

## متعادل سازی خط مونتاژ پوشاک با استفاده از الگوریتم COMSOAL

مازیار قلی پور همدانی، ریحانه شکران، افسانه ولی پوری\*

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، کدپستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

valipouri@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

### چکیده

در این پژوهش هدف بررسی مشکل تعادل خطوط مونتاژ (ALBP) در صنعت پوشاک با استفاده از نرم افزار FLB است. بدین منظور ابتدا خط دوزندگی، مراحل تولید و ترتیب انجام فعالیت‌ها در خط تولید شلوار کار شناسایی شد و سپس خط دوزندگی این محصول به کمک نرم افزار طراحی و پیشنهاد گردید. نتایج ابتدا پنج ایستگاه کاری را با حجم کار نسبتاً یکسان نشان می‌دهد به طوری که حداقل ده ثانیه اتلاف زمان در هر ایستگاه وجود دارد. در این شرایط راندمان تعادل خط ۸۴/۸٪ است. همچنین بررسی تعداد و تنوع ماشین‌آلات مورد نیاز در هر ایستگاه کاری نشان می‌دهد که حداقل ۱۳ چرخ در خط دوزندگی شلوار کار لازم است. در ادامه قابلیت جداسازی فعالیت‌های هر ایستگاه در FLB به منظور کاهش تعداد ماشین‌آلات بررسی شد و نتایج نشان داد می‌توان برنامه‌ریزی ایستگاه‌های کاری را به گونه‌ای انجام داد که سه چرخ کمتر لازم باشد. در این حالت راندمان تعادل خط در مقایسه با حالت قبلی ۲٪ افزایش نشان می‌دهد. نتایج حاصل می‌تواند در تعیین تعداد ایستگاه‌های کاری و اختصاص فعالیت‌ها به هر ایستگاه در برنامه‌ریزی خط تولید پوشاک استفاده گردد.

کلمات کلیدی: تعادل خط تولید، خط تولید پوشاک، نرم افزار FLB، صنعت پوشاک، الگوریتم COMSOAL

## Garment assembly line balancing using COMSOAL algorithm

Maziar Gholipour Hamedani, Reyhaneh Shekarian, Afsaneh Valipouri\*

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, 84156-83111, Iran

valipouri@iut.ac.ir

### Abstract

This study aims to investigate the assembly line balancing problems (ALBP) in the garment industry using Flexible Line Balancing (FLB) software. For this purpose, firstly the work pants sewing line and the sequence of activities in the production process were identified for the work pants sewing process, and then the balanced sewing line was designed and suggested using FLB software. First, the results show five workstations with relatively the same workload, so the idle time for each station is at least 10 seconds. In this way, the line balancing efficiency is equal to 84.8%. Furthermore, the examination of the number and variety of machines required in each workstation leads to at least 13 sewing machines for the pants sewing process. In this regard, the ability of activities separation at the FLB was investigated in order to reduce the number of machines and the results showed that it is possible to plan the workstations in such a way that three less machines are required. In this case, the line balancing efficiency shows a 2% increase compared to the previous case. The results of this paper could be used in determining the number of workstations and assigning activities in the production planning for garment manufacturing.

Keywords: Assembly line balancing, Garment production line, FLB software, Apparel industry, COMSOAL algorithm

## ۱- مقدمه

بخش دوزندگی در یک کارخانه پوشاک به عنوان مهم ترین و حیاتی ترین فرایند شناخته می شود چراکه حجم فعالیت ها و تنوع آن ها در این بخش نسبت به بخش های دیگر تولید در صنعت تولید پوشاک بسیار بیش تر است. خط دوزندگی یک خط مونتاژ محصول است که در آن قطعات نیمه تمام یک لباس در هر ایستگاه کاری به صورت مرحله به مرحله تحت مجموعه ای از عملیات دوزندگی قرار می گیرد تا محصول نهایی تکمیل گردد. از این رو طراحی خطوط مونتاژ متعادل و کارآمد می تواند سودآوری خط تولید را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. تعادل در خط تولید به مفهوم تعادل در اختصاص فعالیت ها به هر ایستگاه کاری است به گونه ای که مجموع زمان انجام کار در هر ایستگاه تقریباً یکسان باشد و همچنین هدررفت زمان در آن ایستگاه بسیار کم باشد.

حجم کار نابرابر بین ایستگاه های کاری یک خط دوزندگی باعث افزایش زمان انتظار می شود که نشان دهنده افزایش زمان چرخه تولید (زمان سیکل) و افزایش هزینه است. به همین دلیل، بالانس خط مونتاژ برای عملکرد مناسب خط تولید بسیار مهم است. در عمل، مدیران خط دوزندگی از تجربیات خود برای تعیین وظایف به ایستگاه های کاری بر اساس توالی کار، سطوح مهارت کارگران و زمان استاندارد مورد نیاز برای تکمیل هر کار استفاده می کنند. اما در این حالت عملکرد تعادل خط بسیار وابسته به شخص است و

تجربه کاری متفاوت مدیران بر بهره وری کلی تولید بسیار تأثیرگذار خواهد بود [۱].

تحقیقات بر روی بالانس خط مونتاژ به دلیل ارتباط مستقیمی که با راندمان تولید دارد، سال ها است به عنوان یک چالش اساسی در خط تولید به شمار می رود. پیشرفت و توسعه رویکرد متعادل سازی کارآمدتر خطوط مونتاژ به منظور بهبود کارایی تولید و پایداری فرآیند تولید همچنان ادامه دارد و مورد توجه بسیاری از محققان است [۲]. این قبیل تحقیقات تاکنون در شرایط مختلف با استفاده از روش های مختلف و با چندین طبقه بندی برای تصمیم گیری بهتر در موقعیت های واقعی بررسی شده است [۳، ۴]. در این گونه مسائل معمولاً سه رویکرد وجود دارد. در نوع اول هدف به حداقل رساندن تعداد ایستگاه های کاری برای یک زمان چرخه معین است. در نوع دوم هدف به حداقل رساندن زمان چرخه برای تعداد معینی از ایستگاه های کاری است و در نوع سوم بررسی حداکثر نمودن سهولت انتقال حجم کار برای تعداد معینی از ایستگاه های کاری مطرح می گردد [۵-۷].

بنابراین از آنجایی که متعادل سازی خط تولید از خانواده مسائل بهینه سازی ترکیبی به شمار می رود می توان آن را از طریق الگوریتم ها و روش های متفاوتی از جمله روش های RPW<sup>۱</sup>، LCR<sup>۲</sup>، الگوریتم مورچگان، الگوریتم ژنتیک و یا نرم افزار Arena بررسی نمود که هر یک پیچیدگی خاص خود را دارد [۸]. کاربرد شبیه سازی کامپیوتری نیز برای

1 Ranked positional weight method (RPW)

2 The Largest Candidate Rule (LCR)

طراحی خط تولید پیراهن آزمایش و بررسی شده است [۹]. نشان داده شده است که تعادل خط تولید برای بهره‌وری بالا در خطوط مونتاژ بسیار مهم است. شبیه‌سازی قادر به کاهش پیچیدگی و افزایش شفافیت در برنامه‌ریزی و مدیریت خطوط مونتاژ است [۱۰]. رویکرد مطالعه زمان نیز با افزایش ۳۶ درصدی بهره‌وری ماشین‌آلات، بهبود تعادل خط تولید را نشان داده است [۱۱]. همچنین نرم‌افزار شبیه‌سازی Arena برای بررسی امکان استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی در متعادل‌سازی خط تولید پوشاک به‌کار گرفته شده است [۱۲]. روشی در طراحی و ارزیابی سیستم‌های مختلف تولید که از بین آن‌ها بتوان بهترین عملکرد را برای اجرای نهایی انتخاب کرد که به صنایع پوشاک کمک می‌کند تا از طریق متعادل کردن خطوط، از منابع خود استفاده بهینه داشته باشند. همچنین الگوریتم ژنتیک برای تخصیص و سطح‌بندی موثر منابع در متعادل‌سازی خط تولید، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری را نشان داده است [۱۳].

