University of Qom
Engineering Management and Soft Computing
JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

Optimal Allocation of Orders in the Online Load Distribution and Load Balancing of Assembly Lines

Nima Rahmani[1] and Amir Najafi[2]✉

1. PHD student, Department of Industrial Management, Islamic Azad University of Qazvin Branch, Qazvin, Iran. Email: nimarah@gmail.com
2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University of Zanjan Branch, Zanjan, Iran. Email: asdnjf@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2022 Apr 25
Received in revised form 2022 May 31
Accepted 2022 Jun 2
Published online 2022 Sep 16

Keywords:
OBA-RH algorithm,
online load balancing,
Palmer method,
Johnson method.

ABSTRACT

Proper assembly line planning is one of the challenges production managers face at the tactical level. Failing to apply a secure way of assembly line balancing can cause various complications and problems for the production system. Using the conventional methods for balancing the assembly line cannot balance the load distribution of orders. Online load balancing algorithms can reduce these complications. Old Bachelor Acceptance - Robin Hood (OBA-RH) approach is an effective way for online load distribution. This study aims to evaluate and select a method of order allocation based on the OBA-RH algorithm. Johnson, Palmer, and the meta-heuristic algorithm of annealing are the three allocation approaches studied in this paper, using the data obtained from the production line of polymer films, Plate Company, Iran. The results of the study indicate that Johnson's algorithm and the OBA-RH algorithm offer the best outcome in minimizing system loads

Cite this article: Rahmani, N. & Najafi, A. (2022). Optimal Allocation of Orders in the Online Load Distribution and Load Balancing of Assembly Lines. *Enginiiring Management and Soft Computing, 8* (1). 106-122. **DOI**: https://doi.org/10.22091/jemsc.2019.1308

© The Author(s)
DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2019.1308
Publisher: University of Qom

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۵-۲۵۳۸

مدیریت مهندسی و رایانش نرم

دانشگاه قم

تخصیص بهینه سفارش کار در مسئله توزیع و بالانس آنلاین بار در خط تولید

نیما رحمانی[۱] و امیر نجفی[۲] ✉

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. رایانامه: nimarah@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران. رایانامه: asdnjf@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵

کلیدواژه‌ها:
الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته،
بالانس آنلاین بار[۱]،
روش پالمر،
روش جانسون.

چکیده

برنامه‌ریزی مناسب خطوط تولید از دغدغه‌های مدیران تولید در سطح تاکتیکی است. به کار نبستن روشی مطمئن در خصوص متعادل‌سازی خط تولید می‌تواند سبب بروز عارضه و مشکلات متعدد برای سیستم تولید شود. استفاده از روش‌های معمول بالانس خط تولید نمی‌تواند توزیع بار سفارشات را متوازن سازد. الگوریتم‌های بالانس آنلاین بار می‌تواند این عارضه را کاهش دهد، الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته به عنوان روشی کارا جهت توزیع آنلاین بار می‌باشد. این مقاله، در پی ارزیابی و انتخاب روش تخصیص سفارش کارها به الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته است. روش‌های تخصیص مورد مطالعه سه روش جانسون، پالمر و روش فراابتکاری تبریدی می‌باشد که با استفاده از داده‌های خط تولید و چاپ لفاف‌های پلیمری در شرکت پلات در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه حاصل از ارزیابی مقاله نشان می‌دهد که الگوریتم جانسون نسبت به دو روش دیگر در کنار الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته مناسب‌ترین خروجی را در کمینه‌سازی بار بر روی سیستم دارد.

استناد: رحمانی، نیما و نجفی امیر. (۱۴۰۱). «تخصیص بهینه سفارش کار در مسئله توزیع و بالانس آنلاین بار در خط تولید». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، *دوره ۸* (۱). صص: ۱۲۲-۱۰۶. https://doi.org/10.22091/jemsc.2019.1308

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

[1]. Old Bachelor Acceptance- Robin Hood (OBA-RH)

۱) مقدمه

شرایط رقابتی موجب می‌شود که سیستم‌های تولید به دنبال استفاده از طرح‌های کارآمد و برنامه‌ریزی مناسب جهت خط تولید باشند (علوی دوست و همکاران، ۲۰۱۵). انعطاف‌پذیری از شیوه‌های مدرن و مؤثر در سیستم‌های تولیدی سفارش‌محور و مدیریت مناسب هزینه‌هاست. خط تولید باید طوری برنامه‌ریزی شود که بتواند هر یک ازسطوح مختلف استراتژی‌های تولید را پاسخ گو باشد (آویکال و همکاران، ۲۰۱۳). در سطح تاکتیکی تصمیم‌گیری‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت در خصوص نحوه برنامه‌ریزی خط تولید حائز اهمیت است (آرکوس، ۱۹۶۶). یکی از مهم‌ترین مشکلات در سطح تاکتیکی تولید انبوه و سفارش محصولات است. خط تولید متشکل از چندین ایستگاه کاری و ماشین است که هر یک در تواتر تولید با هم در ارتباط هستند و ورودی یکی خروجی دیگری است؛ در این حالت هر ماشین و فرآیندی که روی محصول انجام می‌شود با محدودیت‌های فرآیندی و تکنولوژی به لحاظ زمان ،حجم و وزن هر کار مواجه است. در بسیاری از موارد با مشاهده نحوه کار یک فرآیند می‌توان دید که تعدادی از ماشین‌آلات، مشغول کار نیستند ولی تعداد دیگری از تجهیزات، یکسره مشغول به کار 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 شده است (بارد، ۱۹۸۹). وجود زمان‌های بیکاری 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. یک فعالیت، کوچک‌ترین جز کاری است که قابل تقسیم به اجزا کوچک‌تر نبوده و یک ایستگاه قسمتی از خط مونتاژ است که تعدادی از فعالیت‌ها در آن انجام می‌شود (بایباردس، ۱۹۸۶). از روش‌های افزایش کارایی و بهره‌وری یک خط مونتاژ، متوازن کردن خط است (بایکاس اوغلو، ۲۰۰۶).

متوازن بودن خط تولید به لحاظ زمان‌بندی تولید و توزیع بار بر روی ماشین‌ها می‌تواند سبب ارتقاء دو شاخص حائز اهمیت تحویل به موقع و تولید به موقع گردد (بکر و شول، ۲۰۰۶) که رضایت مشتری و مزیت رقابتی را برای تولید ایجاد می‌کند و موجب کاهش هزینه‌های ناشی از ظرفیت از دست رفته و نامتوازن ماشین‌آلات و رکود محصولات نیمه‌ساخته در خطوط تولید گردد (بویسون و همکاران، ۲۰۰۷).

