فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال پانزدهم/ شماره ۵۲ / تابستان ۱۳۹۹

توسعه الگوریتم موازنه به هنگام بار در سیستم های کارگاهی (مطالعه کیفی)

نیما رحمانی
دانشجوی دکتری تخصصی گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
علیرضا ایرج پور(نویسنده مسؤول)
استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
Email: airajpour@yahoo.com
ناصر حمیدی
دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
اکبر عالم تبریز
استاد دانشگاه شهید بهشتی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران
رضا احتشام رایی
استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۶ * تاریخ پذیرش ۹۹/۰۴/۱۵

چکیده

یکی از مهم ترین مشکلات در سطح تاکتیکی، تولید انبوه سفارشات مختلف است که هر یک از این سفارشات با توجه به شرایط تولید و اهمیت مشتریان دارای اولویت های مختلف هستند، خط تولید متشکل از چندین ایستگاه کاری و ماشین است که هر یک در تواتر تولید با هم در ارتباط اند و ورودی یکی خروجی دیگری است. در این حالت هر ماشین و فرآیندی که باید محصول را تولید نماید با محدودیت های فرآیندی و تکنولوژی به لحاظ زمان و حجم و وزن هر کار و سلامت فیزیکی ماشین آلات، راندمان نیروی انسانی مواجه است. این مقاله با هدف لحاظ نمودن تمامی عوامل تاثیر گذار بر متوازن سازی خط تولید که در برنامه ریزی تولید کارگاهی اهمیت ویژه دارد، صورت می پذیرد و با بررسی تحلیلی در سوابق حل مسایل متوزان سازی بر خط و با بهره گیری از خبرگان، مولفه هایی را که در برنامه ریزی و زمان بندی خط تولید موثر اند را شناسایی و با بهره گیری از روش ترکیبی سوآرا و کوپراس ،این مولفه های تاثیر گذار را به الگوریتم متوازن سازی بر خطدر سیستم های تولیدی می افزاید. نتایج این تحقیق نشان می دهد که بروز رسانی صورت گرفته در الگوریتم متوازن سازی بر خط تولید نسبت به روش های پیشین دارای قابلیت عملیاتی و کیفیت در نتایج است.

کلمات کلیدی: سوآرا، قابلیت عملیاتی، کوپراس، متوازن سازی بر خط تولید، مطالعه کیفی.

۱-مقدمه

شرایط رقابتی موجب می شود که سیستم های تولید به دنبال استفاده از طرح های کارآمد و برنامه ریزی مناسب جهت خط تولید باشند.(Baudin, 2002) انعطاف پذیری از شیوه های مدرن و موثر در سیستم های تولیدی سفارش محور و مدیریت مناسب هزینه هاست (Levi et al., 2003). سیستم های تولیدی صرف نظر از اندازه ی آن ها باید قادر باشند در محیط های پویا با منابع کمیاب به فعالیت خود به خوبی ادامه دهند و مدیران می بایست منابع و تسهیلات تولید را به فعالیت های مختلف و موازی در یک بازه ی زمانی معین به نحوی اختصاص دهند که محدودیت ها و اولویت ها لحاظ گردد، تا کم ترین هزینه عملیاتی برای سازمان ایجاد شود . وجود زمان های بیکاری و یا وجود کار بیش از حد، تاخیر در تحویل به موقع سفارشات موجب عدم توازن و تعادل در فرآیند تولیدمی شوند .موارد بیان شده عواملی هستند که مشکلاتی را برای مدیریت سیستم ایجاد می کنند، برای رفع این معضلات مدیر ناچار به ارایه راهکارهایی جهت بهبود وضع موجود است (Sikora et al., 2017). یکی از روش‌های افزایش کارایی و بهره‌وری یک خط تولید، متعادل کردن خط تولید است (Boysen, 2007). متوازن بودن خط تولید به لحاظ زمان بندی تولید و توزیع بار بر روی ماشین ها می تواند سبب ارتقاء دو شاخص حایز اهمیت تحویل به موقع و تولید به موقع گردد که رضایت مشتری و مزیت رقابتی را برای تولید ایجاد می کند و موجب کاهش هزینه های ناشی از ظرفیت از دست رفته و انباشت محصولات نیمه ساخته در خطوط تولید گردد (Scholl et al., 1998). بیشتر تحقیقات انجام‌شده بر روی مسئله متوازن سازی خط تولید به دو دسته تقسیم شداند ،در مساله نوع اول، زمان دوره خط مونتاژ به عنوان ورودی مساله مشخص است و هدف کاهش تعداد ایستگاه‌های کاری است. در مساله نوع دوم، تعداد ایستگاه‌های مونتاژ به عنوان ورودی مساله معین است و تابع هدف کمینه‌سازی زمان سیکل کاری است (Paksoy et al., 2012).

این الگو ها به معیار وزن توزیع شده روی ماشین آلات توجه ندارد و در عالم واقع پیاده سازی آن ها به علت پیچیدگی در سیستم های تولید که ماشین ها اتوماتیک و نیمه اتوماتیک در خطوط تولید قرار دارند ، به سادگی مقدور نمی باشد. با توجه به موارد آورده شده در فوق، مسئله متوازن سازی خطوط تولید با در نظر گرفتن تمامی مولفه های تاثیر گذار که به صورت بر خط قابلیت پاسخ گویی به هر تغییر احتمالی را چه از حیث سفارش های کار و چه از حیث محدودیت های درون سازمانی داشته باشد حایز اهمیت است. .با توجه به محدودیت هایی که الگوریتم های متوازن سازی خط تولید دارند و نادیده گرفتن بار سفارش کار در ماشین آلات جهت متوازن سازی خطوط تولید از الگوریتم رابین هود توسعه یافته که به صورت بر خط متوازن سازی حجم کار را در خطوط تولید انجام می دهد استفاده می گردد، مطابق نظر کارمیا و دل المو این الگوریتم کاراترین الگوریتم موازنه بر خطبار[1] می باشد (Caramia & Dell'Olmo, 2006). اما این الگوریتم به عوامل تاثیر گذار بر وزن سفارشات کار در توزیع بر خط (به هنگام) آن ها به ماشین آلات مانند سلامت ماشین آلات، مهارت نیروی انسانی، تنظیمات ماشین و اهمیت و اولویت سفارشات نپرداخته است. از این رو این پژوهش از طریق مطالعه کیفی و با هدف لحاظ نمودن عوامل تاثیر گذار بر وزن سفارش کار در متوازن سازی بر خط تولید صورت می پذیرد. ادامه این پژوهش به این صورت است که ابتدا مبانی نظری پژوهش بررسی شده و در ادامه روش تحقیق و تحلیل نتایج مطالعه موردی بیان شده است و در نهایت بحث ونتیجه گیری این پژوهش تشریح گردیده است.

۲- روش شناسی پژوهش

الف) پیشینه نظری

۱- کنترل تولید

در یک کارخانه باید فعالیت های زیادی انجام شود تا کالا به میزان مورد نیاز مشتری در زمان مناسب در اختیار مشتری قرار گیرد. برخی فعالیت ها تمرکز بر عملیات فیزیکی تولید دارد و سایر فعالیت ها تمرکز به مدیریت و کنترل فعالیت ها دارد. مسایل مربوط به مدیریت در سطح عملیاتی در بر گیرنده مدیریت در سطح کارگاه است که شامل هدایت ماشین آلات ،کارگران و دیگر منابع است که بدینوسیله منابع مناسب برای هر فعالیت ، تواتر و مراحل انجام امور تعیین می شود