علی‌رغم این واقعیت که مطالعات زیادی بر روی روش متعادل‌سازی خط تولید انجام شده است، اما با توجه به سفارشی بودن سیستم تولید پوشاک که منجر به تغییر محصول تولیدی در بازه‌های زمانی مختلف می‌شود، خطوط تولید همچنان نیازمند روشی پویا، سریع و کم‌هزینه برای طراحی و متعادل‌سازی است. روش متعادل‌سازی خط تولید باید علاوه بر کارا بودن، بسیار ساده و کاربردی باشد تا بتوان به آسانی از آن در عمل بهره جست. این مهم در صنعت پوشاک که تنوع ماشین‌آلات و تعداد زیاد نیروی انسانی در

خط تولید پیچیدگی‌های مسائل تعادل خط را دوچندان می‌نماید، بیش‌تر اهمیت می‌یابد. COMSOAL یا روش کامپیوتری توالی‌بندی عملیات برای خطوط مونتاژ ابزاری برای توصیف روابط پیش‌نیازی و اولویت‌هاست که در آن ابتدا فهرستی از فعالیت‌های در دسترس و پیش‌نیاز تهیه می‌شود. سپس فعالیت بعدی که باید برنامه‌ریزی شود به‌طور تصادفی از لیست فعالیت‌های در دسترس انتخاب می‌گردد؛ بنابراین لیست فعالیت‌های در دسترس جدیدی ایجاد می‌شود. COMSOAL این روش را تا زمانی که تمام فعالیت‌ها برنامه‌ریزی شوند و اختصاص یابند تکرار می‌کند. از این‌رو COMSOAL قادر است به سرعت چندین راه‌حل ممکن را تولید نماید اما در نهایت بهترین راه‌حل را به‌عنوان نتیجه گزارش می‌دهد. یک تکرار از این الگوریتم به شرح زیر است [۱۴]:

مرحله ۱: برای هر فعالیت، وظایفی را که بلافاصله بعد از آن انجام می‌شود، به ترتیب اولویت مشخص می‌نماید.  
مرحله ۲: برای هر فعالیت تعداد کل وظایفی که قبل از آن در نمودار اولویت قرار می‌گیرند، در لیست A قرار می‌دهد.  
مرحله ۳: از لیست A، لیست B را ایجاد می‌کند به طوری که لیست B شامل وظایفی است که تعداد صفر وظیفه قبل از خود دارند. در این بخش اگر هیچ وظیفه تخصیص نیافته‌ای باقی نماند، متوقف می‌شود.

مرحله ۴: از لیست B، لیست C ایجاد می‌شود که شامل وظایفی است که زمان اجرای آن‌ها بیش‌تر از زمان در دسترس ایستگاه نباشد. اگر لیست C خالی باشد، یک

ایستگاه جدید با زمان چرخه کامل در دسترس باز شده و مرحله ۴ تکرار می‌گردد.

مرحله ۵: به‌طور تصادفی از لیست C وظیفه‌ای برای تخصیص به ایستگاه انتخاب می‌شود.

مرحله ۶: زمان در دسترس ایستگاه و لیست B به روز می‌شود تا در این بخش زمان مصرف شده و فعالیت‌های پیشین تکمیل شده مشخص گردد. اگر لیست B خالی باشد لیست A به روز می‌شود و مرحله ۳ تکرار می‌گردد، در غیر این صورت مرحله ۵ تکرار می‌شود.

نرم‌افزار FLB که بر اساس الگوریتم COMSOAL طراحی شده است، ابزاری بسیار مفید برای متعادل‌سازی است و می‌توان آن را بخش مهمی از طراحی خط مونتاژ دانست. به‌طور کلی نتایج حاصل از این الگوریتم دقیق‌تر از محاسبه دستی برای مسائل پیچیده است که پس از مرحله تجزیه و تحلیل فعالیت‌ها و زمان استاندارد برای انجام هر فعالیت، مراحل مونتاژ محصول را بسته به زمان چرخه تولید در بین ایستگاه‌های کاری توزیع می‌نماید. زمان چرخه که از نسبت ساعات کاری مفید به تعداد خروجی خط در یک واحد زمانی (مانند روز) محاسبه می‌شود، تعیین‌کننده حداکثر زمان مورد انتظار از انجام فعالیت‌ها در ایستگاه‌های کاری است. بنابراین نرم‌افزار با داشتن این زمان و همچنین زمان استاندارد هر فعالیت می‌تواند تعداد ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های لازم در هر ایستگاه را تعیین نماید که البته توالی فعالیت‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود. بنابراین باعث

صرفه‌جویی در زمان و بنابراین صرفه‌جویی در هزینه‌های شرکت می‌شود [۱۵].

در این پژوهش با توجه به اهمیت بررسی روش‌های متعادل‌سازی خط دوزندگی پوشاک و همچنین به‌منظور بررسی میزان کارایی نرم‌افزار FLB در متعادل‌سازی خط تولید پوشاک، خط دوزندگی شلوار کار در کارخانه بردیای جنوب مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نیز با توجه به اهمیت در نظر گرفتن نوع و تنوع ماشین‌آلات در هر ایستگاه کاری که در متعادل‌سازی خط بسیار موثر هستند، حداقل تعداد ماشین‌آلات دوزندگی خط تولید بررسی شد.

## ۲- روش انجام تحقیق

در راستای تحلیل ساختار فرآیندهای مونتاژ لباس، فرآیند دوخت شلوار با هدف درک چگونگی جریان تولید در خط دوزندگی کارخانه نساجی بردیا جنوب مورد شناسایی قرار گرفت. در تولید شلوار، به‌طور عمده چهار مرحله اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از (۱) آماده‌سازی جیب، کمری، مارک و... (۲) آماده‌سازی قطعات پشت شلوار، (۳) آماده‌سازی قطعات جلو شلوار و (۴) مونتاژ. در اولین قدم جیب‌ها، سجاف‌ها، کمری و قطعاتی از این قبیل با توجه به مدل لباس آماده می‌شوند. سپس هر دو جیب پشت و جلو به ترتیب به پارچه پشت و جلو شلوار متصل می‌شود. قطعات جلو و پشت شلوار به‌صورت جداگانه آماده می‌شوند (دوخت پنس‌ها و...). سپس تمام قطعات پارچه به‌منظور شکل دادن به شلوار به ترتیب مونتاژ می‌شوند: پارچه‌های پشت و جلو متصل می‌شوند. زیپ وصل شده و کمر بند و

شد. هر چند زمان مورد نیاز برای انجام یک کار به عوامل زیادی مانند حجم کار، کارگر، خواص پارچه و دیگر مواد مصرفی، محیط کار، سطح کیفی محصول و ساعت روز بستگی دارد [۱۷]، به طور میانگین هر فعالیت طی یک زمان مشخص توسط کارگران انجام می‌گیرد. به منظور محاسبه زمان واقعی هر فعالیت، زمان انجام آن توسط زمان‌سنج با دقت ثانیه به تعداد پنج بار اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس میانگین آن محاسبه شده و به عنوان زمان استاندارد آن فعالیت مفروض گردید [۱۳].