یکی از روش‌های نوظهور و مهم در زمانبندی، توازن آنلاین بار مبتنی بر الگوریتم رابین‌هود می باشد که کاربردهای قابل توجهی در حوزه‌های مختلف بخصوص در حوزه تخصیص همزمان زمان و بار فعالیت‌ها دارد. یکی از چالش‌هایی که شرکت‌های مطرح دنیا در سال‌های اخیر با آن مواجه بوده‌اند، تخصیص هم‌زمان و مناسب است که این امر نیز در صنایع تولیدی ایران مشهود است. بنابراین، استفاده از روش رابین‌هود و به موازات آن تلفیق آن با روش‌های تخصیص زمانی فعالیت‌ها، مهم بوده و می‌تواند به توازن مناسب خط تولید و کاهش هزینه‌های اضافی منجر شود (مارکو و همکاران، ۲۰۱۸).

هدف این مقاله، متوازن‌سازی خط تولید هم به لحاظ زمانی و هم توزیع بار بر روی خط چاپ لفاف‌های پلیمری در بسته‌بندی صنایع غذایی متشکل از ماشین‌های چاپ هلیوگراور، لمنیت و برش و بسته‌بندی است و با در نظر گرفتن تأثیر

روش‌های مختلف تخصیص سفارش کار در خطوط تولید، در صدد آن است که یکی از روش‌های تخصیص سفارش کار در روش متوازن‌سازی را که نتیجه بهتری را ارائه می‌کند، انتخاب گردد. با توجه به محدودیت هایی که الگوریتم‌های بالانس خط تولید دارند و نادیده گرفتن حجم کار در ماشین‌آلات جهت متوازن‌سازی خطوط تولید، الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته که به صورت آنلاین متوازن‌سازی حجم کار را در خطوط تولید انجام می‌دهد، استفاده شده است. مطابق نظر رکیک و دلکامبر، این الگوریتم مناسب‌تر از الگوریتم بالانس آنلاین بار[1] می‌باشد (بوسیون و همکاران، ۲۰۰۷). روش‌های جانسون ،پالمر و تبرید[2] بر روی خروجی الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته بررسی شده است.

۲) پیشینه پژوهش

این بخش به پنج قسمت تقسیم شده است: ۱. مدل‌های بالانس خط تولید ۲. الگوریتم‌های بالانس آنلاین بار رابین‌هود بهبودیافته ۳. الگوریتم جانسون ۴. الگوریتم پالمر ۵. الگوریتم تبرید.

مدل‌های بالانس خط تولید: موازنه خط مونتاژ در حالت عمومی عبارت است از گروه‌بندی منطقی عملیات و عناصر کاری در قالب ایستگاه‌های کاری با رعایت محدودیت‌های پیش‌نیازی، زمان دوره کاری و محدودیت‌های خاص دیگر، در جهت بهینه‌سازی هدف یا اهداف مورد نظر (بویسون و همکاران، ۲۰۰۸). بالانس ساده خط تولید که به اختصار SALBP[3] نامیده می‌شود در ابتدا توسط سالوسون فرمول‌بندی شد و دسته‌بندی آن توسط بایبارز در ۱۹۸۶ انجام گردید. وی بالانس خط تولید را در ساده‌ترین فرم خود توضیح داد که در آن تنها محدودیت اولویت‌دار مربوط به عملیات مونتاژ و محدودیت زمان سیکل و تخصیص عملیات به زمان‌های بیکاری ماشین است. این فرضیات ساده در عمل موجب محدودیت در روش حل با استفاده از SALBP گردید و منجر به مدل‌سازی و روش‌های حل مسئله به سمت مسائل واقعی‌تر شد (گارامیا و همکاران، ۲۰۰۱). SALBP شرح می‌دهد که با توجه به لیست فعالیت‌ها و زمان مورد نیاز برای انجام فرآیند روی هر فعالیت و محدودیت‌های دارای اولویت در میان فعالیت‌ها، حد فاصل، مرز کارها و ایستگاه‌های کاری به صورت زیر می‌باشد:

۱. در یک زمان سیکل معین، هدف کمینه کردن ایستگاه کاری است SALBP-1.

۲. درایستگاه‌های کاری معین، هدف کمینه کردن زمان سیکل است SALBP-2.

۳. ایستگاه کاری و زمان سیکل با هم کمینه شوند SALBP-E

۴. در ایستگاه کاری و زمان سیکل معین تخصیص واقعی کار به ایستگاه به دست می‌آید SALBP-F.

SALBP دارای ویژگی‌های زیر است:

- تولید انبوه همگن
- فرآیند تولید مشخص
- خط تولید یک تکه (بدون بافر میان ایستگاه‌های کاری)

[1] Online Load Balancing
[2] Simulated Annealing (SA)
[3] The Simple Assembly Line Balancing Problem

- زمان کاری به صورت عدد صحیح و مشخص
- عدم انتساب محدودیت‌ها به محدودیت‌های دیگر
- طرح جانمایی مستقیم
- وجود ماشین و کارگر به یک نسبت در ایستگاه‌های کاری (گارمایا و همکاران، ۲۰۰۴).

دسته‌بندی دیگری در مسائل بالانس خط تولید با توجه به نحوه استقرار ماشین‌آلات مطرح گردیده است (داره و روبینو ویچ، ۱۹۷۹) که در جانمایی ماشین‌آلات به صورت خط مستقیم SALP[4] و بالانس خط تولید در جانمایی یو شکل[5] را SULP[6] می‌گویند (گارامیا و دلولمو، ۲۰۰۶). گوتجاهر و نمهازر مسئله بالانس خط تولید را مسئله ان پی-سخت[7] بیان نمودند (داره، ۱۹۷۳).

بیشتر تحقیقات انجام شده بر روی مسائل نوع اول و دوم موازنه متمرکز شده‌اند. در مسئله نوع اول، زمان دوره خط مونتاژ به عنوان ورودی مسئله مشخص است و هدف کاهش تعداد ایستگاه‌های کاری است. در مسئله نوع دوم، تعداد ایستگاه‌های مونتاژ به عنوان ورودی مسئله معین است و تابع هدف کمینه‌سازی زمان سیکل کاری است (پالمر، ۱۹۶۵). همه این الگوها به معیار وزن توزیع شده روی ماشین‌آلات توجه ندارد و در عالم واقع پیاده‌سازی آن‌ها به علت پیچیدگی در سیستم‌های تولید که ماشین‌های اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک در خطوط تولید قرار دارند، به سادگی مقدور نمی‌باشد (فالکنر و دالچمبر، ۱۹۹۲).

در خطوط تولیدی که ترکیبی از ماشین‌آلات با دسته‌بندی متفاوت در یک مجموعه برای تولید محصول نهایی کار می‌کنند و سیستم تولید، سفارش‌محور است؛ زمان‌بندی بهینه خط تولید همواره از مسائل موجود در حوزه عملیات در اینگونه از مجموعه‌های تولیدی می‌باشد (لاپیره و همکاران، ۲۰۰۶).

