ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه جهت طراحی معماری سازمان مبتنی بر فرآیند تولید چابک و ارزیابی اثر بخشی آن

محمود اقتصادی فرد[۱]، صادق نیرومند[۲]، مرتضی خرّم[۳]

[۱] استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شیراز ، شیراز،
Eghtesadifard@sutech.ac.ir
[۲] استادیار، گروه مهندسی صنایع، مرکز آموزش عالی فیروزآباد ، فیروزآباد
Niroomand59@gmail.com
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شیراز ، شیراز
M.khorram@sutech.ac.ir

چکیده

معماری سازمانی یکی از عوامل مهم در رشد و پیشرفت سازمان‌های تولیدی به حساب می‌آید. این گونه سازمان‌ها هم نیاز دارند فرآیند تولید در محیط رقابتی و تجاری که همواره در حال تغییر و دگرگونی است با کمترین هزینه و زمان به شکل بهینه انجام شود که این امر به دلیل موانع و سختی‌های کار اغلب با مشکل مواجه می‌شود. لذا در این شرایط یکی از راهکارهای موثر به کارگیری معماری سازمانی چابک می‌باشد که این چابکی باید در کلیه فرآیندهای سازمان نیز لحاظ شود. معماری سازمانی مبتنی بر فرآیندهای چابک به سازمان کمک می‌کند خود را با تغییرات محیطی منطبق سازد و با بهره گیری مناسب از امکانات خود، نیاز مشتریان را به موقع پاسخ دهد و در محیط رقابتی از رقبا عقب نماند. اثر بخشی چابکی در فرآیند تولید که بخشی از فرآیندهای اجرایی در سازمان‌های تولیدی می‌باشد به سازمان این امکان را می‌دهد که با استفاده بهینه از ترکیب نیروی انسانی و تجهیزات موجود در جهت کاهش اتلاف منابع و هزینه‌ها و بالا بردن کارایی فرآیند تولید موفق شود. در این مقاله برای بررسی فرآیند تولید چابک و نقش آن در معماری سازمانی چابک، بخشی از فرآیند تولید یعنی خطوط مونتاژ[۱] مورد مطالعه قرار گرفته است و روشی برای چابک سازی فرآیند تولید ارائه می‌گردد. بدین منظور یک مدل ریاضی دو هدفه برای مساله بالانس خط مونتاژ U-شکل[۲] پیشنهاد می‌شود. به منظور سنجش کارایی مدل پیشنهادی یک مثال عددی طراحی گردیده و مدل برای مساله مورد بررسی در نرم افزار گمز[۳] کدنویسی و حل شده است.

کلمات کلیدی

معماری سازمانی چابک، فرآیند تولید چابک، خط مونتاژ U-شکل ، مدل‌سازی ریاضی، برنامه ریزی ریاضی دو هدفه.

[1] Assembly lines
[2] U-type assembly line balancing problem
[3] GAMS

۱- مقدمه

صنعت تولید همواره در حال تغییر می‌باشد و در بازار رقابتی، سازمان‌های تولیدی با مسائلی همچون تغییرات سریع ساختار تقاضا و نیاز مشتریان، تغییرات تکنولوژی، سفارشات خاص و غیرقابل پیش بینی، کیفیت کامل، پاسخگویی به موقع برای تقاضای مشتریان و ... روبرو هستند. لذا این امر سازمان‌ها و به ویژه تولید کنندگان را ترغیب به بهبود و تسریع فرآیند تولید و استفاده از سیستم‌های کارآمدتر می‌کند. بدین منظور مدیران سازمان‌ها برای کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری، همچنین افزایش کارآیی و بهره وری نیازمند تهیه و تدوین برنامه‌های سازمان خود بارویکرد معماری سازمانی می‌باشند. البته فرآیند اجرای معماری سازمانی به دلیل وجود موانع و مشکلات موجود در سازمان ممکن است بسیار کنـد، پرهزینه ، مشکل و فرسایشی باشد در نتیجه امکان دارد اجرای معماری سازمانی به شکـست منجـر شـده و یـا اینکه نتیجه لازم را نخواهد داشت[۱]. چابکی یکی از نظریه‌های مهم در معماری سازمانی می‌باشد که به منظور تطبیق پذیری معماری سازمانی در برابر تغییرات مداوم محیطی توسعه یافته است که موجب پیاده سازی مناسب معماری سازمانی در محیط‌های متغیر با کمترین هزینه، کمترین زمان و به صورت بهینه می‌شود[۲]. فرآیند اجرای معماری سازمانی چابک دارای اصول و مراحل مشخصی است که اجرای آن‌ها متاثر از کلیه فرآیندهای اجرایی در سازمان می‌باشد. لذا در کلیه بخش‌های سازمان می‌بایست اصول معماری سازمانی چابک به کار گرفته شود و کلیه فرآیندهای سازمانی بر مبنای اصول چابکی و در قالب فرآیندهای چابک به اجرا در آیند[۱]. امروزه برای اجرای معماری سازمانی در محیط‌هایی که مدام در حال تغییر می‌باشند و سازمان‌ها نیاز دارند خود را با این تغییرات هماهنگ کرده و از آن استفاده نمایند، به کارگیری معماری سازمانی در قالب معماری سازمانی مبتنی بر فرآیندهای چابک در سازمان پیشنهاد می‌گردد[۳].

