶ و ۴۵/۳ دقیقه بیکار است یا به طور کلی در طول روز با بازده کمتری دوخت انجام می‌دهد. نکته قابل توجه این است که بازده کار اپراتورها و احتمال‌های خرابی چرخ‌ها دوخت در این کارخانه محاسبه شد و در مسئله در نظر گرفته شده است. طبق محاسبات، کار مفید هر چرخ و اپراتور آن ۷۵٪ است یعنی از ۸ ساعت کاری، تنها ۶ ساعت کار مفید می‌باشد. با این وجود، نتایج تحلیل خروجی نرم‌افزار نشان می‌دهد مدت زمان کار مفید اپراتورها کمتر از مقادیر محاسبه شده است. این بدین علت است که محدودیت در ایستگاه ۱ در این کارخانه گلوگاه ایجاد کرده است و در واقع تعداد محصولاتی که وارد ایستگاه‌های بعدی می‌شود کمتر از ماکزیمم توان نیروهای انسانی و ماشین‌های کارخانه است.

Row	Slack or Surplus	Dual Price
OF	510500.0	1.000000
STATION1_PRINT	50.00000	0.000000
STATION2_504	92140.00	0.000000
STATION3_401	311555.0	0.000000
STATION4_406	424015.0	0.000000
STATION5_407	107305.0	0.000000
STATION6_PACKAGE	25675.00	0.000000

شکل ۵- مقدار کمبود یا اضافی در تولید مساوی محصولات

با توجه به اینکه مدت زمان انجام چاپ در محصولات متفاوت است، اولین ایده‌ای که برای افزایش بازده کارخانه به ذهن می‌رسد، حذف محدودیت تعداد مساوی محصولات است، البته محدودیت تعداد حداقل ۴۵۰۰ از هر محصول در نظر گرفته می‌شود. نتایج به‌دست آمده از حذف این محدودیت در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. با تولید ۷۳۷۷ عدد تی‌شرت، ۴۵۰۰ عدد سویی‌شرت و ۴۸۰۲ عدد شلوار (شکل ۶)، تابع هدف یا مقدار سود کارخانه ۵۳۰/۹۸۵ میلیون تومان (شکل ۷) یا ۶/۲ درصد افزایش می‌یابد. پیشنهاد تولید تعداد بیشتر از دو محصول تی‌شرت و شلوار ورزشی از نظر کارخانه کاملا قابل قبول می‌باشد چرا که فروش و مصرف این دو محصول بیشتر است و حتی دوخت آنها نیز برای کارخانه راحت‌تر است.

Variable	Value	Reduced Cost
P	3.000000	0.000000
T	7.000000	0.000000
W	21.00000	0.000000
DAYS	26.00000	0.000000
SHIFT	6.000000	0.000000
TSHIRT	7377.000	-25.00000
SWEATSHIRT	4500.000	-45.00000
PANT	4802.000	-30.00000
TIME_TSHIRT	490.0000	0.000000
TIME_SWEATSHIRT	882.0000	0.000000
TIME_PANT	538.0000	0.000000

شکل ۶- تعداد تولید نامساوی از سه محصول

Row	Slack or Surplus	Dual Price
OF	530985.0	1.000000
STATION1_PRINT	0.000000	0.000000
STATION2_504	112116.0	0.000000
STATION3_401	217619.0	0.000000
STATION4_406	468.0000	0.000000
STATION5_407	171466.0	0.000000
STATION6_PACKAGE	1525.000	0.000000

شکل ۷- مقدار کمبود یا اضافی در تولید نامساوی محصولات

با حذف محدودیت تعداد مساوی تولید، همچنان ۱۱۲۱۱۶ ثانیه (۱۴ دقیقه در روز هر اپراتور) در ایستگاه ۲، ۲۱۷۶۱۹ ثانیه (۴۶/۵ دقیقه در روز هر اپراتور) در ایستگاه ۳ و ۱۷۱۴۶۶ ثانیه (۵۵ دقیقه در روز هر اپراتور) از حداکثر توان نیروهای انسانی به هدر می‌رود.

همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است، همچنان چاپ خاص و زمان‌بر بر روی سه محصول بازده تولید کارخانه و نیروهای انسانی را کاهش داده است. با موافقت کارخانه و با توجه به درخواست مشتری، تولید دو محصول جدید، تی‌شرت و شلوار ورزشی بدون چاپ و با قیمت مناسب‌تر به مدل‌سازی اضافه و حل شد. در این حالت با تولید ۷۰۲۳ عدد تی‌شرت، ۲۱۰ عدد تی‌شرت بدون چاپ، ۴۵۹۹ عدد سویی‌شرت، ۴۸۴۰ عدد شلوار وزشی و ۱۱۱ عدد شلوار ورزشی بدون چاپ (شکل ۸)، سود خالص کارخانه ۵۳۵/۳۴۷ میلیون تومان خواهد شد که ۷ درصد افزایش سود را نتیجه می‌دهد.