کمر هم بسته و دوخته می‌شود و به این ترتیب کار دوخت شلوار به پایان می‌رسد [۱۶].

خط دوزندگی شلوار کار شامل ۱۹ مرحله و فعالیت مختلف است که بعضی پیش‌نیاز انجام دیگری است و توالی آن‌ها از جمله مواردی است که باید تعیین گردد. در جدول ۱، شرح هر فعالیت و پیش‌نیاز آن آمده است. متعادل‌سازی خط دوخت و همچنین افزایش کارایی خط مستلزم مطالعه دقیق کار و زمان فرایند تولید است. در این راستا علاوه بر تعیین مراحل دوخت شلوار و همچنین تعیین توالی عملیات و پیش‌نیازها، زمان مورد نیاز برای انجام هر فعالیت بررسی

جدول ۱ شرح فعالیت‌ها، پیش‌نیازها و زمان استاندارد هر فعالیت در خط دوزندگی شلوار کار

شماره فعالیت	شرح فعالیت	پیش‌نیاز	زمان استاندارد (ثانیه)	نوع ماشین
1	سردوز اولیه (فاق) <sup>۱</sup>	---	6	سردوز سه نخ
2	دوخت جیب پیش <sup>۲</sup>	1	37	راستادوز
3	اتصال الگوهای پیش با زیپ <sup>۳</sup>	2	118	راستادوز
4	سردوز جیب فیلتاپ <sup>۴</sup>	---	6	سردوز سه نخ
5	بستن پنس پشت <sup>۵</sup>	---	21	راستادوز
6	فیلتاپ <sup>۶</sup>	4	25	دستگاه فیلتاپ
7	کامل کردن جیب عقب <sup>۷</sup>	5,6	74	راستادوز
8	بستن جیب عقب <sup>۸</sup>	7	56	راستادوز
9	وصل الگوهای پشت <sup>۹</sup>	8	10	سردوز پنج نخ
10	نمای دودوز فاق پشت <sup>۱۰</sup>	9	31	ماشین دودوز
11	سردوز و اتصال دو الگوی پیش و پشت از درز پهلو <sup>۱۱</sup>	3,10	55	سردوز پنج نخ
12	دوخت دودوز درز پهلو <sup>۱۲</sup>	11	54	ماشین دودوز
13	دوخت مارک و بندهای کمری <sup>۱۳</sup>	12,19	67	راستادوز
14	دوخت کمری شلوار <sup>۱۴</sup>	13	60	راستادوز
15	بستن کمری شلوار <sup>۱۵</sup>	14	58	راستادوز
16	دوخت شیرنگ <sup>۱۶</sup>	15	52	راستادوز
17	سردوز درز داخلی شلوار <sup>۱۷</sup>	16	40	سردوز پنج نخ
18	دوخت دمپا <sup>۱۸</sup>	17	100	راستادوز
19	دوخت بند کمری شلوار <sup>۱۹</sup>	---	20	چرخ بند دوز

<sup>11</sup> Side seam: attaching front and back patterns

<sup>12</sup> Side seam: double stitches

<sup>13</sup> Waistband sewing (1)

<sup>14</sup> Waistband sewing (2)

<sup>15</sup> Waistband sewing (3)

<sup>16</sup> Fluorescent pieces attaching

<sup>17</sup> Inner seam finishing and attaching

<sup>18</sup> Hemming

<sup>19</sup> Waistband sewing (belt loops)

<sup>1</sup> Crotch: fabric edge finishing

<sup>2</sup> Front pocket sewing

<sup>3</sup> Sewing the zipper: front patterns attaching

<sup>4</sup> Welt pocket: fabric edge finishing

<sup>5</sup> Darts sewing (back)

<sup>6</sup> Welt pockets sewing

<sup>7</sup> Back pocket sewing (1)

<sup>8</sup> Back pocket sewing (2)

<sup>9</sup> Back patterns attaching

<sup>10</sup> Crotch: double stitches

داده‌های موجود در جدول ۱ به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار FLB وارد شد و برای هر فعالیت پیش‌نیازها و زمان استاندارد آن تعریف گردید. در شکل ۱ ورودی اولیه مربوط به هر فعالیت در نرم‌افزار نشان داده شده است. در این نرم‌افزار هر فعالیت با یک شماره مشخص می‌شود که به کمک آن پیش‌نیازها نیز تعیین می‌گردند. ستون Prec در شکل ۱ در بردارنده پیش‌نیازهای مربوط به هر فعالیت است که با شماره آن فعالیت به نرم‌افزار وارد شده است. ستون ST نیز بیانگر زمان استاندارد انجام فعالیت است. در ادامه لازم است زمان چرخه تولید وارد گردد. با توجه به اینکه در یک شیفت کاری (یک روز) در این کارخانه با احتساب زمان استراحت و دیگر زمان‌های اتلافی، ۸ ساعت کار مفید انجام می‌گیرد و در نهایت ۱۳۱ خروجی یا محصول نهایی دوخته می‌شود بنابراین زمان چرخه برحسب ثانیه طبق رابطه ۱ [۱۶] معادل ۲۲۰ ثانیه به دست می‌آید که به‌عنوان ورودی دیگری به نرم‌افزار داده شده است.

(۱)  $\frac{\text{زمان کاری مفید}}{\text{تعداد خروجی}} = \text{زمان چرخه}$

تا اینجا تمام ورودی‌های لازم برای تعیین تعداد ایستگاه‌های کاری و همچنین تعیین فعالیت‌های هر ایستگاه به نرم‌افزار داده شد و خروجی نرم‌افزار بر اساس زمان، گرفته شد. سپس حداقل تعداد ماشین‌آلات برای هر ایستگاه تعیین گردید و استفاده از گزینه جداسازی<sup>۱</sup> فعالیت‌ها در نرم‌افزار به منظور حداقل نمودن تعداد ماشین-آلات و حجم کاری ایستگاه‌ها بررسی شد. با کمک این گزینه می‌توان بعضی فعالیت‌ها را محدود نمود تا با هم در یک ایستگاه کاری قرار نگیرند. مزیت این کار در کاهش تعداد ماشین‌آلات با کاربردهای ویژه و با استفاده محدود در خط تولید است. در این مطالعه فعالیت‌های مرتبط با ماشین‌آلات دوزندگی سردوز سه نخ، چرخ دودوز، دستگاه فیلتاپ و چرخ بنددوز به‌عنوان ماشین‌آلات با کاربرد ویژه که استفاده کمتری در خط تولید دارند محدود شد و خروجی حالات مختلف نرم‌افزار با هم مقایسه گردید.