قرارگیری در فرم سازمانی چابک می‌کند به سازمان‌های می‌کند در برابر تغییرات محیطی، سریع و به خوبی واکنش نشان داده و از آن‌ها به عنوان عوامل رشد و شکوفایی استفاده کنند. همچنین چابکی، توانایی سازمان برای عرضه محصولات و خدمات با کیفیت بالا را ارتقا می‌دهد و درنتیجه، عامل مهمی برای اثربخشی سازمان می‌شود[۴]. درواقع، چابکی یک توانایی اساسی ایجاب می‌نماید که به سازمان کمک می‌کند بتواند تغییرات موجود در محیط تجاری را شناسایی، تجزیه و تحلیل و آینده را پیش بینی کند و واکنش‌های مناسبی برای مقابله با آن‌ها انجام دهند و از تغییرات به بهترین شکل و به نفع خود استفاده کند. بدین ترتیب تولیدکننده چابک، سازمانی است که خود را برای مواجهه با تغییرات محیطی به خوبی آماده نماید و مفهوم چابکی را در کلیه فرآیندهای سازمان به کارگیرد و همچنین توانایی‌های خود را برای استفاده از تغییرات در جهت پیشرفت بالا ببرد[۵]. فرآیند تولید یکی از فرآیندهای اجرایی در سازمان‌های تولیدی می‌باشد که به کارگیری مفهوم چابکی در آن کمک زیادی به پیشرفت و رشد سازمان می‌کند. در واقع به کارگیری چابکی در فرآیند تولید به سازمان کمک می‌کند تا جهت بقا و پیشرفت در محیط رقابتی تولید بتواند به تغییرات سریع در بازار واکنش نشان داده و خود را با آن هماهنگ سازد. در چنین شرایطی سازمان قادر به تغییر سریع مدل‌های مختلف محصول و خطوط تولید به منظور پاسخگویی به نیازها و خواسته‌های مشتریان با هزینه مناسب و به موقع خواهد بود[۶].

خطوط مونتاژ که بخشی از فرآیند تولید[4] در سازمان‌های تولیدی می‌باشند یکی از پرکاربردترین سیستم‌های تولید جریان گرا[5] در صنایع تولیدی به حساب می‌آیند و برای تولید در مقیاس بالا و حتی تولید سفارشی با مقیاس پایین و در زمان کوتاه مناسب می‌باشند. این خطوط نقش حیاتی در افزایش کارایی و سرعت سیستم‌های تولیدی و نیز کاهش هزینه‌هـای تولید هر واحد محصول دارند و به منظور پاسخ به نوسانات تقاضا در بازارهای رقابتی نیز مناسب می‌باشند[۷]. خطوط مونتاژ دارای چیدمان محصولی هستند و امروزه به طور گسترده در تولید محصولات یکسان با حجم بالا استفاده می‌شوند. یک خط مونتاژ یا تولید، مجموعه‌ای از چندین ایستگاه کاری است که مواد و قطعات به طور پیوسته بوسیله یک سیسـتم حمـل و جـا بـه جـایی در طول مسیر خط حرکت کرده و پس از انجام عملیات از یک ایستگاه به ایستگاه بعد منتقل می‌شوند تا زمانی که تکمیل شوند و به انتهای خط برسند[۸]. تخصیص فعالیت‌ها به هر ایستگاه به نحوی صورت می‌گیرد که مجموع زمان فعالیت‌های تخصیص یافته به هر ایستگاه از زمان مشخصی به نام زمان سیکل بیشتر نباشد و کلیه روابط پیشنیازی[6] در بین فعالیت‌ها رعایت شود. چنانچه پس از تخصیص وظایف به ایستگاه‌های کاری خط زمان کلیه ایستگاه‌ها متعادل نباشد، درصد بیکاری در بعضی ایستگاه‌ها زیاد شده و کارایی خط پایین می‌آید و این به معنای عدم استفاده کامل از ظرفیت‌های سیستم و وقوع هزینه‌های قابل اجتناب است[۹]. تخصیص وظایف به ایستگاه‌های کاری با بهینه سازی اهداف تعیین شده و رعایت روابط پیشنیازی ، تحت عنوان مساله بالانس خط مونتاژ نامیده می‌شود. تخصیص اجزاء کاری به ایستگاه‌ها به منظور بهینه سازی یک یا چند هدف از جمله حداقل کردن تعداد ایستگاه‌های کاری، حداقل کردن زمان سیکل، حداکثر کردن بهره وری و ... صورت می‌گیرد[۱۰]. با توجه به نوع و شرایط مساله و همچنین نزدیک شدن مساله به واقعیت محدودیت‌هایی نیز ممکن است در مساله لحاظ شود. خطوط مونتاژ بر اساس محدودیت‌های فضای فیزیکی ممکن است در یک دسته بندی دیگر بر اساس چیدمان قرار گیری ایستگاه‌ها تقسیم بندی گردند که به چهار دسته خط مونتاژ مستقیم[7]، خط مونتاژ U–شکل[8]، خط مونتاژ موازی[9] و خط مونتاژ دوطرفه[10] قابل تقسیم هستند[۱۰].