بالانس آنلاین بار در خط تولید: بدون برنامه‌ریزی مناسب و تخصیص منابع، صف‌های بزرگی در هر پردازش و عملیات ایجاد می‌شود که این مهم باعث اختلال در تعادل سیستم و وجود کار زیاد بر روی برخی از ماشین‌آلات و بیکاری برخی دیگر می‌شود که این معضل نشأت گرفته از عدم تعادل بار بر روی خطوط تولید است، برای حل این معضل در سیستم‌های تولیدی الگوریتم‌هایی تحت عنوان توزیع بار آنلاین[8] ارائه شده است که حجم و وزن کارها را میان ماشین‌آلات به طور متوازن توزیع می‌کند (لوی و همکاران، ۲۰۰۳).

الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته: این الگوریتم ساده و قطعی است و به صورت آنلاین سفارش کارها را تخصیص می‌دهد و به طور قابل‌توجهی تصمیم خود را در مورد اختصاص سفارش کار جدید نه تنها بر اساس بارگذاری کار فعلی با در نظر گرفتن سابقه تخصیص کار قبلی انجام می‌دهد. با توجه به حالت مسئله موجود هر سفارش کار می‌تواند به بیش از یک ماشین خاص تخصیص یابد و هر سفارش کار، دارای وزن مشخصی است. این الگوریتم در مقایسه با سایر الگوریتم‌های

[4] The Site Allocations Local Plan (SALP)
[5] U-Shaped
[6] The Site U-Shaped Load Balancing Plan
[7] NP-Hard
[8] On-Line Load Balancing

توزیع بار آنلاین معرفی شده توسط کارامیا مانند گریدی، نیمه گریدی و رابین‌هود[9]، دارای نتایج مناسب‌تری است (گوتجاهر ونمهازر، ۱۹۶۴). مراحل پیاده‌سازی این الگوریتم به شرح زیر است:

۱. در ابتدا لازم است تمامی ماشین‌ها خالی باشند و کاری رو ماشین‌ها قرار نداشته باشد $T^{(0)} = \infty$

۲. در T=1 سفارش کار j در لحظه t بر روی ماشین قرار می‌گیرد و راه‌حل‌های همسایگی نیز ارزیابی می‌شود $s_i^{(t)} \in N\ (s^{(t-1)})$ و در صورت غیر قابل بارگذاری بودن ماشین‌آلات، به طور تصادفی یک راه‌حل جایگزین به جای ماشین غیر قابل بارگذاری انتخاب می‌شود که برای این منظور باید رابطه زیر محقق شود:

$$f(s') < f s^{(t-1)} + T^{(t-1)}$$

$$T^{(t)} = \max\{0.\ f(s') - f\ (s^{(t-1)})\}$$ رابطه ۱)

و سپس زمان دیگری با توجه به رابطه زیر انتخاب می‌شود

$$T^{(t)} = \max\left\{0.\ \min_i\{f\left(s_i^{(t)}\right) - f\left(s^{(t-1)}\right)\}\right\} + \varepsilon\}$$ رابطه ۲)

به طوری که î یک ماشین قابل بارگذاری با زمان حداقل باشد. و $s^{(t)} = s_{\hat{i}}^{(t)}$

۳. بازگشت به $f\ (s^{(t)})$

پارامترها به شرح زیر تعریف می‌گردد:

$f\ (s\ (t))$: تابع حداکثر بار را در تمام ماشین‌ها در زمان t

s': راهکار تصادفی در همسایگی

T: حد آستانه

$s\ (t)$: راه‌حل در زمان t

$s_i^{(t)}$: راه‌حل در زمان t برای ماشین i

$N\ (s\ (t))$: مجموعه راه‌حل‌ها در زمان t

ε: مقدار خطای ماکسیمم

الگوریتم جانسون: تعیین توالی عملیات در زمان‌بندی فعالیت‌های ساخت، عمدتاً پس از تعیین فرآیند ساخت و مشخص شدن ماشین‌آلات مورد نیاز صورت می‌گیرد. در یک سیستم تولیدی جریان کارگاهی، مسئله تعیین توالی N کار روی دو ماشین با فرض این که هر کار دارای دو مرحله بوده و مرحله اول آن می‌بایست روی ماشین اول و مرحله دوم می‌بایست روی ماشین دوم انجام شود، به مسئله "جانسون" معروف است. مراحل پیاده‌سازی جانسون به شرح زیر است (هرسنایی، ۱۹۶۵):

۱.حداقل زمان انجام کارها توسط ماشین‌های ۲ تعیین می‌شود.

۲. اگر حداقل زمان انجام کارها، مربوط به ماشین ۱ بود، این کار در ابتدای توالی کارهای باقیمانده انجام شود و به قدم ۳ بروید. اگر حداقل زمان انجام کار مربوط به ماشین ۲ بود، این کار در انتهای توالی کارهای باقیمانده انجام گردد. لذا از بین حالات مشابه، یکی به دلخواه انتخاب می‌شود.

[9] Greedy, semi greedy, Robin hood

۳. کارهایی که زمانبندی شده‌اند از لیست حذف گردد و اگر کاری باقیمانده باشد به قدم ۱ بروید، در غیر این صورت توقف شود (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۸).

الگوریتم پالمر: الگوریتم پالمر، زمان‌بندی تخصیص سفارش کارها به سیستم‌هایی با بیش از دو ماشین که ترتیب عملیات در آن‌ها وجود دارد؛ به طوری که زمان تکمیل کار کمترین باشد را ارائه می‌دهد (دنگ و همکاران، ۲۰۱۵) و مراحل پیاده‌سازی آن به شرح زیر می‌باشد:

ورودی : n سفارش کار و m ماشین است به طورکه $m,n> 0$

خروجی: برنامه زمان‌بندی کارها به طوری که کمترین زمان در آخرین سفارش کار باشد

۱.پیدا کردن ارزش π_i به ازای هر سفارش کار مطابق رابطه ی زیر:

$$\pi_i = \sum_{i=1}^{[M/2]}(m - 2i + 1)t_{ij} + (m - 2i + 1) + t_{(m+1-i)j}$$ رابطه ۳)

که t_{ij} نشان دهنده زمان اجرای i امین سفارش کار T_{ij} در سفارش کار J_j می‌باشد.

۲. مرتب کردن سفارش کارها به ترتیب نزولی π_{js} اگر دو یا تعداد بیشتری از سفارش کارها دارای ارزش بیشتری بودن π_i مرتب کردن آن‌ها به طور دلخواه انجام می‌شود.

۳. برنامه زمان‌بندی سفارش کارها بر اساس مرتب‌سازی طبقه‌بندی انجام شده صورت می‌پذیرد.

بعد از اتمام مرحله سوم و استخراج برنامه زمان‌بندی کارها، یک زمان اتمام کار استخراج می‌شود.

الگوریتم تبرید: روش جستجوگر " تبرید تدریجی" یک جستجوگر همسایگی است که در بهینه‌سازی مسائل گسسته بطور گسترده‌ای کاربرد دارد (کوچوکو و ژانگ، ۲۰۱۴).