[1] On-Line Load Balancing

(Chryssolouris, 1993). کنترل تولید در سطح عملیاتی تنها به تخصیص منابع می پردازد که معمولا شامل یک برنامه ریزی کوتاه مدت قبل از تخصیص بهینه منابع با توجه به تمام نیاز ها و محدودیت ها تولید می باشد.به طور معمول زمان بندی شامل تخصیص هفته، روز، ساعت و دقیقه به هر فعالیت است. هنگامی که زمان بندی جهت هر فعالیت مورد محاسبه قرار می گیرد باید توسط عامل آن در سطح کارگاه جهت هر فعالیت ،سر زمان شروع و در موعد مقرر خاتمه یابد .این عملکرد را کنترل بر خط ساخت و تولید [۲]می نامند (Shirazi et al., 2018). فرآیند مدیریت شامل کنترل ماشین ها و پروسه است و اینکه چگونه باید محصولات را تولید کرد و توالی احتمالی مورد نیاز برای تولید یک محصول و برنامه دقیق عملیات دارای چه الگویی است و پارامتر های ماشین و نحوه فعالیت کارگر را برای تولید هر محصول تعریف می نماید. جهت کنترل تولید نیاز به اطلاعات کارگران، ماشین آلات و سفارشات در لحظه می باشد که به این منظور، باید داده ها ی هر یک از این مولفه ها را در مقدار مناسب جمع آوری ، ذخیره و باز یابی نمود. این عملکرد شامل گرفتن داده های ماشین آلات ، نیروی انسانی و سفارشات و تجزیه و تحلیل داده های خام و ایجاد اطلاعات کاربردی است . هدف اصلی کنترل تولید تحقق این زمان های تحویل است. از آنجا که متغیرهای زمان تحویل در هر زنجیره تحویل اساس کنترل و پایش آن را فراهم می سازد لازم است که تحلیل کار و زمان به نحوی شایسته صورت پذیرفته باشد. بدیهی است در صورتیکه محدوده استانداردهای زمانی مشخصی برای بخش های مختلف تعیین نگردیده باشد، شناسایی علل حالت های خارج از کنترل در تاخیرات مقدور نبوده و هدف نمودارهای کنترل محقق نمی گردد (Fisel et al., 2019).

کنترل و زمان بندی تولید، زمان بندی یک فرآیند بهینه سازی است که به تحقق چند هدف و معیار کلیدی عملکرد به شرح زیر اشاره دارد:

- به حداقل رساندن زمان تکمیل آخرین کار
- به حداقل رساندن تعداد کارهای تکمیل شده بعد زمان تعهد شده طبق قرار داد
- بازده تولید که به عنوان تعداد سفارشات ساخت و تولید به اتمام رسیده در واحد زمان تعریف می شود .
- فهرست موجودی های پای کار به عنوان تعداد سفارشات تعریف شده که هنوز به اتمام نرسیده است
- میانگین زمان اتمام سفارش به عنوان زمان پایان سفارش از زمان شروع سفارش کار در خط تولید تعریف می شود .
- میانگین تاخیر سفارش کار که تفاوت میان زمان پایان سفارش کار و تاریخ تحویل سفارش می باشد .
- حداقل نمودن هزینه کل فعالیت ها (Motaghi, 2015)

۲-کنترل بر خط عملیات ساخت و تولید

هنگامی که تولید بصورت متداول انجام شود وهمه چیز برطبق برنامه باشد، کنترل تولید یک فرایند ثابت ومعین خواهد بود، ولی چالش اصلی ازآنجایی آغاز میگردد که تولید ازبرنامه عقب بیفتد وبرنامه‌های جبرانی وتجدید نظر وارد کار گردند؛ دراین زمان است که وجود یک راهکار کنترل تولید برای پیشگری و حذف اتفاقات پیش‌بینی نشده خودرا بیش ازپیش نمایان می سازد (Jordi et al., 2017). دیسپاچینگ یعنی هماهنگ کردن تولید و مصرف، دیسپاچینگ در واقع فرآیندی است که عمل هماهنگی و تنظیم منابع و خطوط انتقال مواد و ایستگاه های کاری را توسط مرکز کنترل تولید در آن انجام می‌شود. وظیفه دیسپاچینگ، کنترل شبکه تولید ، بهره‌برداری بهینه ، حفاظت از پایداری تولید و حفظ ایمنی آن است. اطلاعاتی که دیسپاچینگ دریافت می‌کند باید لحظه به لحظه و واقعی باشد،دیسپاچینگ در سیستم تولید باید زمان بندی تولید را اجرا کرده و به اختلالات تولید در صورت امکان واکنش سریع نشان دهد (Bukchin et al., 2018). یک اصطلاح جدید در مقابل مفهوم سنتی دیسپاچینگ کنترل بر خط عملیات ساخت و تولید است که اشاره به آن بخش از کنترل تولید دارد که باید تصمیمات فوری را اتخاذ نماید.کنترل بر خط تولید فعالیت های مدیریتی در این خصوص را پوشش می دهد. در زمان‌بندی برخط کارها،در لحظه ممکن است سفارشات جدید و یا دوباره کاری ها لازم باشد وارد سیستم شوند و برنامه‌ریز بدون هیچگونه دانش قبلی باید این

[2] on-line manufacturing control

کارها را زمان‌بندی کند. در الگوریتم های بر خط تصمیم گیرنده با این مشکل مواجه است که چگونه می تواند هنگام ورود کار جدید تخصیص را انجام دهد در صورتی که در الگوریتم های آفلاین تصمیم گیرنده بر اساس اطلاعات پیشین زمان بندی بهینه را انجام داده است (Caramia & Dell'Olmo, 2006).

۳- متوازن سازی بر خط بار در تولید

مشکل متعادل سازی بار در خط تولید به عنوان مشکل تخصیص بر خط کارها به n ماشین تعریف می شود . افزایش بار بر روی ماشین موجب افزایش زمان انجام کارها می شود این نکته حایز اهمیت است که تخصیص و زمان بندی مجدد در این حالت مجاز نمی باشد ، هدف اصلی در حل این مسئله حداقل سازی حداکثر بار یا حداقل سازی مجموع قدر مطلق تفاضل میان بار روی ماشین و متوسط بار روی سیستم است. در این راستا می توان دو تحلیل اصلی انجام داد اول بر روی مشکل ناشی از کارهای موقت و دوم مشکل ناشی از کارهای دایمی ، مشکل اول اشاره دارد به اینکه یک فعالیت تولید زمان انجام محدود دارد. به عنوان مثال مدت زمان سفارش کار وارد شده به سیستم و مشکل دوم نیز به زمان انجام فعالیت کارها ی روتین و دایمی روی ماشین تمرکز دارد که هر یک از آن ها در زمان خروجی ماشین تاثیر می گذارند و سبب افزایش افق زمانی انجام فعالیت ها می گردند . مشکل متوازن سازی بر خط بار را می توان به طور ساده اینگونه تعریف کرد که یک ماشین دارای یک سفارش کار است و در هنگام انجام فعالیت سفارش کار دیگری برای ماشین تعریف می شود این سفارش کار جدید باعث افزایش بار بر روی ماشین می شود و این افزایش بار چند درصد اضافه تر از ظرفیت ماشین را به خود تخصیص می دهد و به مجموع زمان انجام فعالیت می افزاید. هر کار ورودی j یک بردار بار به همراه دارد: $P_j = \{P_{1j}. P_{2j} \cdots. P_{nj}\}$ که P_{ij} افزایش بار روی ماشین i است اگر هر کار j به آن تخصیص پیدا کند، این افزایش بار در مدت زمان d_j برای هر کار انجام می شود، برای حل این مشکل الگوریتم های متفاوتی ارایه شده است آن چه که مشخص است برای حل مسئله متوازن سازی بر خط بار در خط تولید الگوریتم های ارایه شده با توجه به ویژگی بردار بار می توانند دسته بندی های متفاوتی داشته باشند . از آن جا که در مسئله متوازن سازی بر خط بار کار های ورودی باید بدون دانش قبلی به ماشین ها تخصیص داده شود طبیعی است که عملکرد سیستم تولید را تحت تاثیر قرار می دهد ،به این گونه که بیشترین احتمال تاثیر اضافه بار بر خط (زمان بیش از وقت معین شده جهت اتمام فعالیت یا اضافه شدن به ماشین) بر حداکثر بار در زمان بندی انجام شده در الگوریتم بهینه سازی آفلاین می باشد، نسبت رقابتی بین این دو الگوریتم ممکن است به تعدادn ماشین بستگی داشته باشد که معمولا تعداد ماشین ها ثابت است و بستگی کمتری به تعداد کارها دارد اگه تعداد کارها زیاد باشد (Wei Jiayin et al., 2017).