No	Workstation #	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Tools
1		crotch: fabric edge finishing	6	1			F	3thread overlock machine
2		front pocket sewing	37	2	1		F	lockstitch sewing machine
3		sewing the zipper: front patterns attaching	118	3	2		F	lockstitch sewing machine
4		welt pocket: fabric edge finishing	6	4			F	3thread overlock machine
5		darts sewing	21	5			F	lockstitch sewing machine
6		welt pockets sewing	25	6	4		F	pocket welting machine
7		back pocket sewing (1)	74	7	5,6		F	lock stitch sewing machin
8		back pocket sewing (2)	56	8	7		F	lockstitch sewing machine
9		back patterns attaching	10	9	8		F	5thread overlock machine
10		crotch: double stitches	31	10	9		F	double needle machine
11		side seam: attaching front and back patterns	55	11	3,10		F	5thread overlock machine
12		side seam: double stitches	54	12	11		F	double needle machine
13		waistband sewing (1)	67	13	12,19		F	lockstitch machine
14		waistband sewing (2)	60	14	13		F	lockstitch machine
15		waistband sewing (3)	58	15	14		F	lockstitch machine
16		fluorescent pieces attaching	52	16	15		F	lockstitch machine
17		inner seam finishing and attaching	40	17	16		F	5thread overlock machine
18		hemming	100	18	17		F	lockstitch sewing machine
19		waistband sewing (belt loops)	20	19			F	belt loop making machine

شکل ۱ ورودی فعالیت‌ها و پیش‌نیازها در نرم‌افزار FLB

<sup>۱</sup> separate

## ۳- نتایج و بحث

هدف از تعادل خط به حداقل رساندن زمان بیکاری و توزیع وظایف در هر ایستگاه کاری است به گونه‌ای که سرعت تولید کالاها، امکان برآورده کردن تقاضای محصول را در زمان مورد نیاز فراهم نماید. در نتیجه، هر ایستگاه کاری مدت‌زمان ثابتی دارد تا تمام وظایف محول شده به آن را انجام دهد. توالی مونتاژ و تخصیص وظایف به ایستگاه‌های کاری با اطمینان از هرگونه روابط تقدم موجود بین وظایف مونتاژ انجام می‌شود. از آنجایی که وظایف را نمی‌توان به فعالیت‌های جزئی‌تر تقسیم کرد، یک کار واحد را می‌توان تنها به یک ایستگاه خاص اختصاص داد؛ همان‌طور که در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است.

شکل ۲ حالت پیشنهادی FLB برای اختصاص فعالیت‌ها به ایستگاه‌های کاری است. طبق این شکل، به‌منظور دوخت شلوار کار، پنج ایستگاه کاری لازم است که در هر یک تعدادی فعالیت انجام می‌گیرد. در ایستگاه اول، فعالیت‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۹؛ در ایستگاه دوم، فعالیت‌های ۶ تا ۱۰؛ در ایستگاه سوم فعالیت‌های ۱۱ تا ۱۳؛ در ایستگاه چهارم، فعالیت‌های ۱۴ تا ۱۷ و در ایستگاه پنجم فعالیت ۱۸ قرار می‌گیرد. شکل ۳ چرخه تولید شلوار کار را به‌صورت نمودار نشان می‌دهد. در این شکل فعالیت‌های هر ایستگاه با رنگی جداگانه نشان داده شده است. برنامه‌ریزی فعالیت‌ها در هر ایستگاه به‌گونه‌ای است که مجموع زمان فعالیت‌ها در ایستگاه‌های مختلف نسبتاً مساوی باشند تا تعادل خط برقرار گردد. این تعادل را می‌توان از نمودار شکل ۴ دریافت

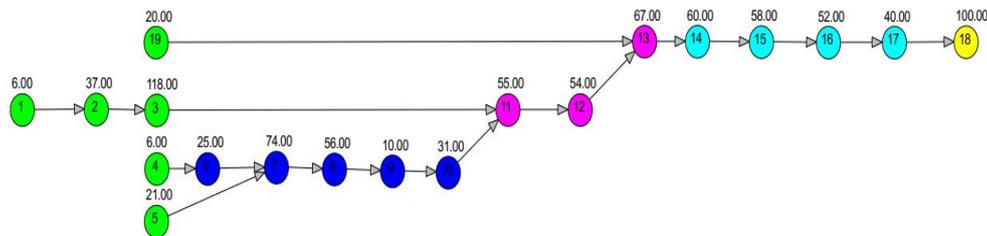
نمود. طبق شکل ۴ هر چند ایستگاه اول شامل شش فعالیت است اما از نظر زمان تقریباً برابر با مجموع فعالیت‌ها در ایستگاه‌های دیگر با تعداد فعالیت کمتر است.

بر اساس نمودار شکل ۴،  $T/T^1$  حداکثر زمان عملیات در ایستگاه‌های کاری است و  $N/T$  زمان کل عملیات در هر ایستگاه است بنابراین همواره  $T/T$  برابر یا بیش‌تر از  $N/T$  است ( $T/T \geq N/T$ ). یکی از پارامترهای مهم در حل مسائل ALBP اختلاف مقادیر  $T/T$  و  $N/T$  یا  $T/T - N/T$  است. این مقدار نشان‌دهنده زمان بیکاری یا اتلاف در هر ایستگاه است [۱۸]. طبق شکل ۴، زمان  $T/T$  معادل ۲۲۰ ثانیه و حداکثر مقدار  $N/T$  معادل ۲۱۰ ثانیه است. بنابراین حداقل ۱۰ ثانیه هدررفت در هر ایستگاه وجود دارد که باعث می‌شود راندمان تعادل خط معادل  $84/8\%$  به دست آید. راندمان تعادل خط از طریق تقسیم مجموع زمان فعالیت‌ها در ایستگاه‌ها به مجموع زمان در دسترس ایستگاه‌ها محاسبه می‌گردد [۱۹]. بر این اساس ایستگاه کاری پنجم باعث کاهش راندمان تعادل خط شده است چراکه تنها فعالیت ۱۸ در آن قرار دارد که نسبت به دیگر ایستگاه‌ها حجم کاری کمتر با زمان کمتری دارد. شکل ۵ نشان‌دهنده اختلاف زمان در دسترس (۲۲۰) و مجموع زمان انجام کار در هر ایستگاه است که به‌نوعی اتلاف زمان یا زمان بیکاری هر ایستگاه را نشان می‌دهد. طبق این شکل در ایستگاه چهارم کمترین زمان بیکاری و در ایستگاه سوم بیش‌ترین زمان بیکاری وجود دارد.