طبیعت تصمیم‌گیری این الگوریتم به این صورت است که برای هر حرکت، یک همسایگی جدید بصورت تصادفی تولید و ارزیابی می‌شود. حرکت به این جواب در هر یک از دو وضعیت زیر انجام خواهد گرفت (صابنجواغلو وهمکاران، ۲۰۰۹):

۱. جواب جدید از جواب فعلی بهتر باشد؛

۲. مقدار تابع احتمال حرکت[i] از یک عدد تصادفی از دامنه [۰,۱] بزرگتر باشد.

در غیر این صورت، جستجوگر جواب جدیدی را تولید و ارزیابی خواهد نمود. این حرکت گام به‌گام تا ارضاء شرط توقف الگوریتم (تعداد تکرارها، زمان محاسبات، و...) ادامه می‌یابد.

مقدار تابع احتمال حرکت در هر بار از رابطه محاسبه می‌شود. در این رابطه اختلاف مقدار تابع هدف بین جواب فعلی و جواب جدید است.

الگوریتم تبرید در واقع یک روش جستجوی تصادفی قوی است که به منظور یافتن یک جواب خوب (نه لزوماً بهینه) برای مسائل مشکل ترکیبی به کار می‌رود.

این روش برخلاف روش‌های جستجوی معمولی، در هر تکرار علاوه بر حرکت به سوی جواب بهتر، جواب هایی با مقدار تابع هدف بهتر را نیز با احتمال غیر صفر قبول می‌کند.

الگوریتم تبرید از فرایند فیزیکی خنک سازی مواد مذاب به حالت جامد الهام گرفته است.

مراحل الگوریتم الگوریتم تبرید استاندارد:

• آغاز و آماده‌سازی: ورود اطلاعات مسئله و تنظیم پارامترهای الگوریتم (دمای اولیه، نرخ سرمایش، شرط توقف جواب اولیه تصادفی و موجه، .....)؛

۱. تشکیل یک جواب در همسایگی جواب فعلی؛

۲. ارزیابی جواب همسایگی:

۱.۲. همسایه از جواب فعلی بهتر است: حرکت به جواب جدید؛

۲.۲. تابع احتمال از عدد تصادفی یکنواخت بزرگتر است: حرکت به جواب جدید، در غیر این صورت بازگشت به گام ۱؛

۳. بروزرسانی پارامترهای الگوریتم و مسئله؛

بهترین جواب را حفظ کنیم چون لزوماً همیشه بهترین نیست.

و حرکت به گام ۱.

۳) روش‌شناسی پژوهش

در خط تولید متشکل از ماشین‌های چاپ هلیوگراور و محصولات چاپخانه‌ای مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی، سفارشات به طور لحظه‌ای وارد خط تولید می‌شود. تحویل به موقع سفارش به مشتری، کاهش هزینه‌های عملیاتی و استفاده صحیح از ظرفیت‌های خط تولید و نیروی انسانی حائز اهمیت است. سیستم‌های تولیدی فوق کاملاً ماشین‌محور بوده (پاکسوی و همکاران، ۲۰۱۲) و بالانس زمانی و توزیع بار در این خطوط با استفاده از الگوریتم‌های متاهیورستیکی کارآمد نمی‌باشد زیرا این الگوریتم‌ها قادربه متوازن‌سازی همزمان زمانی تولید و توزیع بار نیستند و نیاز به الگوریتم هایی با قابلیت انجام توامان بالانس زمانی خط تولید و توزیع بار مانند الگوریتم‌های توازن بار آنلاین است (شول و همکاران، ۱۹۹۸).

جهت توازن آنلاین خطوط تولید مشکل تخصیص آنلاین سفارش کارها به n ماشین مشخص می‌باشد، تخصیص کار بلافاصله پس از ورود سفارش کار قطعی شده، صورت خواهد گرفت و این موجب بارگذاری بر روی ماشین در مدت زمان انجام فرآیند تولید می‌شود. در این حالت برای توازن آنلاین می‌بایست سفارش کارها را به طور موازنه شده و با توالی صحیح فرآیند تولید، به ماشین‌ها تخصیص داد (سومان و کومار، ۲۰۰۶).

هدف اصلی این مقاله، ارزیابی کارایی سه روش تخصیص کار جانسون، پالمر و تبرید بر روی بهترین الگوریتم توازن آنلاین بار یا رابین‌هود بهبودیافته می‌باشد. لازم به توضیح است که در این حالت دو نوع کار در خطوط تولید بارگذاری می‌شود: کارهای موقتی، این کارها زمان انجام فرآیندشان محدود است و بیشتر در حوزه بحث ما، دوباره کاری‌های تولید ناشی از ایرادات کنترل کیفیت و شکایت مشتری می‌باشد. کارهای دائمی، این کارها جزء عملیات دارای ارزش افزوده در فرآیند تولید به حساب می‌آیند و بارگذاری اصلی در ماشین‌آلات، زمان در دسترس جهت تولید در هر ماشین و ظرفیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (یانو وبلات، ۱۹۸۹).

در این پژوهش یک مجموعه چاپ بر روی فیلم‌های مختلف است و محصول نهایی باید سه گروه ماشین‌آلات چاپ ، لمینه و سیل، برش و بسته‌بندی را بگذراند. نمای شماتیک فرآیند تولید به شرح شکل شماره ۱ است. به ماشین‌آلات فوق

در بررسی اولیه لیفتراک و تراک‌ها نیز که جهت حمل و نقل مواد اولیه و مواد در حال پردازش استفاده می‌گردد، افزوده خواهد شد. هدف به حداقل رساندن بیشینه بار یا کمینه‌سازی جمع مقادیر تفاوت بین بار بر روی هر ماشین از متوسط بار روی سیستم می‌باشد. بارگذاری هنگامی رخ می‌دهد که کار j بر روی ماشین قرار گیرد ، بردار بار به صورت زیر می‌باشد: $P_j = \{P_{1j}. P_{2j}. \dots . P_{nj}\}$، p_{ij} افزایش بار روی ماشین i را هنگامی که کار j به آن تخصیص می‌یابد نشان می‌دهد این افزایش بار در زمان dj رخ می‌دهد.

در خط تولید یاد شده محدودیت انتصاب سفارش کار بر روی هر ماشین با توجه به توانمندی هر ماشین در انجام جزئیات هر سفارش و همچنین با در نظر گرفتن توالی تولید وجود دارد، در این حالت سفارش کار j با وزن wj باید به ماشین i تخصیص داده شود. نکته‌ای که در این حالت بسیار مهم می‌باشد این است که کار موقتی ناشی از دوباره کاری‌ها (پترسون، ۱۹۹۳) در صورت وجود به عنوان یک محدودیت وارد مسئله بالانس آنلاین خط می‌گردد و در کنار سفارش کارهای دائمی یکی از ماشین‌ها بر حسب مورد به آن تخصیص داده می‌شود تا فرآیند لازم روی آن صورت گیرد (سالوسون، ۱۹۵۵).