برای بحث متوازن سازی بر خط بار الگوریتم های تقریبی زیادی ارائه شده اند ساده ترین مورد که در آن هر بردار بار برابر با مقدار کاری است که تنها روی آن فعالیت وجود دارد، این روش به الگوریتم گراهام مشهور است (Graham, 1996) بعد از آن روش های دیگری چون گریدی ، نیمه گیریدی، رابین هود و رابین هود پیشرفته نیز مطرح شده اند که روش رابین هود پیشرفته مطابق بررسی های کارمیا و دل اهمو کاراترین روش از نظر کیفیت جواب و زمان محاسبات است (Caramia & Dell'Olmo, 2006) (Wei Jiayin et al., 2017).

۴- الگوریتم رابین هود توسعه یافته

این الگوریتم ساده و قطعی است و به صورت بر خط سفارش کارها را تخصیص می دهد و به طور قابل توجه ای تصمیم خود را در مورد اختصاص سفارش کار جدید نه تنها بر اساس لود کار فعلی بلکه با در نظر گرفتن سابقه تخصیص کار قبلی انجام می دهد. با توجه به حالت مسئله موجود هر سفارش کار می تواند به بیش از یک ماشین خاص تخصیص یابد و هر سفارش کار دارای وزن مشخصی است.این الگوریتم در مقایسه با سایر الگوریتم های متوازن سازی بر خط تولید معرفی شده توسط کارامیا مانند گریدی، نیمه گریدی و رابین هود دارای نتایج بهینه تری است و کاراترین الگوریتم است.

مراحل پیاده سازی این الگوریتم به شرح زیر است:

۱. در ابتدا لازم است تمامی ماشین ها خالی باشند و کاری رو ماشین ها قرار نداشته باشد

۲. در T=1 سفارش کار j در لحظه t بـر روی ماشـین قـرار مـی گیـرد و راه حـل هـای همسـایگی نیـز ارزیـابی مـی شـود $s_i^{(t)} \in N(s^{(t-1)})$ و در صورت غیر قابل بارگذاری بودن ماشین آلات به طور رندوم یک راه حل جایگزین بـه جـای ماشـین غیر قابل بارگذاری انتخاب می شود که برای این منظور باید رابطه زیر محقق شود:

و سپس زمان دیگری با توجه به رابطه ی زیر انتخاب می شود

به طوریکه $\hat{\imath}$ یک ماشین قابل بارگذاری با زمان حداقل باشد. و $s^{(t)} = s_{\hat{\imath}}^{(t)}$

۳. و بازگشت به $f(s^{(t)})$ (Caramia & Dell'Olmo, 2006)

۵- قابلیت عملیاتی تولید

قابلیت عملیاتی تولید اشاره به فرآیند توسعه و اجرای استراتژی های تولیدی دارد که ابعاد استراتژی های تولیدی شامل هزینـه ، کیفیت ، انعطاف پذیری و قابلیت اطمینان است (Dangayach & Deshmukh, 2001). قابلیـت عملیـاتی تولیـد توصـیف کننده هر یک از اهرم های تولیدی و توانایی و شایستگی تولید برای ایجاد سطح بالایی از خروجی های تولید مانند زمان تحویـل سفارش ، انعطاف پذیری ، عملکرد ، هزینه و کیفیت می باشد (Miltenburg, 2008). زمان تحویل سفارش و قابلیت اطمینان تحویل سفارش و کیفیت محصول یکی از خروجی های بسیار مهم تولید است که می تواند پاسخگوی انتظارات مشـتریان باشـد (Kroes and Ghosh, 2010). برای تحقق هدف زمان تحویل سفارش و قابلیت اطمینان تحویـل سـفارش، اهـرم کنتـرل و برنامه ریزی تولید اهمیـت بـالایی دارد کـه در گـرو زمـان بنـدی صـحیح برنامـه تولیـدی و متـوازن بـودن خـط تولیـد اسـت (Bouranta& Evangelos, 2017).

ب) پیشینه تجربی

در مورد شناسایی عوامل تاثیر گذار بر وزن سفارشات و محاسبه وزن سفارشات کار در مسئله متوازن سازی خـط تولیـد تـاکنون پژوهشی صورت نگرفته است و پژوهش های پیشین در زمینه متوازن سازی تولید در ارتباط با روش های حل مسـئله مـی باشـد که به هدف این پژوهش مرتبط نمی باشد.

ج) روش‌پژوهش

این پژوهش با توجه به هدف هر دو دسته پژوهش های بنیادین و کاربردی را در بر می گیردبرای این منظور با بررسی پـژوهش های پیشین در زمینه متوازن سازی بر خط بار در خطوط تولید مراحل و تواتر کارآترین الگوریتم ارایه شده در این خصوص تبیـین می شود و سپس برای اینکه بتوان قابلیت عملیاتی یک خط تولید واقعی را بر اساس الگوریتم های متوازن سازی بر خط بـار در تولید ارتقاء داد ، با بهره گیری از نظر خبرگان این الگوریتم را در یک خط تولید پیاده سازی می نماییم و سپس بـا تحلیـل و افزودن مولفه هایی از نظر خبرگان که می تواند موجب شود پیاده سازی روش متوازن سازی بر خط بار در تولید سبب ارتقـاء قابلیت عملیاتی تولید گردد، الگوریتم مربوط را توسعه داده و نتایج را مورد ارزیابی قـرار مـی گیـرد. دسترسـی بـه ایـن هـدف بـا پژوهشی مبتنی بر مطالعه موردی تطبیق می یابد.

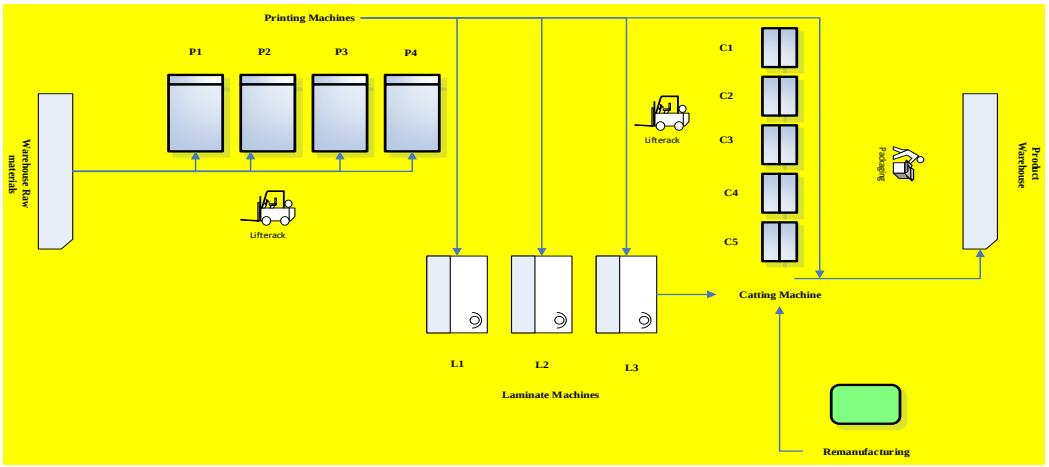
۱- انتخاب مورد مطالعه

قبل از انجام پژوهش اصلی به منظور مطالعه اولیه از نظر چهار خبره که در زمینه برنامه ریزی و متوازن سـازی خطـوط تولیـد فعالیت دارند، بهره گرفته می شود. این خبرگان شامل یک مدیر اجرایی تولید در کارخانه با تحصیلات فوق لیسـانس مهندسـی صنایع و ۲۵ سال سابقه کار ، یک کارشناس ممتاز برنامه نویسی در زمینه تحلیل زمان بندی و کنترل تولید با تحصیلات دکتـری برنامه نویسی کامپیوتر با ۱۵ سال سابقه کار و دو استاد دانشگاه با تحصیلات دکتری مهندسی صنایع به ترتیب با ۱۰ و ۱۵ سـال سابقه کار با تخصص در زمینه متوازن سازی و متوازن سازی خط تولید می باشند، نظرات خبرگان جهت انتخاب خط تولیدی که بتوان به طور صحیح الگوریتم متوازن سازی بر خط را در آن پیاده سازی نمود و نظرات آن ها را در توسعه الگوریتم به کاربسـت. با توجه به اینکه پژوهش حاضر یک پژوهش کیفی است هدف آن است که یافته ها را بتوان در نمونه های مشابه به کار گرفت نمونه گیری در پژوهش های کیفی سعی در تعیین گروه هایی از مردم دارد که دارای ویژگی هایی هستند یا در موارد مشـابهی

از پدید های علمی و اجتماعی فعالیت دارند (Byrne, 2001). از این رو خبرگان در این پژوهش بدان دلیل انتخاب شده اند که قادر به کشف دیدگاه مشخصی از رفتار مربوط به این پژوهش باشند. با توجه به حساسیت طرح شده جهت انتخاب خبرگان از روش نمونه گیری گلوله برفی استفاده شده است. به این ترتیب که از دو استاد دانشگاه خواسته شد خبرگان دیگر را معرفی نمایند.