خطوط مونتاژ U–شکل یک دسته پرکاربرد از خطوط مونتاژ می‌باشند که در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای بر روی مسائل آن‌ها انجام شده است چرا که این خطوط نسبت به خطوط مستقیم و سنتی از کارایی بیشتری برخوردارند و یک جایگزین جذاب برای خطوط مونتاژ مستقیم در صنایع مدرن محسوب می‌گردند. در خطوط مونتاژ U–شکل، ایستگاه‌ها به نحوی قرار می‌گیرند که عملیات‌های دو یا چند ایستگاه بتواند توسط یک اپراتور انجام شود. این خطوط مزایای متعددی نسبت به خطوط مستقیم دارند از جمله اینکه این خطوط اجازه می‌دهد تا امکانات بیشتری در مورد چگونگی تخصیص اجزاء

[4] Production Process
[5] flow oriented production systems
[6] Precedence relations
[7] Straight assembly line
[8] U-type assembly line
[9] Parallel assembly line
[10] Two-sided assembly line

کاری به ایستگاه‌های کاری ایجاد گردد[۱۱]. همچنین تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز برای خطوط U–شکل هیچوقت بیشتر از تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز برای خطوط مستقیم نیست[۱۲]. همچنین این دسته از خطوط مزیت‌های متعددی را در ارتباط با وظایف اپراتورهای تولید ایجاد می‌نماید. به عنوان مثال در این دسته از خطوط به دلیل آزادی حرکتی که اپراتورها دارند به مرور مهارت‌ها و توانایی‌های آن‌ها افزایش می‌یابد و قادر به انجام چندین کار در چند ایستگاه خواهند بود[۱۳]. بدین ترتیب زمان بیکاری و تعداد کارگران در این دسته از خطوط کاهش می‌یابد، چراکه عملیات‌های دو یا چند ایستگاه می‌تواند توسط یک اپراتورانجام شود و در نتیجه کارایی کلی خط افزایش می‌یابد.

مسئله بالانس خط مونتاژ اولین بار توسط سالوسون[11] [۱۴] در سال ۱۹۵۵ به صورت برنامه ریزی ریاضی فرموله شد و پس از آن و به ویژه در سالیان اخیر پژوهش‌های بسیاری در رابطه با ارائه و توسعه مدل‌های ریاضی برای این مساله صورت گرفته است. همچنین روش‌های مختلفی برای حل مسائل بالانس خطوط مونتاژ معرفی شده است. همچنین انواع مختلف مسائل خطوط مونتاژ در قالب دسته بندی های متفاوت مسائل بالانس مورد بررسی قرار گرفته و روش‌ها و الگوریتم‌های متنوعی نیز برای حل این مسائل پیشنهاد شده و یا مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه با توجه به موضوع پژوهش که خطوط مونتاژ U–شکل خلاصه تعدادی از مطالعاتی که به بررسی این دسته از خطوط در قالب مدلسازی ریاضی پرداخته اند، ارائه می‌شود. مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل نیز اولین بار توسط میلتنبرگ و وینگارد[12] در سال ۱۹۹۴ مورد بررسی قرار گرفت[۱۵]. از محققانی که در بررسی این دسته از خطوط مطالعاتی داشته اند به ترتیب زمانی می‌توان اربان[13] را نام برد که برنامه ریزی عدد صحیح را برای این نوع خطوط توسعه داد[۱۶]. گوکن و آگپاک[14] در پژوهشی مدل ارائه شده توسط اربان برای مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل را در قالب یک مدل برنامه ریزی آرمانی توسعه دادند[۱۷]. کارا[15] و همکاران مساله بالانس خط مونتاژ تک محصولی را در دو حالت خط مستقیم و U–شکل مورد بررسی قرار دادند و برای آن مدل برنامه ریزی فازی آرمانی باینری[16] پیشنهاد نمودند[۱۸]. آن‌ها برای مدل پیشنهادی آرمان‌های حداقل کردن تعداد ایستگاه‌ها و زمان سیکل را در نظر گرفتند. اوگان و عزیزگلو[17] مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته برای مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل توسعه دادند[۱۹]. آن‌ها در این مدل حداقل کردن هزینه تجهیزات را به عنوان تابع هدف در نظر گرفتند. پس از آن کوکک[18] و همکاران [۲۰] مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته[19] جدیدی برای مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل پیشنهاد نمودند. آن‌ها در مدل خود برای نشان دادن روابط پیشنیازی به جای استفاده از دو محدودیت تنها از یک محدودیت استفاده نمودند و حداقل کردن تعداد ایستگاه‌ها را به عنوان هدف مدل پیشنهادی خود در نظر گرفتند.