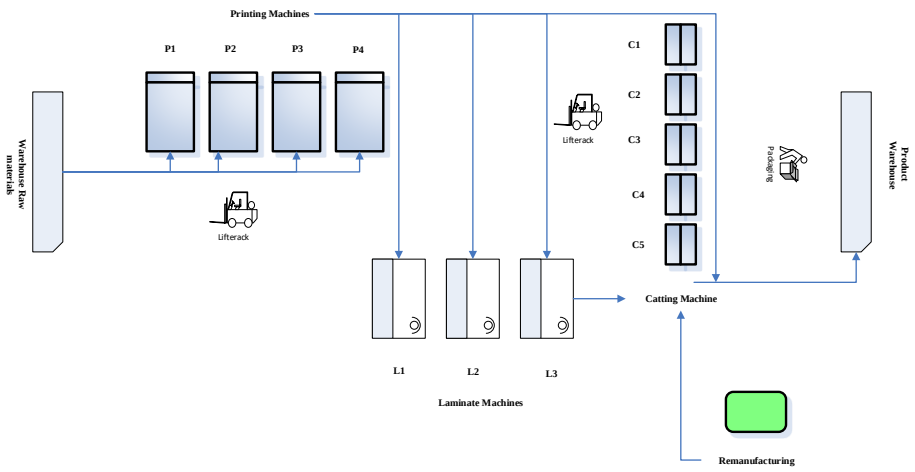
با توجه به در نظر گرفتن وزن هر سفارش کار در متوازن‌سازی آنلاین خطوط تولید از الگوریتم کارا و ساده‌ای تحت عنوان الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته استفاده می‌گردد (بهشتی نیا و اکبری، ۱۳۹۴). با توجه به نمای شماتیک مشخص است که الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته باید در پنج حالت مسئله تخصیص را حل کند و در حالت ساخت و تولید (کار دائمی) که سفارش کار به یکی از ماشین‌های چاپ تخصیص می‌یابد و سپس بر اساس پروسه تولید محصول به یکی از خطوط لمینت تخصیص می‌یابد یا مستقیم به سمت خطوط برش می‌رود و محصولاتی که لمینت شده‌اند به خطوط برش تخصیص می‌یابند (فلوریس، ۲۰۱۸). در حالت دوباره‌کاری (کار موقتی) تنها تخصیص محصولاتی که نیاز به اصلاح دارند به طور مستقیم بر روی ماشین‌های برش قرار می‌گیرند و مسئله تخصیص در این حالت، مستقیم بر روی ماشین‌های برش انجام می‌گردد (اسدی و نهاوندی، ۱۳۹۴).

$[P_1. P_2. P_3. P_4]$: ماشین‌های چاپ،

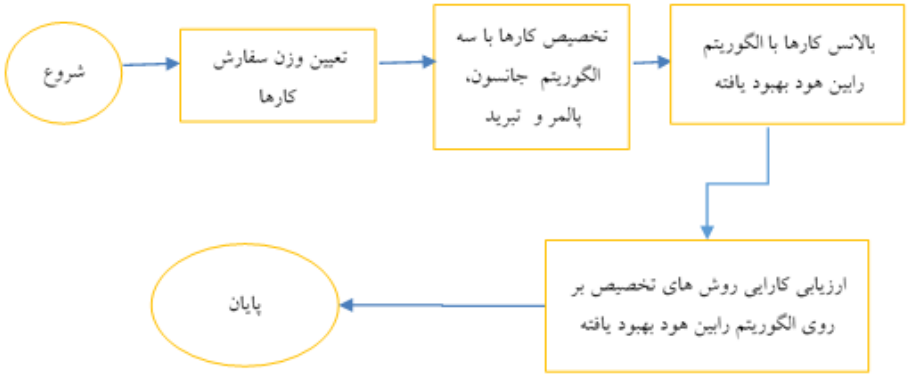
$[L_1. L_2. L_3]$: ماشین‌های لمینیت،

$[C_1. C_2. C_3. C_4. C_5]$: ماشین‌های برش.

در این پژوهش با در نظر گرفتن سفارش‌های یک روز کاری که ۱۰ سفارش تولید و ۲ مورد دوباره‌کاری است، تخصیص سفارشات به ماشین‌ها با استفاده از الگوریتم‌های جانسون، پالمر و تبرید با توجه به این که فرآیند تولید متوالی است به طوری که ترتیب انجام n سفارش دارای ۳ مرحله عملیاتی تعیین گردید (بهنامیان، ۱۳۹۴) و متوازن‌سازی آن با استفاده از الگوریتم رابین‌هود پیشرفته، تجدیدنظر شده و با هدف به حداقل رساندن بیشینه بار یا کمینه‌سازی جمع مقادیر متفاوت بین بار بر روی هر ماشین از متوسط بار روی سیستم، کاهش هزینه‌ها و بررسی زمان تکمیل فرآیند سفارشات کارهایی که بر اساس کارایی هر یک از سه روش تخصیص سفارش کار جانسون، پالمر و تبرید بر روی الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته تخصیص داده شده، انجام گردید. $X: \text{Min} \sum| (\mu(t) - L_i(t)|$ الگوریتم پیشنهادی تحقیق در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱. مدل شماتیک خط تولید



شکل ۲. مدل پیشنهادی تحقیق

۴) یافته‌های پژوهش

در ابتدای هر دوره کاری، ماشین‌آلات بیکارند و خالی از کار و تعداد ۱۲ سفارش کار بسته به ماهیت فرآیندی مورد نیاز مسیر تولید را طی می‌کنند، طول دوره زمانی هر کار با استفاده از تکنیک استپ واچ استخراج شده است و با در نظر نگرفتن محدودیت‌های حمل و نقل درون کارگاهی مراحل محاسبات عددی بر اساس حالت واقعی شروع کار در ابتدای دوره کاری انجام می‌گردد. از ده سفارش کار یاد شده ۷ سفارش کار باید هر سه گروه ماشین‌آلات را جهت تکمیل فرآیند طی نمایند، ۳ سفارش کار فقط ماشین‌های چاپ و برش را طی می‌کنند و ۲ سفارش کار نیز دوباره‌کاری را فقط در گروه ماشین‌آلات برش طی می‌نمایند. در پیاده‌سازی الگوریتم رابین‌هود بر روی خط تولید یاد شده، اصل بر این است که خطوط خالی از سفارش و فعالیت باشد و ابتدای دوره کاری است (ژانگ و همکارن، ۲۰۱۸).