۲- خط تولید مورد مطالعه

پس از انجام مصاحبه های اولیه و بر اساس توصیه های صورت گرفته توسط خبرگان و ویژگی هایی که خط تولید به لحاظ تواتر و سفارش محور بودن دارا می باشد و نیز قابلیت انجام مطالعه موردی، یک خط تولیدی که در زمینه چاپ لفاف های پلیمری که در بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرد ، انتخاب گردید .طرح جانمایی خط تولیدی مورد مطالعه به شرح ذیل است:



شکل شماره (۱): طرح جانمایی خط تولید مورد مطالعه

این خط شامل چهار دستگاه چاپ با شرایط فنی و ظرفیتی یکسان، سه خط لمینه پنج ایستگاه بسته بندی می باشد. مطاله موردی بر روی دستگاه های چاپ انجام می پذیرد.

۳- جمع آوری اطلاعات و اعتبار دهی پژوهش

مصاحبه های نیمه ساخت یافته و چهره به چهره با خبرگان جهت انتخاب خط تولید مورد مطالعه انجام گردید . مصاحبه ها به صورت گذشته نگر و متمرکز بر تجربیات عمومی پاسخ دهندگان در خصوص مسئله متوازن سازی خط تولید و زمان بندی تولید بود. پس از انتخاب خط تولید با تعداد زیادی از افراد حاظر در کارخانه ی مورد انتخاب، مصاحبه صورت پذیرفت و تجربه های مختلفی حاصل گردید که به نوبه خود موجب تقویت اعتبار داده ها می شود (Eisenhardt et al., 2007) سپس بعد از اخذ اطلاعات خط تولید و زمان های استاندارد تولید و شرایط سفارشات، با استفاده از تکنیک دلفی به صورت ساختار یافته از طریق مصاحبه باز و پرسش نامه، نظرات خبرگان در ارتباط با مولفه هایی که می بایست برای ارتقاء قابلیت عملیاتی به الگوریتم متوازن سازی بر خط تولید در کارخانه مورد مطالعه اضافه شود ادامه یافت تا اطمینان حاصل شد که یافته های جدید دیگری به پژوهش اضافه نمی شود. با توجه به ادبیات پژوهش و شرایط خط تولید انتخاب شده در ابتدا یک مصاحبه ی باز در ارتباط با اهداف اساسی پژوهش با خبرگان صورت گرفت و پس از جمع آوری اطلاعات حاصل از پیاده سازی مقدماتی الگوریتم در خط تولید و نظرات خبرگان، پرسش نامه ی بسته ایی تهیه شد و در اختیار خبرگان قرار گرفت، در این مرحله خبرگان به درجه بندی و اولویت بندی موارد طرح شده پرداختند و سپس پرسش نامه های دیگری جهت تعیین اوزان و اهمیت تهیه گردید و از خبرگان اخذ اطلاعات شد. در طول اقدامات هرگونه مشاهده صورت گرفته ثبت گردید و با اسناد و مدارک فراگیر ثانویه و مکاتبات صورت گرفته جهت پیگیری در مورد یافته های خاص و افزایش اعتبار سازه تحقیق از طریق مثلثی سازی، یافته های تحقیق تکمیل شد.

۴- روش تحلیل یافته های پژوهش

جهت متوازن سازی خط تولید انتخاب شده از روش متوازن سازی بر خط رابین هود توسعه یافته که بنا به مطالعات کارامیا و دل اهمو، کاراترین روش است، استفاده می گردد. سه ویژگی این روش یکی دخالت دادن وزن سفارش کارها در متوازن سازی است و دیگری تاثیر دادن سابقه سفارش قبلی در انجام سفارش جدید است و ویژگی آخر ایجاد توازن لود بار سفارشات کار به تمامی ماشین هاست که نسبت به روش های آفلاین قابلیت عملیاتی مناسبی را به زمان بندی تولید می دهد. این پژوهش به دنبال توسعه الگوریتم رابین هود توسعه یافته در خصوص تعیین وزن صحیح سفارشات کار که موثر در متوازن سازی تولید است می باشد زیرا که تاکنون در ارتباط با چگونگی تعیین وزن سفارشات روشی مطرح نشده است . بدین منظور از طریق مصاحبه باز و برگرفته از ادبیات پژوهش های پیشین، نظرات خبرگان در خصوص مولفه هایی که می تواند دخیل در تعیین وزن سفارشات باشد اخذ گردید و سپس جهت تعیین وزن سفارشات از روش تلفیقی تصمیم گیری چند معیاره بهره گرفته شد . برای این منظور پرسش نامه هایی بسته بر اساس مصاحبه انجام شده، تهیه گردید و در اختیار خبرگان قرار گرفت که نتایج حاصل از این پرسش نامه های تهیه شده را با استفاده از ترکیب دو روش نوین درجهت وزن دهی سفارشات کار، تحلیل می نماییم. روش ترکیبی وزن دهی مورد نظر روش سوآرا [3] و روش کوپراس [4]می باشد. سوآرا روش تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی می‌باشد. از سوآرا جهت وزن دهی معیار های موثر در وزن سفارشات کار بهره می بریم. سوآرا یکی از روش‌های جدید تصمیم گیری چندمعیاره است که در سال ۲۰۱۰ توسط خانم ویولتا کرسولاین به همراه زاوادسکاس و تورسکیس معرفی شد. از این روش برای محاسبه وزن معیارها استفاده می‌شود. علت در نظر گرفتن این روش این است که این روش ساده و قابل فهم بوده و جایگزین مناسبی برای تحلیلهای پیوسته به شمار می رود .در مقایسه با روشهای دیگر مقایسات زوجی کمتری داشته و در نتیجه برای حل مشکلات تصمیم گیری قابل استفاده است. مهم ترین مزیت این روش نسبت به سایر روش های مشابه توانایی آن در ارزیابی نظر خبرگان درباره شاخص های وزن داده شده در طی فرآیند روش می باشد (Kersuliene et al., 2010). علاوه بر این خبرگان می توانند با یکدیگر مشورت کرده و این مشورت نتایج حاصله را نسبت به سایر روش های تصمیم گیره چند معیاره معتبر تر می کند (Dehnavi et al., 2015). مراحل روش توسعه داده شده سوآرا به شرح زیر است:

گام اول : رتبه بندی متغیر ها بر اساس سطح اهمیت

در ابتدا شاخص های موردنظر تصمیم گیرندگان به عنوان شاخص های نهایی و بر اساس درجه اهمیت، انتخاب و مرتب می شوند. بر این اساس، مهم ترین شاخص ها در رده های بالاتر و شاخص های کم اهمیت تر در رده های پایین تر قرار می گیرند. امتیازات تخصیص داده به شرح زیر می باشد:

$$P_j^k . j = 1. k = 1.1; 0 \le P_j^k \le 1$$ رابطه (۱)

گام دوم : میانگین نسبی امتیازت اهمیت تمام معیار ها محاسبه می شود .l تعداد خبرگان را نشان می دهد. مقدار میانگین نسبی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\overline{P_j} = \frac{\sum_{k=1}^{l} P_{jk}}{l} \qquad j = 1.2.\cdots.n$$ رابطه (۲)

گام سوم : همه معیارها از کوچکترین تا بزرگ ترین بر اساس میانگین نسبی امتیاز اهمیت رتبه بندی و قیاس می شوند. در فرایند روش سوآرا این مقدارقبلی با S_j نشان داده می شود.