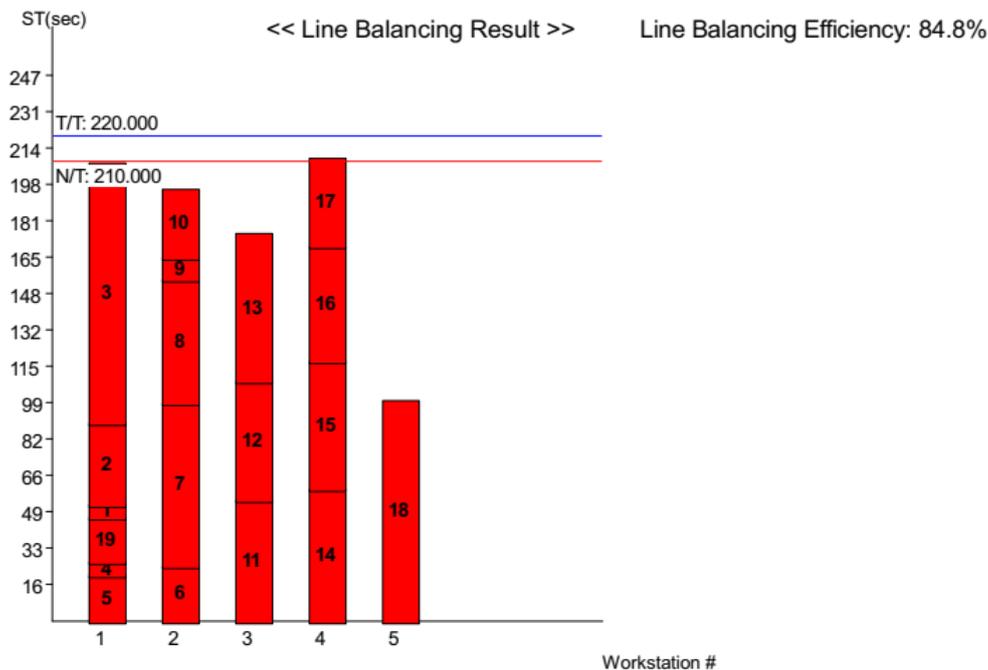
<sup>1</sup> Takt Time

No	Workstation #	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Tools
1	1	welt pocket: fabric edge finishing	6	4			F	3thread overlock machine
2		croch: fabric edge finishing	6	1			F	3thread overlock machine
3		waistband sewing (belt loops)	20	19			F	belt loop making machine
4		front pocket sewing	37	2	1		F	lockstitch sewing machine
5		darts sewing	21	5			F	lockstitch sewing machine
6		sewing the zipper: front patterns attaching	118	3	2		F	lockstitch sewing machine
7	2	welt pockets sewing	25	6	4		F	pocket welting machine
8		back pocket sewing (1)	74	7	5,6		F	lock stitch sewing machine
9		back pocket sewing (2)	56	8	7		F	lockstitch sewing machine
10		back patterns attaching	10	9	8		F	5thread overlock machine
11		croch: double stitches	31	10	9		F	double needle machine
12	3	side seam: attaching front and back pattern	55	11	3,10		F	5thread overlock machine
13		side seam: double stitches	54	12	11		F	double needle machine
14		waistband sewing (1)	67	13	12,19		F	lockstitch machine
15	4	waistband sewing (2)	60	14	13		F	lockstitch machine
16		waistband sewing (3)	58	15	14		F	lockstitch machine
17		fluorescent pieces attaching	52	16	15		F	lockstitch machine
18		inner seam finishing and attaching	40	17	16		F	5thread overlock machine
19	5	hemming	100	18	17		F	lockstitch sewing machine

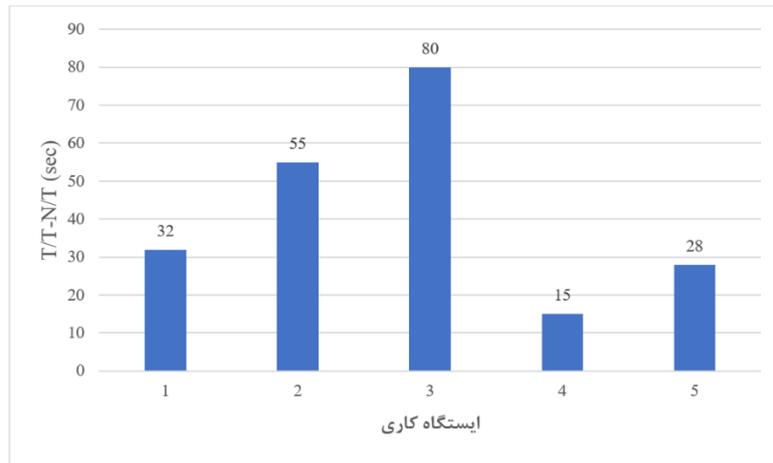
شکل ۲ نتیجه FLB از تعیین ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های هر ایستگاه



شکل ۳ نتیجه FLB از تعیین ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های هر ایستگاه



شکل ۴ نتیجه FLB از تعیین ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های هر ایستگاه



شکل ۵ میزان زمان بیکاری در هر ایستگاه (اختلاف زمان T/T-N/T)

لازم برای هر ایستگاه را نشان می‌دهد. طبق این جدول برای خط دوخت شلوار کار حداقل ۵ چرخ راستادوز، ۲ چرخ سردوز پنج نخ، ۱ چرخ سردوز سه نخ، ۲ چرخ دودوز، ۱ چرخ بنددوز و یک دستگاه فیلتاپ نیاز است و در مجموع حداقل با ۱۳ چرخ دوخت خط دوزندگی شلوار کار قابل اجراست. بنابراین تعداد و تنوع ماشین‌آلات لازم در هر ایستگاه بسیار متفاوت از سایر ایستگاه‌هاست و هرچند راندمان ۸۴/۸٪ مقدار مطلوبی برای تعادل خط به شمار می‌رود اما در عمل در چیدمان خط دوزندگی برای ایستگاه‌های کاری تناسب مطلوبی وجود ندارد.

نتایج مذکور بهینه‌ترین حالتی است که الگوریتم COMSOAL برای شرایط موجود محاسبه و ارائه نموده است. ماشین‌آلات لازم در خط دوخت شلوار کار طبق جدول ۱ شامل چرخ راستادوز، چرخ سردوز پنج نخ و سه نخ، چرخ دودوز، چرخ بند دوز و دستگاه فیلتاپ است. با توجه به فعالیت‌های محول به ایستگاه‌های کاری بر اساس شکل ۲ می‌توان دریافت که در ایستگاه اول حداقل ۴ نوع چرخ راستادوز، سردوز سه نخ، چرخ بنددوز و دستگاه فیلتاپ لازم است درحالی‌که برای ایستگاه پنجم یک چرخ راستادوز کافی است. جدول ۲ حداقل تعداد ماشین‌آلات

جدول ۲ حداقل تعداد ماشین‌آلات در هر ایستگاه

نوع ماشین‌آلات	ایستگاه کاری				
	5	4	3	2	1
چرخ راستادوز	1	1	1	1	1
چرخ سردوز پنج نخ		1	1	1	
چرخ سردوز سه نخ					1
چرخ دو دوز			1	1	
چرخ بند دوز					1
دستگاه فیلتاپ				1	
<b>مجموع</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

یکی از ارکان اساسی در خط تولید پوشاک، ماشین‌آلات و نیروی انسانی است. خط دوخت باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که بهره‌وری ماشین‌آلات و نیروی انسانی نیز به حداکثر برسد. بهره‌وری ماشین‌آلات در خط دوخت را می‌توان از نسبت زمان کاری آن ماشین به زمان در دسترس برای کار با آن ماشین تعریف نمود [۲۰]. طبق این تعریف هرچه زمان بیکاری ماشین کمتر باشد بهره‌وری آن بیش‌تر است. به‌منظور کاهش زمان بهره‌وری ماشین‌آلات باید حجم کار به گونه‌ای بین ایستگاه‌های کاری تقسیم گردد که در هر ایستگاه ماشین‌آلات همواره دارای فعالیت باشند. با حداقل نمودن تعداد و تنوع ماشین‌آلات در هر ایستگاه کاری می‌توان به این مهم دست یافت [۲۱]. به‌طور مثال جدول ۲ نشان می‌دهد که حداقل دو چرخ دودوز در خط دوخت شلوار لازم است. چرخ دودوز یک دستگاه با کاربرد ویژه است که از نظر قیمت نیز بیش‌تر از سایر ماشین‌آلات می‌باشد بنابراین در هر خط تولید باید تا حد امکان تعداد کمتری از این ماشین برنامه‌ریزی شود و حجم کار آن افزایش یابد. بالا بودن زمان بیکاری چنین دستگاهی نرخ کلی بهره‌وری تولید را کاهش می‌دهد.