جداول ۱ و ۲ ترکیب سفارش کارها و تعداد عبور هر سفارش کار از ماشین‌آلات و زمان هر سفارش در هر فرآیند را نشان می‌دهد. جهت تعیین وزن هر سفارش کار بر روی هر یک از ماشین‌آلات تولید با در نظر گرفتن تعداد هر اپراتور، میزان مواد اولیه زمان فرآیند سفارش کار و ضریب قرار دادن آن‌ها و با استفاده از روش SAW روش وزن‌دهی ساده از

طریق فرمول (هرسای ۱۰، ۱۹۵۵)، وزن هر یک از سفارش کارها بر روی هر ماشین استخراج گردیده است (بابینسکی و همکاران، ۲۰۱۹) و سپس با استفاده از ضریب تعدیل هر ماشین که با نظر خبرگان تولید تعین شده، وزن سفارش کارها به شرح جدول ۳ می‌باشد. در گام اول می‌بایست تخصیص کارها به گروه ماشین‌آلات چاپ صورت گیرد، جهت تعیین تقدم ورود سفارش کارها در الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته از روش‌های جانسون، پالمر، تبرید استفاده شده است که ترتیب ورود کارها در جدول شماره ۴ تا ۶ آورده شده است.

جدول ۱. ترکیب سفارش کارها و تعداد هر سفارش در هر فرآیند تولید

ماشین / نوع کار	ماشین چاپ		ماشین لمینت	ماشین برش	جمع
ساخت و تولید	چاپ – برش	۳	۰	۳	۱۲
ساخت و تولید	چاپ – لمینت – برش	۷	۷	۷	
دوباره‌کاری				۲	

جدول ۲. مدت زمان هر سفارش کار بر روی هر بخش از ماشین‌آلات

	کار	مدت زمان برش	مدت زمان لمینت	مدت زمان چاپ
ساخت و تولید	J1	۸۰	۶۰	۱۲۰
	J2	۹۰	۷۰	۱۶۰
	J3	۸۵	۶۵	۱۴۰
	J4	۸۲	۶۲	۱۳۰
	J5	۸۸	۶۸	۱۵۰
	J6	۸۰	۶۰	۱۲۰
	J7	۹۰	۷۰	۱۶۰
	J8	۸۰	۰	۱۶۰
	J9	۷۵	۰	۱۴۰
	J10	۷۰	۰	۱۲۰
ساخت و تولید مجدد	J11	۷۰	۰	۰
	J12	۷۵	۰	۰

جدول ۳. وزن کارها بر روی هر گروه از ماشین‌آلات

کار	وزن بر روی ماشین لمینیت	وزن بر روی ماشین برش	وزن بر روی ماشین چاپ
J1	۳/۲	۴/۲	٤/۲
J2	۳/۶	۴/۸	۵/۷
J3	۳/۴	۴/۵	۵/۲

[10] Hearsay

کار	وزن بر روی ماشین لمینیت	وزن بر روی ماشین برش	وزن بر روی ماشین چاپ
J4	۳/۳	۴/۶	٤/۹
J5	۳/۶	۴/۶	٥/٥
J6	۳/۲	۴/۵	٤/۸
J7	۳/۷	۴/۸	٥/۷
J8		۴/۲	٤/٦
J9		۴	٤/۱
J10		۳/۷	۳/۷
J11		۳/۷	۱/٥
J12		۴	۱/۳

جدول ٤. تعیین ترتیب وورد سفارش کارها به در الگوریتم راین‌هود بهبودیافته برای ماشین‌های چاپ (کارها از از راست به چپ قرار دارند)

جانسون	چاپ										
	لمینیت	J7	J2	J5	J3	J6	J4	J1			
	برش	J11	J12	J8	J9	J10	J3	J2	J7	J4	J6	J3	J1
پالمر	چاپ	J 2	J 7	J 8	J 5	J 3	J 9	J 4	J 1	J 6	J 10		
	لمینیت	J2	J7	J3	J5	J1	J4	J6			
	برش	J11	J12	J8	J9	J10	J2	J7	J3	J5	J1	J4	J6
تبرید	چاپ	J7	J3	J6	J2	J4	J10	J5	J1	J8	J9		
	لمینیت	J6	J3	J7	J4	J2	J1	J5			
	برش	J11	J12	J8	J9	J10	J6	J3	J4	J7	J1	J2	J5

جدول ٥. روش جانسون با بردار بار {۹.۹، ۱۰.۲ ، ۱٤.٥ ، ۱٤.۸}

MP1		MP2		MP3		MP4	
۱۶۰	J7	۱۶۰	J2	۱۵۰	J5	۱۴۰	J3
۱۲۰	J6	۱۳۰	J4	۱۲۰	J1	۱۶۰	J8
۱۴۰	J9	۱۲۰	J10				
۴۲۰	زمان کل	۴۱۰		۲۷۰		۲۰۰	

جدول ٦. روش پالمر با بردار بار {۲۰،۱۵.۸،۱۳.٦،۰}

MP1		MP2		MP3		MP4
۱۶۰	J2	۱۶۰	J7	۱۶۰	J8	
۱۵۰	J5	۱۴۰	J3	۱۴۰	J9	

MP4	MP3		MP2		MP1	
	۱۲۰	J6	۱۲۰	J1	۱۳۰	J4
					۱۲۰	J10
	۴۲۰		۴۲۰		۴۲۰	زمان کل

جدول ۷. روش راین‌هود بهبودیافته SA با بردار بار {۲۰.۵،۱۵.۸،۱۳.۱،۰}

MP4	MP3		MP2		MP1	
	۱۲۰	J6	۱٤۰	J3	۱٦۰	J7
	۱۲۰	J10	۱٦۰	J2	۱۳۰	J4
	۱٦۰	J8	۱۲۰	J1	۱۵۰	J5
					۱٤۰	J9
	٤۰۰		٤۲۰		۵۸۰	زمان کل

جدول ۸. روش راین‌هود بهبودیافته جانسون با بردار بار {۱۰.۹،٦.۸۳،٦.۷۷}

ML3		ML2		ML1	
٦۵	J3	٦۸	J2	۷۰	J7
٦۲	J4	٦۰	J6	٦۵	J3
				٦۰	J1
۱۲۷		۱۲۸		۱۹۵	زمان کل

جدول ۹. روش راین‌هود بهبودیافته پالمر با بردار بار {۱۰.٤۵،٦.۹۳،٦.۸}

ML3		ML2		ML1	
٦۵	J3	۷۰	J7	٦۸	J2
٦۲	J4	٦۰	J1	٦۸	J5
				٦۰	J6
۱۲۷		۱۳۰		۱۹٦	زمان کل

جدول ۱۰. روش راین‌هود بهبودیافته SA با بردار بار {۱٤.۱۹،۹.۹۷،۰}

ML3		ML2		ML1	
		٦۵	J3	٦۸	J6
		٦۲	J4	۷۰	J7
		٦۰	J1	٦۸	J2
				٦۸	J5
۰		۱۸۷		۲۷٤	زمان کل