لذا با توجه به موارد ذکر شده و در نظر گرفتن این موضوع که خطوط مونتاژ بخشی از فرآیند تولیدی سازمان بوده و نقش بسزایی در عملکرد سازمان و به ویژه در سازمان‌های مبتنی بر فرآیندهای چابک دارد، لذا در پیاده سازی معماری سازمانی چابک به این خطوط بایستی توجه شود. در این پژوهش قصد داریم رویکردی مناسب برای حل مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل به کمک مدلسازی ریاضی و همچنین نرم افزارهای حل مدل‌های ریاضی ارائه دهیم. بدین منظور یک مدل ریاضی دو هدفه باینری با محدودیت‌هایی که مساله را به شرایط واقعی نزدیک کند، جهت بالانس خط مونتاژ U–شکل تک محصولی پیشنهاد می‌شود. سپس برای سنجش عملکرد مدل پیشنهادی، یک مثال عددی طراحی شده و مدل توسط نرم افزار گمز حل می‌گردد. اهداف این مدل شامل حداقل نمودن تعداد ایستگاه‌های کاری و حداقل کردن هزینه تجهیزات می‌باشد. ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: ابتدا در بخش ۲ مساله تعریف شده و مدل ریاضی مساله ارائه می‌شود. سپس در بخش ۳ در مورد حل توضیحاتی ارائه می‌گردد و نتایج حل مثال عددی توسط مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. در انتها نیز نتیجه‌گیری و جمع بندی در بخش ۴ بیان خواهد شد.

۲- مدل ریاضی مساله

در این بخش یک مدل ریاضی جدید چند هدفه جهت بالانس خط مونتاژ U–شکل تک محصولی با اهداف حداقل نمودن تعداد ایستگاه‌های کاری و حداقل کردن هزینه تجهیزات[20] ارائه می‌شود. برای انطباق بیشتر مدل با مسائل موجود در دنیای واقعی، محدودیت‌هایی متناسب با شرایط محیطی مساله در نظر گرفته شده و روابط ریاضی متناسب با آن نیز در مدل پیشنهادی تعریف شده است. به طور مثال بر اساس وظایف کاری تخصیص یافته به هر ایستگاه نیاز است تجهیزات مناسب با انجام آن فعالیت‌ها نیز به ایستگاه تخصیص داده شود. به طور کلی کارایی خطوط با توجه به تعداد ایستگاه‌های تشکیل شده، زمان هر ایستگاه، توانایی و مهارت نیروی انسانی در انجام وظایف کاری و تجهیزات اختصاص یافته به هر ایستگاه متفاوت است بدین معنی که برای تخصیص وظایف و تجهیزات و نیروی انسانی به ایستگاه‌های کاری بایستی ساز و کار مناسبی اتخاذ شود. مدل پیشنهادی در این مقاله نحوه تخصیص وظایف و تجهیزات به ایستگاه‌ها و همچنین نحوه قرار گیری ایستگاه‌های کاری را تعیین می‌نماید. با توجه به توضیحات ذکر شده مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مساله به قرار زیر است:

مجموعه‌ها

TL_i	مجموعه ابزارهای مورد نیاز فعالیت i ام
PR_i	مجموعه روابط پیشنیازی فعالیت i ام
SC_i	مجموعه روابط پس نیازی فعالیت i ام