گام چهارم : ضریب C_j تابعی از مقدار اهمیت نسبی هر شاخص می باشد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود که مقدار آن میزان ارزش معیار j+1 را نسبت به معیار j نشان می دهد :

$$C_j = S_j + 1 \quad j = 1.2.\cdots.n$$ رابطه (۳)

گام پنجم: وزن اولیه این شاخص ها از طریق رابطه چهارم قابل محاسبه می باشد باشد. در این رابطه باید توجه داشت که وزن شاخص نخست که مهم ترین شاخص است برابر با ۱ در نظر گرفته می شود.

[3] SWARA-Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
[4] COPRAS

رابطه (۴)
$$\acute{S}_J = \frac{\acute{S}_J - 1}{C_j}$$

گام ششم : در آخرین گام از روش سوآرا وزن نهایی شاخص ها که وزن نرمال شده نیز محسوب می شود:

رابطه (۵)
$$w_j = \frac{\acute{S}_J}{\sum_{j=1}^{n} \acute{S}_J}$$

بعد از تعیین وزن معیار ها جهت تعیین رتبه و وزن سفارشات کار از روش کوپراس بهره می بریم . روش کوپراس در سال ۱۹۹۶ توسط زاوادسکاس و کاکلائوسکاس[۵] ارایه شده است و به عنوان یک روش موثر در انتخاب گزینه ها در تحقیقات دانشگاه فنی ویلنیوس گیدیمیناس معرفی شده است (Zavadskas et al., 2009) با استفاده از این روش می توان بازده کلی گزینه را مورد ارزیابی قرار داد (Yukoner et al., 2020) مراحل پیاده سازی روش کوپراس به شرح زیر است:

گام اول تشکیل ماتریس تصمیم کوپراس: ماتریس تصمیم کوپراس همانند ماتریس تصمیم تاپسیس یا ویکور یا الکتره می باشد. یعنی ماتریس معیار–گزینه است.

گام دوم محاسبه وزن معیارها: در این گام وزن معیار ها توسط روش سوآرا به دست می آید.

گام سوم تعیین معیارهای مثبت و منفی

گام چهارم نرمال سازی ماتریس تصمیم.

رابطه (۶)
$$d_{ij} = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}} x_{ij}$$

گام پنجم محاسبه مجموع مقادیر نرمال شده: در این گام باید مجموع مقادیر نرمال معیارهای مثبت را جدا و معیارهای منفی را جدا برای هر گزینه محاسبه کرد.

رابطه (۷)
$$s_j^+ = \sum zi = +d_{ij}$$

رابطه (۸)
$$s_j^- = \sum zi = -d_{ij}$$

گام ششم : رتبه بندی نهایی الترناتیوها (گزینه ها): در این گام با توجه به رابطه زیر که محاسبه شاخص کوپراس است گزینه ها را رتبه بندی می نماییم. هر چه مقدار Qj بزرگتر باشد نشان دهنده رتبه بهتر آن آلترناتیو در اولویت بندی است.

رابطه (۹)
$$Q_j = s_j^+ + \frac{s_{min}^- \sum_j^n = 1 s_j^- x}{s_j^- \sum_j^n = 1 \frac{s_{min}^-}{s_j^-}}$$

گام هفتم مرحله نهایی مشخص کردن آلترناتیوی است که بهترین وضعیت را در بین معیارها دارد که با افزایش یا کاهش رتبه هر آلترناتیو درجه اهمیت آن نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. آلترناتیوهایی که بهترین وضعیت را به لحاظ معیارها داشته باشند، با بالاترین درجه اهمیت Nj مشخص می‌شوند که Nj برابر با ۱۰۰ درصد است. مقدار کلی درجه اهمیت هر معیار که محاسبه می-شود از ۰ تا ۱۰۰ درصد است. که در میان این دامنه، بهترین و بدترین آلترناتیو تعیین می شوند.درجه اهمیت هر Nj از آلترناتیو Ajبر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۰)
$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{ma}} \times 100$$

(Valipour et al., 2017)

۳- نتایج و بحث

الف)یافته ها

بر اساس سوابق پژوهش های پیشین و مصاحبه باز انجام شده با خبرگان ، مشخص گردید که در مسئله متوازن سازی خط تولید به صورت یکپارچه به تمامی مواردی که می تواند در برنامه ریزی تولید و زمان بندی آن موثر باشد پرداخته نشده است. یکی از موارد مهم که در الگوریتم رابین هود توسعه یافته برای متوازن سازی بر خط تولید در نظر گرفته شده است وزن

سفارشات کار است، که تحلیل مضامین مصاحبه با خبرگان ، مولفه های آورده شده در جدول ذیل را موثر در وزن سفارشات کار نشان می دهد:

جدول شماره (۱): مولفه های موثر در وزن سفارشات کار

ردیف	مولفه های موثر در وزن	زیر شاخص
۱	مهارت نیروی انسانی	هزینه های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی
۲	سلامت فیزیکی ماشین ها	سه شاخص قابلیت اطمینان ماشین آلات ، متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین[۶] و دسترس پذیری ماشین آلات
۳	زمان ست آپ هر سفارش	دو عامل زمان لود مواد اولیه بر ماشین و زمان شروع عملیات بر روی محصول
۴	اولویت سفارش کار	سه عامل شاخص سود و شاخص تکرار شوندگی ، شاخص وفاداری مشتریان بر گرفته از دیدگاه واحد بازار یابی و فروش

مهارت نیروی انسانی: بسیاری از عملیات مونتاژ و کارگاهی را در کارخانه ها را کارگرانی انجام می دهند که از نظر سطح مهارت متفاوت اند. این سطح اختلاف اگر به درستی لحاظ شود، میتواند اختلاف در ساعات بیکاری و همچنین هزینه های نیروی انسانی را کاهش دهد. بر این اساس این موضوع، به طور مستقیم بر عملکرد متوازن سازی اثرگذار است؛ چرا که تفاوت در سطح مهارت کارگران باعث میشود زمان های عملیات نیز متفاوت شوند؛ بنابراین درنظرگرفتن مسئله ی متوازن سازی و تخصیص نیروی انسانی به طور همزمان میتواند باعث افزایش کارایی و بهره وری سیستم شود.پس داده های ورودی این آیتم بر اساس هزینه های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی که تابعی از هزینه عملیاتی انجام فعالیت روی ماشین m توسط اپراتور با سطح مهارت L می باشد استخراج می گردد (Ramezanian & Ezzatpanah, 2015).

سلامت فیزیکی ماشین ها: توجه به ماشین آلات در مسئله متوازن سازی خط تولید از حیث اینکه ماشین آلات تولید در بازه ی مجاز دسترس پذیری تولید و راندمان نامی خود باشند بسیار حایز اهمیت است. در شیفت های کاری قطعا بهره بردن از توان نامی ماشین آلات و قابلیت اطمینان آن ها برای انجام سفارش کارهایی که به صورت بر خط وارد تولید می شوند متفاوت است که می تواند بر وزن سفارشات کار تاثیر گذار باشد . بر این اساس این موضوع، به طور مستقیم بر عملکرد متوازن سازی اثرگذار است؛ چرا که توجه به سلامت ماشین آلات یکی از مهم ترین عوامل موفقیت در یک فعالیت تولیدی است که در نهایت موجب ارتقاء سطح کیفی و کمی سازمان تولید می شود. (Rafie & Moahamdi Talab, 2017). سه زیر شاخص قابلیت اطمینان ماشین آلات، متوسط زمان بین دو خرابی و دسترس پذیری از شاخص های حایز اهمیت سلامت فیزیکی ماشین آلات است (Muchiri, 2011).

زمان آماده سازی برای هر سفارش : انجام عملیات تولید بر روی هر ماشین نیازمند صرف زمان های آماده سازی برای آن ماشین است و از این رو هر سفارش کار می تواند زمان های آماده سازی (ست آپ) متفاوت را بر روی ماشین ها برای هر عملیات قابل انجام توسط آن ماشین داشته باشد . بر این اساس این موضوع، به طور مستقیم بر عملکرد متوازن سازی اثرگذار است و می تواند در تعیین وزن هر سفارش کار موثر باشد(Peng et al., 2018).