جدول ۱۱. روش راین‌هود بهبودیافته SA جانسون با بردار بار {۱۱.۸٤،۱۳،۱۳.٦،۱۳،۰}

MC4		MC3		MC2		MC1	
۷۵	J9	۸۰	J8	۷۵	J12	۷۰	J11
۹۰	J7	۹۰	J2	۸۵	J3	۷۰	J10

MC1		MC2		MC3		MC4	
J4	۸۲	J6	۸۵	J3	۸۵	J1	۸۰
زمان کل	۲۲۲		۲٤٥		۲٥٥		۲٤٥

جدول ۱۲. روش رابین‌هود بهبودیافته SA پالمر با بردار بار {۱۲.۱٦،۱۳،۱۳.۷،۱۳،۰}

MP1		MP2		MP3		MP4	
J7	۱٦۰	J2	۱٦۰	J5	۱٥۰	J3	۱٤۰
J6	۱۲۰	J4	۱۳۰	J1	۱۲۰	J8	۱٦۰
J9	۱٤۰	J10	۱۲۰				
زمان کل	٤۲۰		٤۱۰		۲۷۰		۲۰۰

جدول ۱۳. روش رابین‌هود بهبودیافته SA با بردار بار {۱۲.۲۷،۱٦.٥۲،۱۳.٦،۱۳،۰}

MP1		MP2		MP3		MP4		MP5
J11	۷۰	**J12**	۷٥	**J8**	۸۰	**J9**	۷٥	
J10	۷۰	**J3**	۸٥	**J6**	۸٥	**J4**	۸۲	
J2	۹۰	**J1**	۸۰	**J2**	۹۰	**J5**	۸۸	
زمان کل	۲۳۰		۲٤۰		۲٥٥		۲٤٥	

جدول ۱٤. بار نهائی روی ماشین‌ها در الگوریتم‌های مختلف

گروه ماشین	الگوریتم	ماشین ۱	ماشین ۲	ماشین ۳	ماشین ٤	ماشین٥
چاپ	جانسون	۱۴/۸	۱۴/٥	۱۰/۲	۹/۹	
	پالمر	۲۰	۱٥/۸	۱۳/۶	۰	
	تبرید	۲۰/٥	۱٥/۸	۱۳/۱	۰	
لمینت	جانسون	۱۰/۴	۶/۸۳	۶/۷۷		
	پالمر	۱۰/۴٥	۶/۹۳	۶/۸		
	تبرید	۱۴/۱۹	۹/۹۷	۰		
برش	جانسون	۱۱/۸۴	۱۳	۱۳/۶	۱۳	۰
	پالمر	۱۲/۱۶	۱۳	۱۳/۷	۱۳	۰
	تبرید	۱۲/۲۷	۱۶/٥۲	۱۳/۶	۱۳/۰۷	۰

در این قسمت محاسبه تابع هدف مقاله برای خروجی بالانس آنلاین بار با توجه به الگوریتم‌های تخصیص انجام می‌پذیرد. هدف به حداقل رساندن بیشینه بار یا کمینه‌سازی جمع مقادیر تفاوت بین بار بر روی هر ماشین از متوسط بار روی سیستم، در خط تولید و کاهش هزینه‌ها و بررسی زمان تکمیل فرآیند سفارشات کارهایی می‌باشد که بر اساس الگوریتم رابین‌هود بهبودیافته تخصیص داده شده است. در این مقاله تابع هدف $Z: \text{Min} \sum| (\mu(t) - L_i(t)|$ بررسی گردید و نتیجه محاسبه تابع هدف برای بررسی تأثیر هر یک از الگوریتم‌های تخصیص بر روی خروجی رابین‌هود بهبودیافته به شرح جدول ۱۵ است.

جدول ۱۵. خروجی تابع هدف

تبرید	پالمر	جانسون
۶۲/۷	۴۳/۳۴	۲۵/۴۵

۵) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج بخش ۴ و جدول ۱۵ مشاهده می‌شود که کمترین مقدار تابع هدف مقاله حاضر برای الگوریتم جانسون می‌باشد و در میان سه الگوریتمی که تأثیر آن بر روی خروجی الگوریتم بالانس آنلاین بار مورد بررسی قرار گرفت، به حداقل رساندن بیشینه بار در بکارگیری رابین‌هود بهبودیافته از میان سه الگوریتمی که برای تخصیص سفارش کارها مورد استفاده قرار گرفت، روش جانسون بهترین خروجی را از حیث به حداقل‌رسانی بیشینه بار بر روی ماشین‌آلات محقق ساخت. معضل برنامه‌ریزی متوازن بار بر روی ماشین‌آلات خطوط تولید یاد شده در کارخانجات مختلف از دغدغه‌های مدیران تولید می‌باشد که با استفاده از الگوریتم تلفیقی رابین‌هود بهبودیافته و جانسون برای تخصیص کارها می‌توان این معضل را کاهش داد به طوری که بتوان هم سفارشات را به موقع تحویل داد هم استهلاک نامتوازن بر خطوط را حذف کرد و هزینه‌های عملیاتی را کاهش داد. یافته‌های مطالعه حاضر با یافته‌های بابینیسکی و همکاران همسو می‌باشد. چرا که معیار کاهش هزینه در روش رابین‌هود از معیارهای دارای الویت معنی‌دار بوده و همچنین استفاده از روش فوق نیز برای بهینه‌سازی زمانبندی و توازن خط تولید در طولانی مدت عملکرد مؤثرتری داشته است. یافته‌های این پژوهش نیز در یافته‌های مارکو و همکاران تأیید شده است، به عبارتی، الگوریتم رابین‌هود عملکرد بهینه‌تری نسب به سایر روش‌های توازن بار آنلاین داشته است.

پیشنهاد می‌گردد با مکانیزم‌های جذب دانش از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی، عملکرد پرسنل را در استفاده از الگوریتم‌های جدید تقویت نمایند و همچنین با توسعهٔ ظرفیت‌ها و بسترهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری شرکت و بروزرسانی آن‌ها، بتوانند عملکرد رویکردهای توازن بار آنلاین را در خطوط تولید بهبود دهند. پیشنهاد می‌گردد که از رابین‌هود معکوس نیز برای بهبود عملکرد توازن بار آنلاین استفاده گردد.

منابع

Alavidoost, M.T., Tarimoradi, M., Fazel, M.H. (2015). Fuzzy Adaptive Genetic Algorithm for Multi-Objective Assembly Line Balancing Problems, Applied Soft Computing Journal, 34: 655–677. DOI:10.1016/j.asoc.2015.06.001

ARCUS, L.A. (1966). COMSOAL: A computer method of sequencing operations for assembly lines, International Journal of Production Research, 4: 25-32. DOI:10.1108/IJCST-01-2016-0002

Asadi Gongej, I., Nahavandi, N. (2015). Development of the Lagrangian Liberation Method for Solving the Scheduling Problem in a Flexible Workshop Environment. Journal of Industrial Engineering Researches and Manufacturing Systems. 6:121-131. (in persian) DOI:10.1007/978-3-319-04705-8_17

Avikal, S., Jain, R., Mishra, P.K., Yadav, H.C. (2013). A heuristic approach for U-shaped assembly line balancing to improve labor productivity, Computers & Industrial Engineering, 64: 895-901. DOI:10.1016/j.cie.2013.01.001