پارامترها

I	تعداد فعالیت‌ها

[11] Salveson
[12] Miltenburg & Wijngaard
[13] Urban
[14] Gokcen & Agpak
[15] Kara
[16] Binary fuzzy goal programming
[17] Ogan & Azizoglu
[18] Kucukkoc
[19] Mixed Integer Linear Programming
[20] Equipment cost

L	تعداد تجهیزات
K	ماکزیمم تعداد ایستگاه‌ها
t_i	زمان انجام فعالیت i ام
ec_l	هزینه ابزار l ام
	متغیرها
CT	زمان سیکل
U_i	اگر فعالیت i ام به قسمت جلو (رفت) خط U–شکل تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر اینصورت ۰
U_p	اگر فعالیت p ام به قسمت برگشت (عقب) خط U–شکل تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر اینصورت ۰
Z_{lk}	اگر ابزار l ام به ایستگاه k ام تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر اینصورت ۰
X_{ik}	اگر فعالیت i ام به ایستگاه k ام تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر اینصورت ۰
S_k	اگر حداقل یک فعالیت به ایستگاه k ام تخصیص یابد برابر با ۱ و در غیر اینصورت ۰

با در نظر گرفتن مفروضات بیان شده، مدل ریاضی مساله به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Objective function 1: } OF_1 = \min \sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K} ec_l Z_{lk} \quad (1)$$

$$\text{Objective function 2: } OF_2 = \min \sum_{k=1}^{K} S_k \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^{K} kX_{pk} - \sum_{k=1}^{K} kX_{ik} \le K\left(1+U_p-2U_i\right) \quad \forall (p,i) \mid p \in PR_i \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{K} kX_{sk} - \sum_{k=1}^{K} kX_{ik} \le KU_i \quad \forall (i,s) \mid s \in SC_i \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{K} X_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (5)$$

$$S_k \ge X_{ik} \quad \forall i,k \quad (6)$$

$$S_k \le \sum_{i=1}^{I} X_{ik} \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{I} t_i X_{ik} \le CT \quad \forall k \quad (8)$$

$$X_{ik} \le \frac{\sum_{l \in Tl_i} Z_{lk}}{\left|Tl_i\right|} \quad \forall i,k \quad (9)$$

$$X_{ik}, Z_{lk}, S_k \in \{0,1\} \quad \forall i,k,l \quad (10)$$

تابع هدف شماره (۱) هزینه ابزارآلات مورد نیاز فعالیت‌ها که به کلیه ایستگاه‌ها تخصیص یافته را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم (۲) برای حداقل کردن تعداد کل ایستگاه‌های کاری تشکیل شده در طول خط لحاظ شده است. در خطوط مونتاژ U–شکل یک فعالیت زمانی می‌تواند به یک ایستگاه تخصیص یابد که فعالیت‌های پیش‌نیازی یا پس‌نیازی آن به یکی از ایستگاه‌های قبلی و یا به ایستگاه فعلی تخصیص یافته باشد لذا محدودیت‌های شماره (۳) و (۴) تخصیص وظایف کاری به خط رفت و خط برگشت خط مونتاژ U–شکل را تعیین و همچنین رعایت روابط پیشنیازی و پس نیازی فعالیت‌ها را کنترل می‌کنند. هر فعالیت فقط می‌تواند به یک ایستگاه کاری تخصیص یابد و امکان تقسیم آن بین دو یا چند ایستگاه وجود ندارد بدین منظور محدودیت شماره (۵) بررسی می‌کند که هر فعالیت (جزءکاری) فقط و فقط به یک ایستگاه تخصیص داده شود. محدویت‌های شماره (۶) و (۷) تضمین می‌کنند که تنها در صورتی یک ایستگاه ایجاد شود که حداقل یک فعالیت به آن ایستگاه تخصیص یافته باشد و از ایجاد ایستگاه‌های اضافی جلوگیری می‌کنند. محدودیت (۸) مربوط به زمان سیکل می‌باشد بدین صورت اجازه نمی‌دهد که مجموع زمان فعالیت‌های تخصیص یافته به هر ایستگاه از زمان مشخصی به نام زمان سیکل بیشتر باشد. محدودیت شماره (۹) نیز چک می‌کند که ابزارآلات مورد نیاز برای کلیه وظایف تخصیص یافته به هر ایستگاه به آن ایستگاه تخصیص داده شود. محدودیت (۱۰) حدود متغیرهای تصمیم مساله را مشخص می‌کند که کلیه متغیرهای مساله باینری می‌باشند.