بهره‌وری نیروی انسانی نیز باید در برنامه‌ریزی ایستگاه‌های کاری در نظر گرفته شود. باید توجه داشت که کارگران معمولاً به کارگر ساده و کارگر ماهر با سطوح مهارت مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند. کارگر ساده فقط می‌تواند یک نوع فعالیت را انجام دهد و کارگران ماهر فعالیت‌های متنوع و پیچیده‌تری را می‌توانند به انجام برسانند. از طرف دیگر بعضی از ماشین‌آلات ساده‌تر هستند و تمامی کارگران

می‌توانند با آن کار کنند درحالی‌که کار با بعضی از ماشین‌آلات نیازمند سطح مهارت بالاتری است [۲۲]. به‌طور مثال چرخ راستادوزی یکی از ماشین‌آلات پرکاربرد در تولید پوشاک است که کارگران زیادی قادر به کار با آن هستند اما کار با چرخ سردوز نیازمند مهارت بیش‌تری است. با این توضیحات و با توجه به شکل ۴ هرچه تعداد و تنوع فعالیت‌ها در هر ایستگاه بیش‌تر باشد، آن ایستگاه نیازمند کارگر ماهرتری است که هزینه بیش‌تری برای تولید ایجاد می‌کند. به‌طور مثال در ایستگاه اول تا سوم تعداد و تنوع فعالیت‌ها زیاد است و در این ایستگاه‌ها باید تعداد کارگر بیش‌تر و یا کارگرهای بسیار ماهر با مهارت‌های چندگانه برای انجام کارهای مختلف را در نظر گرفت که همان‌طور که ذکر شد هزینه زیادی بر تولید اعمال می‌نماید. بنابراین اگرچه از نظر زمان انجام فعالیت‌ها، ایستگاه‌های کاری در تعادل هستند اما نکات مذکور مربوط به تنوع ماشین‌آلات و فعالیت‌ها و تعداد آن‌ها نیز در هر ایستگاه باید در نظر گرفته شود [۲۳].

در نرم‌افزار FLB قابلیت جداسازی فعالیت‌ها وجود دارد. با این قابلیت می‌توان فعالیت‌هایی که به دلیل نبایند در یک ایستگاه کاری باشند را از هم جدا نمود. از این قابلیت به‌خوبی می‌توان در کاهش تعداد حداقلی ماشین‌آلات در هر ایستگاه استفاده کرد. به این صورت که ماشین‌آلات ویژه که استفاده کمتری دارند را از هم جدا نموده که تا حد ممکن در یک ایستگاه نباشند و از این طریق بتوان تنوع ماشین‌آلات هر ایستگاه را کاهش داد. بنابراین برای ماشین‌آلات بند دوز و فیلتاپ که درگیر با فعالیت‌های ۱۹

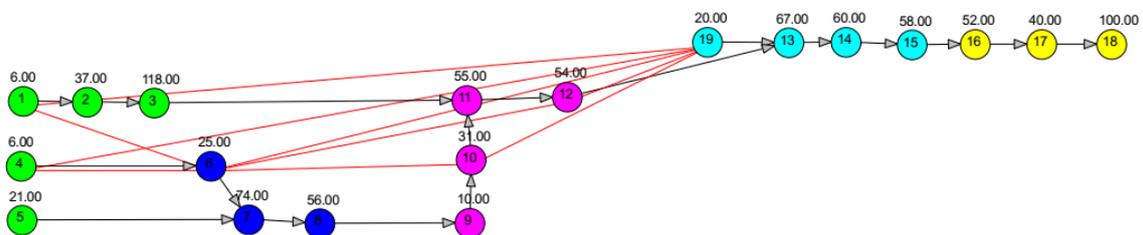
و ۶ هستند گزینه جداسازی اعمال شد تا با دیگر فعالیت‌های ۱، ۴ (سردوز سه نخ) و ۱۰ و ۱۲ (چرخ دودوز) در یک ایستگاه قرار نگیرند. پس از اعمال شماره فعالیت‌های مربوطه در ستون sep در نرم‌افزار FLB برنامه‌ریزی جدید برای تعداد ایستگاه‌های کاری تعیین شد. شکل‌های ۶ تا ۸ بیانگر خروجی‌های نرم‌افزار برای حالت جدید است.

همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد پنج ایستگاه کاری با رعایت زمان هر فعالیت، فعالیت‌های پیش‌نیاز و فعالیت‌های جدا از هم برنامه‌ریزی شده است. در ایستگاه اول پنج

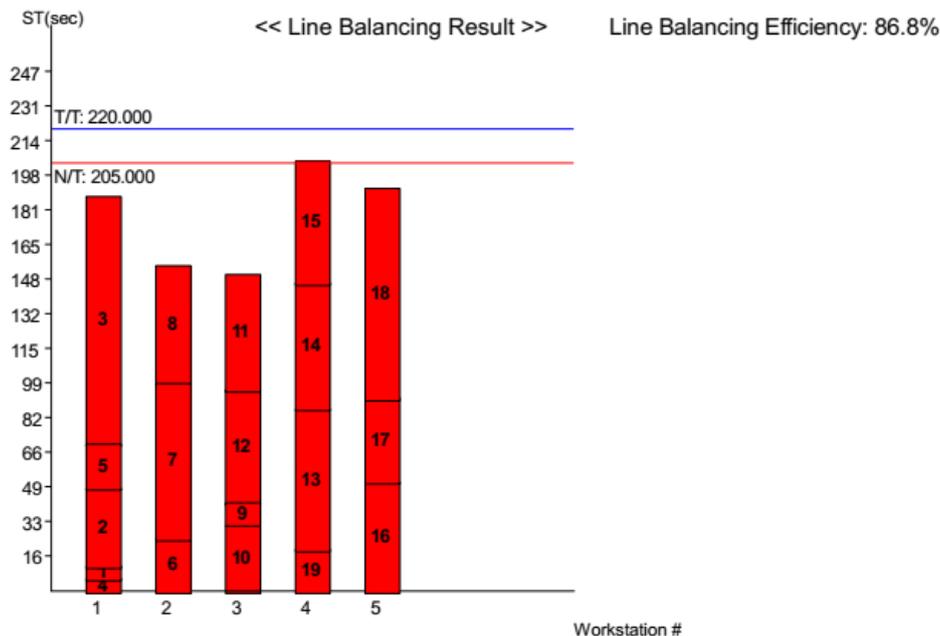
فعالیت ۱، ۲، ۳، ۴، ۵؛ در ایستگاه دوم فعالیت‌های ۶، ۷، ۸؛ در ایستگاه سوم فعالیت‌های ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲؛ در ایستگاه چهارم فعالیت‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۹ و در ایستگاه کاری پنجم فعالیت‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ قرار دارد. بنابراین به‌وضوح مشخص است که فعالیت‌های ۶ و ۱۹ با فعالیت‌های ۱، ۴، ۱۰ و ۱۲ در یک ایستگاه قرار ندارند. شکل ۷ نیز نمودار چرخه فرایند تولید را نشان می‌دهد. خطوط قرمز در آن نشان‌دهنده فعالیت‌های جدا از هم است.