اولویت سفارش کار: جذب مشتریان سود آور و نیز حفظ و نگه داری مشتریان ارزشمند قدیمی هر دو اهمیت زیادی دارند از این رو توجه به سفارشاتی که از جانب مشتریان ارزشمند بارگذاری می شوند و سود مالی بیشتری به سازمان می رسانند حایز اهمیت است و اینگونه از سفارشها به لحاظ تحویل به موقع دارای اولویت بیشتری می باشند و باید با اولویت بالاتری در پروسه تولید قرار بگیرند. با توجه به این موضوع، به طور مستقیم بر عملکرد متوازن سازی اثرگذار است و می تواند در تعیین وزن هر سفارش کار موثر باشد. شاخص اولویت سفارش کار دارای زیر شاخص هایی به شرح ذیل است:

[6]. MTBF- mean time between failures

۱-شاخص سود: سفارش کارهایی که سود مالی بالاتر دارند و حجم سفارش آن ها بالاست.
۲- شاخص تکرار شوندگی: این شاخص بر فاصلهٔ زمانی بین آخرین خرید مشتری تا پایان دورهٔ بررسی شده اشاره دارد.
۳- شاخص وفاداری مشتریان :اولویت سفارش کارهایی که مشتریان سفارش دهنده از مشتریان وفاداری هستند که حجم ثابت و بالایی از سفارش کار را در دوره های زمانی مختلف سفارش گذاری می کنند (Asfindani et al., 2018) و (Kim Thai Young, 2018).

با توجه به جدول یک شاخص های تاثیر گذار بر وزن سفارشات کار شامل هزینه های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی، قابلیت اطمینان ماشین آلات ،متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین ،دسترس پذیری ماشین آلات ،زمان لود مواد اولیه بر ماشین ،زمان شروع عملیات بر روی محصول ،شاخص سود سفارش کار، شاخص تکرار شوندگی، شاخص وفاداری مشتریان می باشند. به منظور انجام محاسبات عددی و نمونه برای حل مسئله متوازن سازی بر خط تولید با استفاده از الگوریتم رابین هود توسعه یافته در کارگاه تولیدی انتخاب شده اند. در لحظه با در نظر گرفتن ۳۰ سفارش کار که آماده وارد شدن به پروسه چهار دستگاه چاپ هستند، می خواهیم فاکتور وزن سفارشات کار را بر اساس توصیه خبرگان از طریق روش ترکیبی سوآرا و کوپراس تعیین نماییم و قابلیت عملیاتی تعیین دقیق عامل وزن سفارشات کار در متوازن سازی بر خط را بررسی کنیم . برای این منظور دو پرسشنامه بر اساس روش های سوآرا و کوپراس در اختیار خبرگان قرار گرفت بر اساس پاسخ ها محاسبات به شرح ذیل انجام گردید:

گام اول: تعیین وزن شاخص های موثر در وزن هر سفارش کار از طریق روش سوآرا.

جدول شماره (۲): شاخص های رتبه بندی شده

شاخص	خبره ۱		خبره۲		خبره۳		خبره ۳	
	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه
هزینه های هر سفارش کار	c۱	۷	c۱	۴	c۱	۸	c۱	۷
قابلیت اطمینان ماشین آلات	c۲	۶	c۲	۹	c۲	۲	c۲	۵
متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین	c۳	۳	c۳	۳	c۳	۴	c۳	۶
دسترس پذیری ماشین آلات	c۴	۹	c۴	۵	c۴	۱	c۴	۴
زمان لود مواد اولیه بر ماشین	c۵	۱	c۵	۱	c۵	۳	c۵	۹
زمان شروع عملیات بر روی محصول	c۶	۸	c۶	۲	c۶	۹	c۶	۸
شاخص سود سفارش کار	c۷	۸	c۷	۸	c۷	۵	c۷	۳
شاخص تکرار شوندگی	c۸	۵	c۸	۵	c۸	۷	c۸	۲
شاخص وفاداری مشتریان	c۹	۵	c۹	۱	c۹	۷	c۹	۱

جدول شماره (۳): وزن نهایی شاخص ها

شاخص	نشان	Sj	kj=Sj+1	Wj=(xj-1)/Kj	qj=wj/Sumwj
زمان شروع عملیات بر روی محصول	c۶	۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۳۹۹
هزینه های هر سفارش کار – مهارت نیروی انسانی	c۱	۰/۷	۱/۷۰	۱/۵۹	۰/۲۵۸۸
قابلیت اطمینان ماشین آلات	c۲	۰/۹۱	۱/۹۱	۰/۳۱	۰/۱۳۵۳
شاخص سود سفارش کار	c۷	۰/۷۷	۱/۷۸	۰/۱۷	۰/۰۷۶۲
دسترس پذیری ماشین آلات	c۴	۰/۸۵	۱/۸۵	۰/۰۹	۰/۰۴۱۲
شاخص تکرار شوندگی	c۸	۰/۷۵	۱/۷۵	۰/۰۵	۰/۰۲۳۵

شاخص وفاداری مشتریان	c۹	۰/۷۸	۱/۷۹	۰/۰۳	۰/۰۱۳۲
متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین	c۳	۰/۷۷	۱/۷۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۴
زمان لود مواد اولیه بر ماشین	c۵	۰/۶۷	۱/۶۸	۰/۰۱	۰/۰۰۴۴

گام دوم: تعیین اولویت سفارش کار ها و تعیین وزن آن ها از طریق روش کوپراس به شرح جدول شماره ۴ تعیین می شود.
گام سوم: با توجه به زمان های استاندارد هر سفارش کار و وزن آن ها که در جدول ۶ آورده شد از طریق الگوریتم رابین هود توسعه یافته تخصیص سفارشات کار به چهار دستگاه در خط تولید انجام گردید که نتایج به شرح جدول شماره ۵ می باشد.
محاسبات آورده شده حداقل در یک دوره زمانی سه ماهه نزدیک به ۱۵۰ مرتبه در خط تولید مذکور جهت زمان بندی تخصیص سفارشات به ماشین آلات چاپ تکرار شد که مشاهده گردید که توزیع سفارشات کار بر روی ماشین ها با توجه به زمان انجام کار ها و لحاظ کردن مولفه های مهارت نیروی انسانی ، سلامت فیزیکی ماشین آلات و زمان های ست آپ و اولویت سفارشات در وزن هر کار، به طور متوازن انجام شده است، به طوری که بار بر روی هر ماشین نسبت به سایر ماشین ها متوازن است، سفارشات بر اساس اولویتشان در برنامه تولید قرار می گیرند و هزینه های تولید از نظر نیروی انسانی و مبحث تعمیرات و نگه داری نیز متوازن گردید. اطلاعات شاخص های عملیاتی در طول دوره مطالعه درکارگاه چاپ به شرح جدول شماره ۶ می باشد.