Babinski, S., Dockum, R., Craft, J., Fergus, A., Goldenberg, D., & Bowern, C. (2019). A Robin Hood approach to forced alignment: English-trained algorithms and their use on Australian languages. Proceedings of the Linguistic Society of America, 4 (1), 3:1-12. Doi: 10.3765/plsa.v4i1.4468

Bard, J.F. (1989). Assembly line balancing with parallel workstations and dead time, International Journal of Production Research, 27:1005–1018. DOI:10.1080/00207548908942604

Baybars, L. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem.Manag Sci, 32: 909–932. Doi: 10.3934/naco.2023003

Baykasoğlu, A. (2006). Multi-rule multi-objective simulated annealing algorithm for straight and U type assembly line balancing problems, Journal of Intelligent Manufacturing, 17: 217-232. DOI:10.1007/s10845-005-6638-y

Becker, C., Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, European Journal of Operational Research, 168: 694-715. DOI:10.1016/j.ejor.2004.07.023

Beheshti Nia, M.A., Akbari, J. (2105). Timing of the three-stage supply chain with a focus on the integrity of its stages. Journal of Industrial Engineering Research and Manufacturing Systems.6: 191-205. (in Persian) DOI:10.2507/IJSIMM11(4)3.212

Behnamian, J. (2015). Multipurpose scheduling of multi-factory production networks using sub-genotype algorithm and reactionary method. Journal of Industrial Engineering Researches and Manufacturing Systems. 6: 133-147. (in Persian) DOI:10.1080/00207543.2020.1797207

Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2008). Assembly line balancing: which model to use when? International Journal of Production Economics, 111: 509–528. DOI:10.1016/j.ijpe.2007.02.026

Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A.A. (2007). Classification of assembly line balancing problems, European Journal of Operational Research, 183: 674– 693. DOI:10.1016/j.ejor.2006.10.010

Caramia, M., Dell'Olmo, P., Italiano, G.F. (2001). New Algorithms for Examination Timetabling, Lecture Notes in Computer Science, 32: 230–242. DOI:10.1007/s10479-010-0782-2

Caramia, M., Dell'Olmo, P., Onori, R., 2004, Minimum Makespan Task Sequencing with Multiple Shared Resources, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 20: 234-251. DOI:10.1016/j.rcim.2003.10.003

Caramia.M, Dell'Olmo.P.2006.Effective Resource Management in Manufacturing Systems Optimization Algorithms for Production Planning, Springer series in advanced manufacturing, 38: 332-342. DOI:10.1007/1-84628-227-6

Dar-E, lE. (1973). MALB—a heuristic technique for balancing large single-model assembly lines, AIIE Transactions, 5: 343-356. Doi: 10.22094/joie.2020.560265.1542

Dar-E, lE.M. Rubinovitch, Y. (1979). Must—A Multiple Solutions Technique for Balancing Single Model Assembly Lines, Management Science, 25: 1105-1114. doi:10.1016/0272-6963(85)90025-7

Deng, J., Wang, L., Shen, J., Zheng, X. (2015).An Improved Harmony Search Algorithm for the Distributed Two Machine Flow-Shop Scheduling Problem, Springer Berlin Heidelberg Publish. DOI:10.1007/978-3-662-47926-1_11

Falkenauer, E., Delchambre, A. (1992). A genetic algorithm for bin packing and line balancing, Proceedings, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2: 1186-1192. **DOI:** 10.1109/ROBOT.1992.220088

Florios, K. (2018). A hyperplanes intersection simulated annealing algorithm for maximum score estimation. Econometrics and Statistics. 8: 37-55. doi:10.1016/j.ecosta.2017.03.005

Gutjahr, A.L., Nemhauser, G.L. (1964). An algorithm for the line balancing problem, Management Science, 11: 308-315. Doi: 10.1287/mnsc.11.2.308

Harsanyi, J.C. (1955). Cardinal welfare, individualistic ethics, and interpersonal comparisons of utility, Journal of Political Economy, 63:309–321. doi: 10.1086/257678

Hwang, R.K., Katayama, H., Gen, M. (2008). U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm, International Journal of Production Research, 46: 4637-4649. DOI:10.1080/00207540701247906

Kucukkoc, I., Zhang, D, (2014). Mathematical model and agent based solution approach for the simultaneous balancing and sequencing of mixed-model parallel two-sided assembly lines, Int. J. Production Economics, 158: 314–333. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.08.010

Lapierre, S.D., Ruiz, A., Soriano, P. (2006). Balancing assembly lines with tabu search, European Journal of Operational Research, 168: 826-837. DOI:10.1016/j.ejor.2004.07.031

Levi, D.S., Kaminsky, P., Levi, E.S. (2003). Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies, McGraw-Hill. DOI:10.1002/j.2158-1592.2001.tb00165.x

Marco, C., Eugenio G., Lisa R., Secchi, A. (2018). A “reverse Robin Hood”? The distributional implications of non-standard monetary policy for Italian households. Journal of International Money and Finance. 85: 215-235. DOI:10.2760/331492

Paksoy, T., Özceylan, E., Gökçen, H. (2012). Supply chain optimisation with assembly line balancing, International Journal of Production Research, 50: 3115-3136. DOI:10.1080/00207543.2011.593052

Palmer, D.S. (1965). Sequencing Jobs through a Multi-Stage Process in the Minimum Total Time- a Quick Method of Obtaining an ear Optimum, Operational Research Quarterly, 16: 101-107. DOI:10.1080/00207543.2011.593052

Peterson, C. (1993). A tabu search procedure for the simple assembly line balancing problem, in the proceedings of the decision science institute conference, 1502-1504. DOI: 10.1515/mper-2015-0008

Sabuncuoglu, I., Erel, E., Alp, A. (2009). Ant colony optimization for the single model U-type assembly line balancing problem, International Journal of Production Economics, 120: 287-300. DOI:10.1016/j.ijpe.2008.11.017

Salveson, M.E. (1955). The assembly line balancing problem' Journal of Industrial Engineering, 6: 18-25. DOI: 10.4236/ajibm.2016.65063

Scholl, A., Klein, R., Domschke, W. (1998). Pattern based vocabulary building for effectively sequencing mixed model assembly lines. Journal of Heuristics, 4: 359–381. Doi: 10.1023/A:1009613925523

Suman, B., Kumar, P. (2006). A survey of simulated annealing as a tool for single and multiobjective optimization, Journal of the Operational Research Society, 57: 1143-1160. DOI:10.1057/palgrave.jors.2602068

Yano, C.A., Bolat, A. (1989). Survey, development, and application of algorithms for sequencing paced assembly. DOI: 10.4236/jsip.2014.53009

Zhang, W., Maleki, A, Marc AR, Liu, J. (2018). Optimization with a simulated annealing algorithm of a hybrid system for renewable energy including battery and hydrogen storage. Energy.163: 191-207 .DOI:10.1016/j.energy.2018.08.112