No	Workstation #	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Tools
1	1	welt pocket: fabric edge finishing	6	4		6,19	F	3thread overlock machine
2		crotch: fabric edge finishing	6	1		6,19	F	3thread overlock machine
3		front pocket sewing	37	2	1		F	lockstitch sewing machine
4		darts sewing	21	5			F	lockstitch sewing machine
5		sewing the zipper: front patterns attaching	118	3	2		F	lockstitch sewing machine
6	2	welt pockets sewing	25	6	4	1,4,10,12,19	F	pocket welting machine
7		back pocket sewing (1)	74	7	5,6		F	lock stitch sewing machine
8		back pocket sewing (2)	56	8	7		F	lockstitch sewing machine
9	3	side seam: double stitches	54	12	11	6,19	F	double needle machine
10		crotch: double stitches	31	10	9	6,19	F	double needle machine
11		back patterns attaching	10	9	8		F	5thread overlock machine
12	4	side seam: attaching front and back pattern	55	11	3,10		F	5thread overlock machine
13		waistband sewing (belt loops)	20	19		1,4,6,10,12	F	belt loop making machine
14		waistband sewing (1)	67	13	12,19		F	lockstitch machine
15		waistband sewing (2)	60	14	13		F	lockstitch machine
16	5	waistband sewing (3)	58	15	14		F	lockstitch machine
17		fluorescent pieces attaching	52	16	15		F	lockstitch machine
18	5	inner seam finishing and attaching	40	17	16		F	5thread overlock machine
19		hemming	100	18	17		F	lockstitch sewing machine

شکل ۶ نتیجه FLB از تعیین ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های هر ایستگاه



شکل ۷ نتیجه FLB از تعیین ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های هر ایستگاه



شکل ۸ نتیجه FLB از تعیین ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های هر ایستگاه

تعداد محصول تولیدی را افزایش داد. طبق رابطه ۱، اگر زمان چرخه ۲۰۵ ثانیه در نظر گرفته شود و با احتساب همان زمان کاری مفید (۸ ساعت معادل ۲۸۸۰۰ ثانیه)، تعداد خروجی یا محصولات در یک شیفت کاری ۱۴۰/۵ می‌شود که حدود ۹ محصول بیشتر است.

جدول ۳ بیانگر حداقل تعداد ماشین‌آلات در هر ایستگاه است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد تعداد حداقل ۱۰ ماشین در خط دوخت شلوار کار لازم است که ۳ چرخ کمتر از حالت برنامه‌ریزی قبلی است (جدول ۲). طبق این برنامه برای ایستگاه‌های کاری، از هر کدام از چرخ‌های سردوز سه نخ، دودوز، بند دوز و دستگاه فیل‌تاپ یک مورد در خط دوخت کفایت می‌کند. همچنین از مقایسه با حالت قبلی می‌توان دریافت که یک چرخ راستادوز و یک چرخ سردوز پنج نخ نیز کمتر شده است بنابراین می‌توان انتظار داشت که بهره‌وری ماشین‌آلات بیشتر می‌گردد. با در نظر گرفتن تنوع ماشین‌آلات هر ایستگاه (جدول ۳ ردیف آخر)

شکل ۸ بیان دیگری از ایستگاه‌های کاری و فعالیت‌های محول به هر ایستگاه است. از مقایسه شکل ۸ با شکل ۴ می‌توان دریافت که تعادل زمانی بین ایستگاه‌ها بیش‌تر شده است و تخصیص فعالیت‌ها به هر ایستگاه کاری به‌گونه‌ای است که مجموع زمان ایستگاه‌ها به هم نزدیک‌تر است و بنابراین نشان می‌دهد که حجم کار به‌صورت یکنواخت‌تر در ایستگاه‌ها توزیع شده است. همچنین این شکل راندمان تعادل خط را به میزان ۸/۸۶٪ نشان می‌دهد که در مقایسه با حالت قبلی ۲٪ افزایش دارد. راندمان بیش‌تر تعادل خط بیانگر اتلاف زمانی کمتر در ایستگاه‌ها و بهره‌وری بیش‌تر تولید است. حداکثر زمان کاری در ایستگاه‌ها طبق شکل ۸، ۲۰۵ ثانیه است که ۱۵ ثانیه نسبت به زمان چرخه کمتر می‌باشد. مزیت این امر در امکان افزایش حجم کاری ایستگاه‌ها و بنابراین افزایش محصولات تولیدی و بهره‌وری بیش‌تر است. به‌بیان‌دیگر اگر همین برنامه‌ریزی برای ایستگاه‌های کاری در خط تولید شلوار اعمال شود می‌توان

می‌توان دریافت که تنوع کمتر ماشین‌آلات هر ایستگاه  
نسبت به حالت قبل منجر به کاهش هزینه نیروی انسانی  
(کاهش تعداد کارگر ماهر) و بنابراین کاهش هزینه‌های  
تولید و افزایش بهره‌وری تولید می‌شود.

با توجه به تعداد زیاد فعالیت‌ها و قطعات در خط دوزندگی،  
استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته به منظور بهینه‌سازی و  
متعادل سازی خط تولید منجر به مدیریت بهتر منابع مالی،  
نیروی انسانی، ماشین‌آلات و غیره خواهد شد [۲۴]. نتایج  
نشان می‌دهد که الگوریتم COMSOAL از جهت کاهش  
زمان بیکاری و افزایش راندمان خط دوزندگی می‌تواند مفید  
واقع شود [۲۵]. با این حال نرم‌افزارهای دیگری نیز مانند  
لینگو وجود دارند. سلطان‌زاده و همکارش کاربرد نرم‌افزار  
لینگو را در خط تولید پوشاک ورزشی بررسی نمودند. نتایج  
نشان داد که با کمک این نرم‌افزار می‌توان نقاط گلوگاه  
تولید را شناسایی و سود کارخانه را به میزان ۷٪ افزایش  
داد. همچنین می‌توان در انتخاب اپراتورها برای هر فعالیت،  
تعداد تولید محصول، چیدمان ماشین‌آلات و روند جریان  
مواد تغییر ایجاد نمود به گونه‌ای که مدت‌زمان تولید  
محصول کاهش و میزان بهره‌وری خط افزایش یابد [۲۶].  
در مقایسه می‌توان نرم‌افزار FLB را نرم‌افزاری با محیط

جدول ۳ حداقل تعداد ماشین‌آلات در هر ایستگاه

مجموع	ایستگاه کاری					نوع ماشین‌آلات
	5	4	3	2	1	
4	1	1		1	1	چرخ راستادوز
2	1		1			چرخ سردوز پنج نخ
1					1	چرخ سردوز سه نخ
1			1			چرخ دو دوز
1		1				چرخ بند دوز
1				1		دستگاه فیلتاپ
10	2	2	2	2	2	مجموع