جدول شماره (۴): رتبه بندی، میزان مطلوبیت و تعیین وزن

سفارش کار	شاخص Q		درجه مطلوبیت	وزن هر سفارش
Q۳	۰/۲۴۸۱۸۵	N۳	100	۴/۸۸
Q۱۰	۰/۲۳۳۳۸۲	N۱۰	۹۴/۰۳	۴/۵۸
Q۹	۰/۲۲۱۶۰۷	N۹	۸۹/۲۹	۴/۳۵
Q۱۳	۰/۲۰۲۳۰۴	N۱۳	۸۱/۵۱	۳/۹۷
Q۸	۰/۱۹۸۹۵۱	N۸	۸۰/۱۶	۳/۹۱
Q۲	۰/۱۸۹۶۸۶	N۲	۷۶/۴۲	۳/۷۳
Q۱۲	۰/۱۸۵۱۹	N۱۲	۷۴/۶۱	۳/۶۴
Q۲۸	۰/۱۸۱۵۲۱	N۲۸	۷۳/۱۳	۳/۵۷
Q۲۷	۰/۱۷۹۲۳۴	N۲۷	۷۲/۲۱	۳/۵۲
Q۱۷	۰/۱۷۹۰۶۹	N۱۷	۷۲/۱۵	۳/۵۲
Q۲۵	۰/۱۷۸۲۳۴	N۲۵	۷۱/۸۵	۳/۵۰
Q۲۲	۰/۱۷۳۷۴۶	N۲۲	۷۰	۳/۴۱
Q۲۶	۰/۱۷۳۱۶	N۲۶	۶۹/۷۷	۳/۴۰
Q۱۶	۰/۱۷۳۱۰۵	N۱۶	۶۹/۷۴	۳/۴۰
Q۱۱	۰/۱۶۲۷۶۷	N۱۱	۶۵/۶۲	۳/۲۰
Q۲۳	۰/۱۶۲۸۰۶	N۲۳	۶۵/۵۹	۳/۲۰
Q۱۵	۰/۱۵۹۰۸۹	N۱۵	۶۴/۱	۳/۱۳
Q۷	۰/۱۵۸۳۱۳	N۷	۶۳/۷۸	۳/۱۱
Q۲۱	۰/۱۵۶۸۱۷	N۲۱	۶۳/۱۸	۳/۰۸
Q۲۰	۰/۱۵۴۷۹۸	N۲۰	۶۲/۳۷	۳/۰۴
Q۱۴	۰/۱۵۴۵۴۵	N۱۴	۶۲/۲۶	۳/۰۴
Q۵	۰/۱۵۲۱۱۹	N۵	۶۱/۲۹	۲/۹۹
Q۱	۰/۱۵۱۵۰۸	N۱	۶۱/۰۴	۲/۹۸
Q۶	۰/۱۵۰۶۷۲	N۶	۶۰/۷	۲/۹۶
Q۱۹	۰/۱۴۸۷۵	N۱۹	۵۹/۹۳	۲/۹۲

Q۲۴	۰/۱۴۶۶۸۱	N۲۴	۵۹/۱	۲/۸۸
Q۱۸	۰/۱۴۶۲۵۴	N۱۸	۵۸/۹۲	۲/۸۷
Q۴	۰/۱۲۵۰۸۲	N۴	۵۰/۳۹	۲/۴۶
Q۳۰	۰/۱۲۲۴۸۷	N۳۰	۴۹/۳۵	۲/۴۱
Q۲۹	۰/۱۲۰۰۶۵	N۲۹	۴۸/۳۷	۲/۳۶

جدول شماره (۵): تخصیص سفارشات کار بر روی دستگاه های چاپ با استفاده از الگوریتم رابین هود توسعه یافته

ماشین چاپ۱		ماشین چاپ ۲		ماشین چاپ ۳		ماشین چاپ ۴	
سفارش	زمان تولید	سفارش	زمان تولید	سفارش	زمان تولید	سفارش	زمان تولید
Q۱۰	۱۶۰	Q۳	۱۶۰	Q۹	۱۵۰	Q۱۳	۱۴۰
Q۲۷	۱۵۰	Q۲۸	۱۴۰	Q۱۲	۱۳۰	Q۸	۱۶۰
Q۲	۱۴۰	Q۱۲	۱۱۰	Q۵	۱۲۰	Q۲۵	۱۱۰
Q۱۶	۱۶۰	Q۲۶	۱۳۰	Q۱۱	۱۲۰	Q۲۲	۱۵۰
Q۷	۱۲۵	Q۲۴	۱۷۰	Q۲۳	۱۵۰	Q۱۵	۱۵۰
Q۲۰	۱۳۰	Q۳۰	۱۵۰	Q۵	۱۵۰	Q۱۴	۱۴۰
Q۲۹	۱۴۰	Q۱	۱۳۰	Q۶	۱۵۰	Q۱۹	۱۳۰
Q۲۴	۱۱۰	Q۱۸	۱۳۰	Q۳	۱۴۰		
مجموع زمان	۱۱۱۵		۱۱۲۰		۱۱۱۰		۹۸۰

جدول شماره (۶): نتایج شاخص های عملیاتی در دوره مطالعه در کارگاه تولیدی

ماشین ها	دوره های ماهانه مطالعه	شاخص نسبت هزینه عملیاتی	شاخص دسترس پذیری	شاخص عملکرد
ماشین چاپ ۱	اول	٪۸	٪۹۴	٪۹۳
	دوم	٪۸	٪۹۵	٪۹۲
	سوم	٪۸	٪۹۵	٪۹۲
ماشین چاپ ۲	اول	٪۹	٪۹۶	٪۹۰
	دوم	٪۷	٪۹۵	٪۹۲
	سوم	٪۸	٪۹۶	٪۹۳
ماشین چاپ ۳	اول	٪۸	٪۹۶	٪۹۲
	دوم	٪۸	٪۹۵	٪۹۲
	سوم	٪۸	٪۹۵	٪۹۲
ماشین چاپ ۴	اول	٪۹	٪۹۴	٪۹۱
	دوم	٪۹	٪۹۶	٪۹۰
	سوم	٪۸	٪۹۶	٪۹۳

هم چنین برای شاخص تحویل به موقع کارگاه در هر سه ماه عدد ۹۸ درصد حاصل گردید.

ب) بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی پیشینه و سیکل تکامل روش های متوازن سازی خط تولید از ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۹ متوجه می شویم که تکنیک های متوازن سازی هر یک با استفاده از مدل های ریاضی و تجربی در پی حل مسئله متوازن سازی خط تولید هستند. بیشتر تحقیقات انجام‌شده بر روی مسائل نوع اول و دوم موازنه یعنی کم کردن ایستگاه کاری و کم کردن سایکل تایم متمرکز شده‌اند. همه ی

این الگو ها به معیار وزن توزیع شده روی ماشین آلات توجه ندارد و در عالم واقع پیاده سازی آن ها به علت پیچیدگی در سیستم های تولید که ماشین ها اتوماتیک و نیمه اتوماتیک در خطوط تولید قرار دارند ، به سادگی مقدور نمی باشد برای حل این معضل در سیستم های تولیدی الگوریتم هایی تحت عنوان موازنه بر خط بار ارائه شده است که وزن کارها را میان ماشین آلات به طور متوازن توزیع می کنند. با توجه به حالت مسئله موجود هر سفارش کار می تواند به بیش از یک ماشین خاص تخصیص یابد و هر سفارش کار دارای وزن مشخصی است ولی در شرایط واقعی و دایما در حال تغییر و پر ریسک در فرآیند و خطوط تولید ، جهت متوازن سازی تنها یک عامل که در پژوهش های پیشین متوازن سازی خط تولید به آن ها پرداخته شده است عامل تعیین کننده نیست ،در این پژوهش با انجام مطالعه کیفی در خصوص اینکه چه عواملی در وزن سفارشات کار موثر اند، پرداخته شد و بر اساس مطالعه میدانی و بهره گرفتن از نظر خبرگان، عواملی چون اهمیت سفارش کار ، سلامت فیزیکی ماشین آلات هم به لحاظ آماده ی کار بودن و هم به لحاظ ارائه ی خروجی مناسب ،مهارت نیروی انسانی ، هزینه ست آپ به وزن سفارشات کار در پیاده سازی الگوریتم رابین هود توسعه لحاظ گردید.

در ادبیات روش های متوازن سازی بر خط تولید، روشی محاسباتی برای تعیین وزن سفارشات کار وجود نداشت این پژوهش برای اولین بار با ارایه رویکردی علمی و با استفاده از یک روش ترکیبی تصمیم گیری چند معیاره که تلفیق روش سوآرا و کوپراس می باشد ، تکنیکی قاعده مند را برای محاسبه وزن سفارشات کار ارایه نمود، با پیاده سازی این تکنیک تلفیقی و لحاظ نمودن مولفه های موثر در وزن سفارشات کار ، متوازن سازی خط تولید را از طریق الگوریتم رابین هود توسعه یافته در شرایط واقعی انجام گرفت و برگفته از نتایج آن مشخص گردید که در شرایط عملیاتی با متوازن سازی برنامه تولید و ایجاد بار متوازن بر روی همه ماشین ها ، هزینه های عملیاتی ناشی از استهلاک ماشین ها ، زمان های بیکاری ماشین و نیروی انسانی را مدیریت کرده و با ارتقا کیفیت زمان های تحویل بر اساس اولویت های صحیح فروش و بازار یابی، قابلیت عملیاتی تولید را رشد داده است.