۳- نتایج عددی

در این بخش نتایج عددی حاصل از حل مدل پیشنهادی مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل با اهداف ذکر شده با استفاده از نرم افزار گمز مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای سنجش عملکرد مدل پیشنهادی از آن جایی که ترکیب ویژگی‌های موجود در مدل جدید است با استفاده از ادبیات تحقیق، مثالی برای بررسی مدل ایجاد شده و سپس مساله مورد نظر در قالب مدل پیشنهادی در نرم افزار گمز کد نویسی شده و حل گردیده است. گراف تقدم و تاخر فعالیت‌های مساله ذکر شده در شکل ۱ نشان داده شده است و اطلاعات مربوط به مثال عددی نیز در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. شکل ۲ نیز نتایج بدست نتایج آمده از حل مساله توسط مدل پیشنهادی و نحوه قرارگیری وظایف و ایستگاه‌های کاری را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که از روش مجموع وزنی برای تعیین اهمیت و وزن هر یک از اهداف استفاده گردیده است و هر دو هدف با اهمیت و وزن یکسانی در نظر گرفته شده اند. همچنین جدول ۳ نحوه تشکیل ایستگاه‌های کاری را نشان می‌دهد. ستون‌های جداول مربوط به ایستگاه‌ها و سطرها نشان دهنده فعالیت‌ها می‌باشند. علامت ● در سطرها نشان دهنده تخصیص فعالیت آن سطر به ایستگاهی (ستونی) که در آن قرار دارد، می‌باشد.

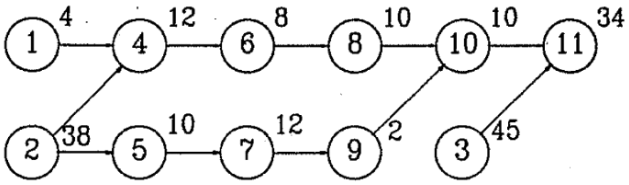
جدول (۱) : خلاصه اطلاعات مثال عددی حل شده

فعالیت	زمان	ابزار مورد نیاز
۱	۴	۳
۲	۳۸	۴
۳	۴۵	۲
۴	۱۲	۵
۵	۱۰	۱
۶	۸	۸
۷	۱۲	۲
۸	۱۰	۳

۵	۲	۹
۴	۱۰	۱۰
۱	۳۴	۱۱

جدول (۲) : هزینه ابزار

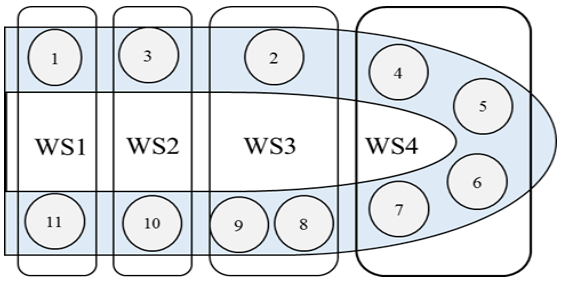
شماره ابزار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه ابزار	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰



شکل (۱) : گراف روابط پیش‌نیازی مساله مورد بررسی

جدول(۳) : خلاصه نتایج حل مثال عددی ذکر شده

فعالیت	ایستگاه			
	۱	۲	۳	۴
۱	●			
۲			●	
۳		●		
۴				●
۵				●
۶				●
۷				●
۸			●	
۹			●	
۱۰		●		
۱۱	●			
زمان ایستگاه	۳۸	۵۵	۵۰	۴۲
هزینه ابزارآلات	۳۰۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۶۵۰۰



شکل (۲) : نحوه قرارگیری وظایف و ایستگاه‌های کاری مساله مورد بررسی در خط مونتاژ U-شکل

۳-۱- شاخص‌های ارزیابی بالانس خط

به منظور ارزیابی وضعیت خط مونتاژ و بررسی تاثیر روش‌های بالانس بر عملکرد خط از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که در ادامه تعدادی از آنها تعریف شده و برای مساله مورد بررسی محاسبه شده است. در این پژوهش مقدار سه شاخص ارزیابی بالانس خط یعنی ضریب هموار خط، کارایی خط و تاخیر بالانس محاسبه شده است. فرمول‌ها و مقادیر محاسبه شده هر یک از شاخص‌ها در زیر آورده شده است.

۳-۱-۱- شاخص کارایی خط

این شاخص بیان کننده درصد کاری و بهره وری خط مونتاژ در هر سیکل کاری است[۲۱]. برای محاسبه آن از رابطه زیر می توان استفاده کرد[۲۲].

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{I} t_i}{n \times CT} \times 100 \qquad (11)$$

در این رابطه t_i زمان انجام فعالیت i ام، n تعداد ایستگاه‌ها و CT زمان سیکل را مشخص می‌کند.