Variable	Value	Reduced Cost
P	3.000000	0.000000
T	7.000000	0.000000
W	21.00000	0.000000
DAYS	26.00000	0.000000
SHIFT	6.000000	0.000000
TSHIRT	7023.000	-25.00000
SWEATSHIRT	4599.000	-45.00000
PANT	4840.000	-30.00000
TSHIRT_WITHOUTPRINT	210.0000	-22.00000
PANT_WITHOUTPRINT	111.0000	-27.00000
TIME_TSHIRT	489.0000	0.000000
TIME_SWEATSHIRT	880.0000	0.000000
TIME_PANT	538.0000	0.000000

شکل ۸- تعداد تولید پنج محصول

Row	Slack or Surplus	Dual Price
OF	535347.0	1.000000
STATION1_PRINT	0.000000	0.000000
STATION2_504	52254.00	0.000000
STATION3_401	218029.0	0.000000
STATION4_406	192.0000	0.000000
STATION5_407	152222.0	0.000000
STATION6_PACKAGE	8.000000	0.000000

شکل ۹- مقدار کمبود یا اضافی در تولید پنج محصول

شکل ۹ علت افزایش سود کم در این حالت نسبت به شرایط قبلی را نشان می‌دهد. ایستگاه ۶ که بسته‌بندی محصولات است محدودیت ایجاد کرده است. اگر یک اپراتور به صورت نیمه وقت به این ایستگاه کمک کند، نتایج به صورت شکل-های ۱۰ و ۱۱ خواهد شد.

Variable	Value	Reduced Cost
P	3.000000	0.000000
T	7.000000	0.000000
W	21.00000	0.000000
DAYS	26.00000	0.000000
SHIFT	6.000000	0.000000
TSHIRT	7027.000	-25.00000
SWEATSHIRT	4503.000	-45.00000
PANT	5029.000	-30.00000
TSHIRT_WITHOUTPRINT	447.0000	-22.00000
PANT_WITHOUTPRINT	350.0000	-27.00000
TIME_TSHIRT	491.0000	0.000000
TIME_SWEATSHIRT	881.0000	0.000000
TIME_PANT	538.0000	0.000000

شکل ۱۰- تعداد تولید پنج محصول با نیروی کمکی در ایستگاه ۶

Row	Slack or Surplus	Dual Price
OF	548464.0	1.000000
STATION1_PRINT	10.00000	0.000000
STATION2_504	20.00000	0.000000
STATION3_401	132680.0	0.000000
STATION4_406	13.00000	0.000000
STATION5_407	156531.0	0.000000
STATION6_PACKAGE	131177.0	0.000000

شکل ۱۱- مقدار کمبود یا اضافی در تولید پنج محصول با نیروی کمکی در ایستگاه ۶

در این حالت سود خالص کارخانه با تولید ۷۰۲۷ عدد تی-شرت، ۴۴۷ عدد تی‌شرت بدون چاپ، ۴۵۰۳ عدد سویی-شرت، ۵۰۲۹ عدد شلوار وزشی و ۳۵۰ عدد شلوار ورزشی بدون چاپ (شکل ۱۰)، به ۵۴۸/۴۶۴ میلیون تومان (شکل ۱۱) خواهد رسید که افزایش ۹/۷ درصد را نشان می‌دهد. شکل ۱۱ نشان می‌دهد در این حالت، گلوگاه کارخانه در ایستگاه‌های ۲ و ۴ است. ایستگاه‌های ۳ و ۵ به ترتیب ۱۳۲۶۸۰ و ۱۵۶۵۳۱ ثانیه یا ۳۶/۸ و ۴۳/۵ ساعت در یک ماه، زمان بیکاری دارند. اگر برای کارخانه امکان خرید یک چرخ خیاطی با دوخت ۵۰۴ (۱۸ روز در یک ماه) و یک چرخ دوخت ۴۰۶ وجود داشته باشد، سود خالص کارخانه به ۶۱۰/۱۲۹ میلیون تومان درماه خواهد بود که افزایش ۲۲ درصدی دارد. در این حالت همان‌طور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، از حداکثر توان و ظرفیت تمام ایستگاه‌ها و اپراتورها استفاده شده است.