ساده برای کاربر دانست. نتایج استفاده از این نرم‌افزار در  
خط تولید شلوار کار نشان می‌دهد که مسائل بهینه‌سازی و  
تعادل خط دوزندگی در کمترین زمان و با دقت زیاد  
قابل حل است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه امکان برنامه‌ریزی متعادل خط تولید شلوار  
کار به کمک نرم‌افزار FLB بررسی شد. نتایج نشان داد که  
این روش به خوبی می‌تواند تعداد ایستگاه‌های کاری و  
اختصاص فعالیت‌ها به هر ایستگاه را با اطمینان از هرگونه  
روابط تقدم موجود بین وظایف تعیین نماید. در این راستا  
ابتدا پنج ایستگاه کاری با راندمان تعادل خط ۸/۸۴٪ به  
دست آمد به طوری که ده ثانیه اتلاف زمان در هر ایستگاه  
وجود دارد. سپس قابلیت جداسازی فعالیت‌های هر ایستگاه  
در نرم‌افزار FLB بررسی شد و ایستگاه‌های کاری با ۲٪  
افزایش در راندمان تعادل خط و سه چرخ دوزندگی کمتر  
برنامه‌ریزی گردید. به طور کلی می‌توان دریافت نرم‌افزار

خط در صنعت پوشاک، کاهش هزینه‌های تولید و متعاقباً افزایش کارایی تولید استفاده نمود و مزیت‌های رقابتی تولید را افزایش داد.

FLB به صورت سریع و کارا علاوه بر حل مشکل تعادل خط تولید پوشاک به خوبی می‌تواند در برنامه‌ریزی خط دوزندگی با احتساب نوع ماشین‌آلات و سطح مهارت کارگران به کار گرفته شود. از این نتایج می‌توان در حل موثر مشکل تعادل

#### ۵- منابع

[۱] Chen, J.C., Chen, C.-C., Su, L.-H., Wu, H.-B., Sun, C.-J., Assembly line balancing in garment industry. *Expert Systems with Applications*. 39(11), 10073-10081, 2012.

[۲] Bongomin, O., Mwasiagi, J.I., Nganyi, E.O., Nibikora, I., A complex garment assembly line balancing using simulation-based optimization. *Engineering Reports*. 2(11), e12258, 2020.

[۳] Ghosh, S., Gagnon, R.J., A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. *The International Journal of Production Research*. 27(4), 637-670, 1989.

[۴] Erel, E., Sarin, S.C., A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning & Control*. 9(5), 414-434, 1998.

[۵] Tasan, S.O., Tunali, S., A review of the current applications of genetic algorithms in assembly line balancing. *Journal of intelligent manufacturing*. 19, 49-69, 2008.

[۶] Sivasankaran, P., Shahabudeen, P., Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 73, 1665-1694, 2014.

[۷] Samouei, P., Fattahi, P., Ashayeri, J., Ghazinoory, S., Bottleneck easing-based assignment of work and product mixture determination: fuzzy assembly line balancing approach. *Applied Mathematical Modelling*. 40(7-8), 4323-4340, 2016.

[۸] Qattawi, A., Chalil Madathil, S., Assembly line design using a hybrid approach of lean manufacturing and balancing models. *Production & Manufacturing Research*. 7(1), 125-142, 2019.

[۹] Güner, M.G., Ünal, C., Line balancing in the apparel industry using simulation techniques. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 16(2), 75-78, 2008.

[۱۰] Pröpster, M., März, L., Reinhart, G., Intra, C., Validation of line balancing by simulation of workforce flexibility, 9th Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering,

*Procedia CIRP*, 33, 93-98, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.018>

[۱۱] Jur Rehman, A., Ramzan, M.B., Shafiq, M., Rasheed, A., Naeem, M.S., Savino, M.M., Productivity improvement through time study approach: a case study from an apparel manufacturing industry of Pakistan, 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing, *Procedia Manufacturing*, 39, 1447-1454, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.306>

[۱۲] Sime, H., Jana, P., Panghal, D., Feasibility of using simulation technique for line balancing in apparel industry, 14th Global Congress on Manufacturing and Management (GCMM-2018), *Procedia Manufacturing*. 30, 300-307, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.043>

[۱۳] Xuan, H.N.T., Hai, A.V., Quang, A.N. Applying Genetic Algorithm for Line Balancing Problem in Garment Manufacture, *Proceedings of the International Conference on Emerging Challenges: Strategic Adaptation in The World of Uncertainties (ICECH 2022)*, Atlantis Press, 2023. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-150-0\\_15](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-150-0_15)

[۱۴] Jolai, F., Jahangoshai Rezaee, M., Vazifeh, A., Multi-criteria decision making for assembly line balancing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 20, 113-121, 2009.

[۱۵] Ghadiri Nejad, M., Husseinzadeh Kashan, A., Shavarani, S.M., A novel competitive hybrid approach based on grouping evolution strategy algorithm for solving U-shaped assembly line balancing problems. *Production Engineering*. 12(5), 555-566, 2018.

[۱۶] Bahadır, S.K., *Assembly Line-Theory and Practice*, Chapter 5: Assembly line balancing in garment production by simulation, InTech, Rijeka, 2011.

[۱۷] Wang, Q., Owen, G.W., Mileham, A.R., Determining numbers of workstations and operators for a linear walking-worker assembly line. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 20(1), 1-10, 2007.

[۱۸] Pasha, N., An application of Aluminum windows assembly line problem using FLB: An application of COMSOAL algorithm. *Uncertain Supply Chain Management*. 3(2), 165-172, 2015.

[۱۹] خسروی ف.، صادقی ع.، جولای ف.، بالانس خط مونتاژ پوشاک با منظور کردن یک نوع ماشین در هر ایستگاه کاری، هشتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، یزد، ۱۳۹۱.

[۲۰] Shumon, R.H., Arif-Uz-Zaman, K., Rahman, A., Productivity improvement through balancing process using multi-skilled manpower in apparel industries. *International Journal of Industrial and Systems Engineering* 1. 11(1-2), 31-47, 2012.

[۲۱] Hanan, O., Seedahmed, A., Garment assembly line balancing using modeling and simulation. *International Journal of Scientific Engineering and Science*. 3(3), 4-7, 2019.

[۲۲] Manavizadeh, N., Hosseini, N.-s., Rabbani, M., Jolai, F., A Simulated Annealing algorithm for a mixed model assembly U-line balancing type-I

problem considering human efficiency and Just-In-Time approach. *Computers & industrial engineering*. 64(2), 669-685, 2013.

[۲۳] Elnaggar, G. Effect of operator skill level on assembly line balancing in apparel manufacturing: a multi-objective simulation optimization approach. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2019.

[۲۴] Tabaeian, R.A., Bordbar, G., A clarification of relationship between strategic human resource management and firm performance. (case study: The Yazd elected spinning factories.). *Journal of Textile Science and Technology*. 6(3), 37-43, 2017.

[۲۵] Kayar, M., Akyalçin, Ö.C., Applying different heuristic assembly line balancing methods in the apparel industry and their comparison. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 6 (108), 8-19, 2014.

[۲۶] Soltanzadeh, Z., Jaberzadeh Ansari, S., Optimization of Mixed Production Line in Sportswear Industry. *Journal of Textile Science and Technology*. 11(3), 52-67, 2022.