۳-۱-۲- ضریب هموار

این شاخص برای ارزیابی توزیع کار در بین ایستگاه‌ها به کار می‌رود و مقدار آن هر چقدر کمتر باشد توزیع بهتر کار را نشان می‌دهد. برای محاسبه آن از رابطه زیر می توان استفاده کرد[۲۳].

$$S.I = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (CT - t_j)^2} \qquad (12)$$

در این رابطه t_j نمایانگر زمان ایستگاه j ام و CT نیز نشان دهنده زمان سیکل است.

۳-۱-۳- تاخیر بالانس

مقدار این شاخص درصد بیکاری های خط مونتاژ، در هر سیکل کاری را نشان می‌دهد. برای محاسبه آن از رابطه (۱۳) می توان استفاده کرد[۲۳].

$$B.D = \frac{n \times CT - \sum_{i=1}^{I} t_i}{n \times CT} \qquad (13)$$

مقادیر به دست آمده هر یک از شاخص‌ها برای مساله مورد بررسی به شرح زیر می‌باشد.

E = ٪۸۵

S.I = ۲۱

B.D = ۰,۱۵

با توجه به نتایج حاصل از حل مدل و براساس مقادیر محاسبه شده برای هر یک از شاخص‌ها ، می‌توان گفت که مدل پیشنهادی به خوبی عمل کرده و جواب‌های قابل قبول و شدنی تولید می‌کند و عملکرد صحیحی دارد.

۴- نتیجه گیری

در فضای رقابتی کنونی، با توجه به سرعت تغییر تکنولوژی و همچنین تغییر نیاز و تقاضای مشتریان سازمان‌ها احتیاج دارند که برای پیشی گرفتن در رقابت و جلوگیری از هدر رفتن سرمایه و کاهش هزینه‌ها فرم معماری سازمانی را در سازمان خود پیاده سازی کنند. اجرای فرآیند معماری سازمانی ممکن است با مشکل مواجه شود که در این صورت به کارگیری چابکی در معماری سازمانی توصیه می‌شود. معماری سازمانی چابک بدین منظور استفاده می‌شود که مفهوم چابکی در کلیه بخش‌ها و فرآیندهای سازمان به کار گرفته شود و به سازمان کمک می‌کند خود را با محیط پرتلاطم و متغیر رقابتی هماهنگ کرده و از رقبا عقب نماند. بخش تولید در هر یک از سازمان‌های تولیدی نقش مهمی در عملکرد و بهره‌وری سازمان، بالا بردن قابلیت و کیفیت کالای تولیدی و افزایش توان رقابتی سازمان دارد. لذا معماری سازمانی چابک در این بخش نیز باید به کار گرفته شود که بدین سبب نیاز به پیاده سازی مفهوم چابکی در فرآیند تولید که بخش مهمی از عملکرد سازمان‌های تولیدی محسوب می‌شود، ضروری به نظر می‌رسد. لذا فرآیند تولید و بخش مهمی از آن یعنی خطوط تولید بایستی در بالانس و در حالتی که بهترین ترکیب بین نیروی انسانی، منابع و تجهیزات وجود دارد، قرار بگیرند. از این در این مقاله یک مساله بالانس خط مونتاژ U–شکل مورد بررسی قرار گرفته است تا نشان داده شود که به کارگیری چابکی در فرآیند تولید چه تاثیری در پیاده سازی معماری سازمانی چابک و اجرایی شدن آن دارد. بدین منظور یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای مسأله بالانس خط مونتاژ U–شکل توسعه داده شده است بدین صورت که برای مساله مورد بررسی یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه ارائه شده که همزمان تعداد ایستگاه های کاری و هزینه تجهیزات را حداقل می‌نماید. پس از مدل سازی و حل مثال عددی به وسیله مدل پیشنهادی مشخص گردیده که مدل ارائه شده در تخصیص وظایف به خوبی عمل می‌کند و توابع در نظر گرفته شده را نیز بهینه می‌نماید. از جمله مسیرهای تحقیقاتی که می‌توان به آن اشاره نمود توسعه مدل پیشنهادی برای بهبود عملکرد آن و ارزیابی کارایی مدل در مثال‌هایی با ابعاد و پیچیدگی‌های متفاوت است. همچنین هزینه و عملکرد نیروی انسانی نیز می‌تواند به عنوان توابع هدف در قالب مساله بهینه سازی لحاظ شود. علاوه موارد ذکر شده توسعه‌ی مدل ارائه شده در این پژوهش برای سایر چیدمان‌های خطوط مونتاژ نیز از دیگر زمینه‌های تحقیقاتی است که در مطالعات آتی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

[1] Zachman, J. A., "A framework for information systems architecture." , IBM systems journal, Vol. 26, no. 3, 276-292, 1987.