Variable	Value	Reduced Cost
P	3.000000	0.000000
T	7.000000	0.000000
W	21.00000	0.000000
DAYS	26.00000	0.000000
SHIFT	6.000000	0.000000
TSHIRT	5673.000	-25.00000
SWEATSHIRT	5219.000	-45.00000
PANT	4500.000	-30.00000
TSHIRT_WITHOUTPRINT	2488.000	-22.00000
PANT_WITHOUTPRINT	1619.000	-27.00000
TIME_TSHIRT	493.0000	0.000000
TIME_SWEATSHIRT	877.0000	0.000000
TIME_PANT	537.0000	0.000000

شکل ۱۲- تعداد تولید پنج محصول با نیروی کمکی در ایستگاه ۶ و افزایش ظرفیت ایستگاه‌های ۲ و ۴

Row	Slack or Surplus	Dual Price
OF	610129.0	1.000000
STATION1_PRINT	0.000000	0.000000
STATION2_504	1904.000	0.000000
STATION3_401	7.000000	0.000000
STATION4_406	12006.00	0.000000
STATION5_407	24.00000	0.000000
STATION6_PACKAGE	24.00000	0.000000

شکل ۱۳- مقدار کمبود یا اضافی در تولید پنج محصول با نیروی کمکی در ایستگاه ۶ و افزایش ظرفیت ایستگاه‌های ۲ و ۴

۵- نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی و حداکثر بهره‌وری از خط تولید در کارخانه‌های تولید پوشاک اهمیت بیشتری دارد چرا که در این کارخانه-ها تعداد قطعات و عملیات انجام شده بر روی آنها خیلی زیاد است. مدیریت با کمک نرم‌افزارهای پیشرفته و به روز، با کارآمدی و نظم بیشتر انجام خواهد شد. مطمئنا در هر کارخانه‌ای محدودیت‌های مالی، نیروی انسانی، ماشین‌آلات و غیره وجود دارد که بدون در نظر گرفتن آنها، بهینه‌سازی غیرمفید و با خطای بالا می‌باشد. در این پژوهش کاربرد نرم‌افزار بهینه‌سازی لینگو در یک کارخانه پوشاک ارائه شده است. با استفاده از این نرم‌افزار مدیران و کارشناسان کارخانه پوشاک می‌توانند با تغییراتی در انتخاب اپراتورها برای هر مرحله‌ی کاری، تعداد تولید هر محصول، چیدمان ماشین‌آلات، تغییر روند جریان مواد یا هر تغییر دیگری، مدت زمان تولید محصولات را کاهش و میزان سود کارخانه را افزایش دهند و نقاط گلوگاه تولید را حذف کنند. نکته حائز اهمیت این است که هر نوع محدودیت کارخانه در این نرم‌افزار قابل تعریف است و در نهایت متغیرهای تصمیم با توجه به محدودیت‌ها و بهینه‌سازی تابع هدف تعیین می-شوند.

۶- مراجع

1. Sengupta, A., Vasant, P.Andeeski, C. J., Fuzzy Optimization with Robust Logistic Membership Function: A Case Study In For Home Textile Industry, The International Federation of Automatic Control, 2008.

2. Choudhary, S.Agrawal, S., Solving a Multi Objective Mixed Model Assembly Line Balancing Problem in Garment Industry, 2014.

3. Nikzad Shahrivar, M.Dehghani Sari, A. R., Evaluating the Critical success factors of strategic customer relationship management (SCRM) in textile industry (with Fuzzy Approach), International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 9, 2015.

4. Thanh, N. V., Building the support system for of production schedule for of the garment Company, Department of Logistics and Supply Chain Management, Ph.D., 2015.

5. Zhang, L., Dynamic Optimization Model for Garment Dual-Channel Supply Chain Network: A Simulation Study, International Journal of Simulation Modelling, 14, 697-709, 2015.

6. Khannan, M. S. A., Nafisah, L.Palupi, D. L., Design for Warehouse with Product Flow Type Allocation using Linear Programming: A Case Study in a Textile Industry, Materials Science and Engineering 319, 2018.

7. Ünal, C.Yüksel, A. D., Cut Order Planning Optimisation in the Apparel Industry, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 139, 8-13, 2020.

8. Hanife, S., CLOTHING ASSEMBLY LINE DESIGN USING SIMULATION AND HEURISTIC LINE BALANCING TECHNIQUES. TEKSTİL ve KONFEKSİYON, 2012.

9. Kayar, M., Akalin, M., Comparing Heuristic and Simulation Methods Applied to the Apparel Assembly Line Balancing Problem, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 24, 131-137, 2016.