برگرفته از نتایج پژوهش به عنوان پیشنهاد کاربردی توصیه می گردد که قابلیت اطمینان ماشین آلات با در نظر گرفتن استراتژیهای مناسب مدیریت و تعمیرات در شرایط قابل قبولی باشد و با آموزش مدون و کاربردی کارگران بتوان سطح مهارت آن ها را در انجام تولید و کاهش زمان های ست آپ و راهبری مناسب ماشین آلات ارتقا داد . هم چنین به منظور تسهیل متوازن سازی و پاسخ گویی به مسئله زمان بندی خط تولید می بایست توجه مناسبی به بهره گیری از تکنولوژی ها مناسب و طراحی جانمایی ماشین آلات در بدو راه اندازی خطوط صورت پذیرد.

به منظور پژوهش های آینده می توان به بررسی مولفه های دیگری چون ریسک در زنجیره تامین ، ریسک درحوزه ست آپ و قابلیت اطمینان ماشین آلات که می تواند بر متوازن سازی خط تولید تاثیر بگذارد پرداخت . هم چنین برای بهبود زمان و کیفیت نتایج حاصل از روش های بر خطوط تولید مانند رابین هود پیشنهاد می شود توسعه ریاضی نیز در ساختار الگوریتم جهت خطوط تولید پیچیده با تعداد سفارشات کار بالا صورت پذیرد تا کیفیت پاسخ ها و زمان برنامه ریزی بهبود یابد.

٤- منابع

1. Asfidani, Mohammad. &Kimasi, Masood. &Roustie, Ahmad. (2018). Identifying Corporate Customer Behavior Pattern and Its Relationship with Corporate Banking Strategies in Iranian Banking Industry. *Shahed University Business Strategies Journal*, 2(1) 1-4. (in persian).
2. Baudin, M. (2002). *Lean assembly: the nuts and bolts of making assembly operations flow*. New York, USA: Productivity Press.
3. Bouranta, Nancy, and Evangelos, Psomas. (2017). A comparative analysis of competitive priorities and business performance between manufacturing and service firms. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66(7): 914-931.
4. Boysen, N. &Fliedner, M. &Scholl A.A. (2007). Classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183: 674– 693.

5. Bukchin, Yossi. &Raviv, Tal. (2018). Constraint programming for solving various assembly line balancing problems. *Omega*, 78: 57-68.
6. Byrne, M. (2001). Sampling for qualitative research. *AORN J*. 73(2): 494- 498.
7. Caramia, M. &Dell'Olmo, P. (2006). *Effective Resource Management in Manufacturing Systems Optimization Algorithms for Production Planning*. Springer series in advanced manufacturing.
8. Chryssolouris, G. (1991). An Approach for Allocating Manufacturing Resources to Production Tasks. *Journal of Manufacturing Systems*, 10 (5):368-374.
9. Dangayach, G.S., & Deshmukh, S.G. (2001). Manufacturing strategy: literature review and some issue. *Int. J. of Operations & Production Management*, 21(7): 884-932.
10. Dehnavi, Alireza. &Nasiri Aghdam, Iman. &Pradhan, Biswajeet. &Morshed Varzandeh, Mohammad Hossein. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *CATENA*, 135: 122-148.
11. Eisenhardt, Kathleen M. &Melissa, E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of management journal*, 50(1): 25-32.
12. Fisel, Johannes. &Exner, Yannick. &Stricker, Nicole. &Lanza, Gisela. (2019). Changeability and flexibility of assembly line balancing as a multi-objective optimization problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 53: 150-158.
13. Graham, R. L. (1996). Bounds for certain multiprocessing anomalies. *Bell Syst. Tech. J*, 45:1563–1581.
14. Jordi, Pereira. &Álvarez-Miranda, Eduardo. (2017). An exact approach for the robust assembly line balancing problem. *Omega*, 78: 85-98.
15. Kersuliene, V. &Zavadskas, E. Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11 (2): 243-258.
16. Kim, Thai. &Young. (2018). Improving warehouse responsiveness by job priority management. *A European distribution centre field study, Computers & Industrial Engineering*. https://doi/org/10/1016/j/cie/2018/12/011
17. Kroes, J.R. &Ghosh, S. (2010). Outsourcing congruence with competitive priorities: impact on supply chain and firm performance. *Journal of Operations Management*, 28 (2): 124-143.
18. Levi, D. S. &Kaminsky, P. &Levi, E. S. (2003). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies*, McGraw-Hill.
19. Miltenburg, J. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within-a- factory, *International Journal of Production Economics*, 113: 307-323.
20. Motaghi, Hayedeh. (2015). Production and Operations Management. Avaya Shervin Publishing. (in persian).
21. Muchiri, P. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131:295-302.
22. Paksoy, T. &Özceylan, E. &Gökçen, H. (2012). Supply chain optimization with assembly line balancing. *International Journal of Production Research*, 50:3115-3136.
23. Peng, Kunkun. &Wen, Long. & Li Ran. & Gao, Liang. &Li, Xinyu. (2018). An Effective Hybrid Algorithm for Permutation Flow Shop Scheduling Problem with Setup Time.*Procedia CIRP*, 72: 1288-1292.
24. Rafie, Majid. &Mohammadi Talab, Attieh. (2016). Presenting a Mathematical Model with a Stable Optimization Approach for Designing a Dynamic Cellular Production System Considering Multifunction Machines. *A Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 7(9): 281-295. (in persian).

25. Ramezanian, Reza. &Ezzatpanah, Abdullah. (2015). Modeling and solving multi-objective mixed-model assembly line balancing and worker assignment problem. *Computers & Industrial Engineering*, 87: 74–80.
26. Scholl, A. &Klein, R. &Domschke, W. (1998). Pattern based vocabulary building for effectively sequencing mixed model assembly lines. *Journal of Heuristics*, 4: 359–381.
27. Shirazi, Hassan. &Hassanavi, Reza. &Kavian, Mohammad Hossein. (2018). Presenting a Model of Industrial Production Control System. *Journal of Control Command*, 2(3) : 79-91. (in Persian).
28. Sikora, Celso. &Gustavo, Stall. &Lopes Thiago, Cantos. &Schibelbain Magatã, Daniel Leandro. (2017). Integer based formulation for the simple assembly line balancing problem with multiple identical tasks. *Computers & Industrial Engineering*, 104: 134-144.
29. Valipour, A. N. &Yahaya, N. (2017). Hybrid SWARA-COPRAS method for risk assessment in deep foundation excavation project: An Iranian case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23 (4): 524-532.
30. Wei, Jiayin. &Xu, Daoyun. &Qin, Yongbin. (2017). On-Line Load Balancing With Task Buffer. *Computing and Informatics*, 36: 1207-1234.
31. Yücenur, G. &Nilay, Şeyma Çaylak. (2020). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*, 145: 2587-2597.
32. Zavadskas, E.K. &Kaklauskas, Vilutiene. T. (2009). Multi criteria evaluation of apartment blocks maintenance contractors: Lithuanian case study. *International Journal of Strategic Property Management*, 13 (4): 319-338.

Development of On-line Load Balancing Algorithm in Workshop Systems (Qualitative Study)

Nima Rahmani(Corresponding author)
PHD Student, Department of industrial management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Email: nimarahmani@qiau.ac.ir
Alireza Irajpur
Assistant Professor, Department of industrial management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Naser Hamidi
Associate Professor, Department of industrial management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Akbar Alamtabriz
Professor, Department of industrial management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
Reza Ehtesham Raee
Associate Professor, Department of industrial management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract
One of the most important problems at the tactical level is the mass production of different orders, each of which has different priorities according to the production conditions and the importance of customers. The production line consists of several workstations and machines, each in production frequency. They are interconnected and the input is one output. In this case, each machine and process that must produce the product is faced with process and technology limitations in terms of time, volume and weight of each work and physical health of machines, manpower efficiency. This article aims to take into account all the factors affecting the balancing of the production line, which is of particular importance in workshop production planning, and by analyzing the history of solving the problems of the production line and using experts, the component Identify the ones that are effective in planning and scheduling the production line, and using the combined method of Swara and Copras, these effective components add to the balancing algorithm in time in production systems. The results of this study show that the update made in the balancing algorithm during the production line compared to the previous methods has operational capability and quality in results

Keywords: Copras, On-line balancing algorithm, Operability, Qualitative Study, Swara