[۲] رضایی، رضا و شمس، فریدون، **"ارائه روشی برای ارزیابی برنامه معماری سازمانی"**، دوازدهمین کنفرانسبی المللی انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ،تهران، ایران، اسفند ۱۳۸۵.

[۳] شمس، فریدون و راضی، علی، **"ضرورت بکارگیری ایده چابکی در معماری سازمانی"**، چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران، ۱۳۸۶.

[۴] نوشزاد، آیدا، هارون آبادی، علی، میرعابدینی، سید جواد، **" ارائه یک الگوریتم جدید در راستای ارزیابی کارایی معماری سازمانی چابک "**، مجله مهندسی مخابرات، سال پنجم، شماره ۱۸، ۷–۱۳، ایران، زمستان ۱۳۹۴.

[۵] پور حسنعلی، مریم و اقدسی علمداری، پدرام، **"معماری سازمانی"**، اولین کنفرانس ملی مهندسی کامپیوتر، علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات، قم، دانشگاه جامع علمی کاربردی استانداری قم، ۱۳۹۵.

[۶] قاسمیان دهکردی، حبیب الله، اخوان شریف، رضا و کیانی، سپیده، **"معماری سازمانی چابک"**، اولین همایش ملی رویکردهای نوین در مهندسی کامپیوتر و بازیابی اطلاعات، رودسر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر و املش، ۱۳۹۲.

[7] Make, M. R. A., Rashid, M. F. F. A., & Razali, M. M., "A review of two-sided assembly line balancing problem.", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 89, no. 5-8, 1743-1763, 2017.

[8] Scholl, A., & Klein, R., "ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines.", International Journal of Production Research, Vol. 37, no. 4, 721-736, 1999.

[9] Becker, C., & Scholl, A., "A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing.", European journal of operational research, Vol. 168, no. 3, 694-715, 2006.

[10] Saif, U., Guan, Z., Wang, B., Mirza, J., & Huang, S., "A survey on assembly lines and its types." , Frontiers of Mechanical Engineering Vol. 9, no. 2, 95-105, 2014.

[11] Hwang, R. K., Katayama, H., & Gen, M., "U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm.", International Journal of Production Research, Vol. 46, no. 16, 4637-4649, 2008.

[12] Baykasoglu, A., "Multi-rule multi-objective simulated annealing algorithm for straight and U type assembly line balancing problems.", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 17, no. 2, 217-232, 2006.

[13] Delice, Y., Aydoğan, E. K., Özcan, U., & İlkay, M. S., "Balancing two-sided U-type assembly lines using modified particle swarm optimization algorithm.", 4OR, Vol. 15, no. 1, 37-66, 2017.

[14] Salveson, Melvin E., "The assembly line balancing problem.", The Journal of Industrial Engineering, 18-25, 1955.

[15] G. J. Miltenburg, J. Wijngaard., "The U-line Line Balancing Problem.", Management Science, Vol. 40, no. 10, 1378-1388, 1994.

[16] Urban, T. L., "Note. Optimal balancing of U-shaped assembly lines." , Management Science, Vol. 44, no. 5, 738-741, 1998.

[17] Gökçen, H., & Agpak, K., "A goal programming approach to simple U-line balancing problem.", European journal of operational research, Vol. 171, no. 2, 577-585, 2006.

[18] Kara, Y., Paksoy, T., & Chang, C. T., "Binary fuzzy goal programming approach to single model straight and U-shaped assembly line balancing.", European Journal of Operational Research, Vol. 195, no. 2, 335-347, 2009.

[19] Ogan, D., & Azizoglu, M., "A branch and bound method for the line balancing problem in U-shaped assembly lines with equipment requirements.", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 36, 46-54, 2015.

[20] Li, Z., Kucukkoc, I., & Tang, Q., "New MILP model and station-oriented ant colony optimization algorithm for balancing U-type assembly lines.", Computers & Industrial Engineering, Vol. 112, 107-121, 2017.

[۲۱] سلیمان پور م.، زینالی زاده ا.، **"کاربرد یک مدل ریاضی برای متعادل سازی خط مونتاژ(مطالعه موردی:شرکت تراکتورسازی)"**، فراسوی مدیریت، سال سوم، سماره ۱۱، صفحه ۷-۳۰.

[22] Sivasankaran, P., & Shahabudeen, P. M. , "Heuristics for Mixed Model Assembly Line Balancing Problem with Sequencing." Intelligent Information Management, Vol. 8 no. 03, p. 41, 2016.

[۲۳] بهروزی م، **طرح ریزی واحدهای صنعتی**، انتشارات مدرسان شریف، ۱۳۹۳