E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 7, No. 2 (2022) 339–354.

Paper Type: Original Article

Mathematical Modeling to Minimize Costs of the Gas Tungsten Arc Welding Process

Nazila Adabavazeh[1], Mehrdad Nikbakht[1,*], Reza Tavakkoli-Moghaddam[2]

[1] *Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran; nazilaadabavazeh@yahoo.com; nikbakht2020@yahoo.com.*
[2] *School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran; tavakoli@ut.ac.ir.*

Citation:

Adabavazeh, N., Nikbakht, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2022). Mathematical modeling to minimize costs of the gas tungsten arc welding process. *Journal of decisions and operations research, 7*(2), 339-354.

Received: 06/01/2021 Reviewed: 12/03/2021 Revised: 09/04/2021 Accepted: 01/05/2021

Abstract

Purpose: Extent of an application and importance of a welding industry and economic opportunities of this industry need to develop appropriate strategies to pave the way for the economic growth as a strategic industry with sustainable competitive advantage. The high cost of the gas tungsten arc welding (GTAW) process in a welding industry due to the advantages of excellent welding quality and low complexity of this process requires management. Therefore, careful study and evaluation in the correct use of the GTAW process with financial resources seems to be very necessary. Modeling leads to efficient decision making along with competitive advantage in strategic planning. Today, by planning, sustainability goals and considerations can also be achieved in addition to achieving economic goals.

Methodology: In this study, a linear programming model for the problem of minimizing the cost of the GTAW process according to different automatic or manual conditions is presented by a skilled welding operator. GAMS software is used to solve the problem and validate the proposed model. Finally, to evaluate the applicability of the model, four scenarios of the case study are solved and explained as well as sensitivity analysis.

Findings: The results show that from an economic point of view, the proposed model can reduce costs and increase efficiency and customer satisfaction. The proposed approach leads to the improvement of the shielded tungsten arc welding process and the increase of management insight.

Originality/Value: Mathematical cost modeling can provide a comprehensive analysis of management decisions. The cost minimization model helps managers to understand the cost structure and behavior. Considering the scope of welding application, minimizing the costs of this activity will lead to a reduction in the total cost of an industry.

Keywords: Mathematical model, Minimization, Cost, Gas tungsten arc welding process.

Corresponding Author: nikbakht2020@yahoo.com https://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.2.8.5

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۷، شماره (۲)، (۱۴۰۱)، ۳۵۴-۳۳۹

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی ریاضی برای کمینه‌سازی هزینه‌های فرایند جوشکاری قوسی تنگستنی گاز محافظ

نازیلا ادب آوازه[۱]، مهرداد نیکبخت[۱،*]، رضا توکلی مقدم[۲]

[۱] گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

[۲] دانشکده مهندسی صنایع، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

هدف: گستردگی کاربرد و اهمیت موجود صنعت جوش و فرصت‌های اقتصادی این صنعت نیازمند به تدوین استراتژی‌های مناسب جهت زمینه‌سازی رشد اقتصادی به عنوان صنعتی استراتژیک به همراه مزیت رقابتی پایدار است. هزینه بالای فرایند جوش قوسی تنگستنی گاز محافظ در صنعت جوش در قبال مزایای کیفیت جوش ممتاز و پیچیدگی کم این فرایند نیازمند مدیریت است. از این‌رو مطالعه و ارزیابی دقیق در استفاده صحیح از منابع مالی فرایند *GTAW* بسیار ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌سازی موجب تصمیم‌گیری کارا به همراه مزیت رقابتی در برنامه‌ریزی استراتژیک می‌شود. امروزه با برنامه‌ریزی می‌توان علاوه بر تحقق اهداف اقتصادی، اهداف و ملاحظات پایداری را نیز کسب نمود.

روش‌شناسی پژوهش: در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مساله کمینه‌سازی هزینه فرایند جوشکاری قوسی تنگستنی گاز محافظ با توجه به شرایط متفاوت اتوماتیک یا دستی توسط اپراتور یا جوشکار ماهر ارایه می‌شود. برای حل مساله و صحه‌گذاری مدل پیشنهادی از نرم‌افزار *GAMS* استفاده می‌شود. در نهایت جهت بررسی کاربردی بودن مدل به حل و تشریح چهار سناریو مطالعه موردی به همراه تحلیل حساسیت پرداخته می‌شود.

یافته‌ها: نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که از دیدگاه اقتصادی، مدل ارایه شده می‌تواند موجب کاهش هزینه، افزایش بازدهی و رضایت مشتریان شود. رویکرد ارایه شده به بهبود فرایندجوشکاری قوسی تنگستنی گاز محافظ و افزایش بینش مدیریت منتج می‌شود.

اصالت/ارزش افزوده علمی: مدل‌سازی ریاضی هزینه می‌تواند به تجزیه‌وتحلیل جامع تصمیم‌های مدیریت بپردازد. مدل کمینه‌سازی هزینه به مدیران کمک می‌نماید تا ساختار و رفتار هزینه را درک نمایند. با توجه به گستره کاربرد جوش، کمینه نمودن هزینه‌های این فعالیت منجر به کاهش در هزینه کل یک صنعت خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: مدل ریاضی، کمینه‌سازی، هزینه، فرایند جوشکاری قوسی تنگستنی گاز محافظ.

۱- مقدمه

هزینه یکی از مفاهیم اساسی در حوزه ادبیات مالی است. کاربرد هزینه در تصمیم‌های سرمایه‌گذاری، استفاده از آن به‌عنوان مبنایی برای ایجاد ساختار بهینه سرمایه، به‌کارگیری در اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد و استفاده در کاهش جریان‌های نقدی برای تعیین ارزش

* نویسنده مسئول

nikbakht2020@yahoo.com

https://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.2.8.5

سازمان، همه از مواردی هستند که می‌تواند در توصیف اهمیت هزینه بیان شود (عثمانی[1]،۲۰۰۲). ویژگی‌های حاکم بر موقعیت تجاری بنگاه‌ها، سبب سوق بنگاه‌ها به ارتقا کیفیت و کارکرد محصولات/خدمات به همراه کاهش یا ثبات قیمت خواهند شد. بنگاه‌ها برای کسب سود باید به دنبال کنترل هزینه‌ها باشند (کریمی[2]، ۲۰۱۴).

داشتن استراتژی‌های مدون در زمینه مدیریت هزینه چه در کوتاه‌مدت و چه در بلندمدت برای تداوم فعالیت ضروری است؛ بنابراین می‌توان مدیریت هزینه را به‌عنوان یکی از موضوعات استراتژیک سازمان‌های امروزی به حساب آورد. مدیریت هزینه استراتژیک تلاش دارد تا از طریق به‌کارگیری تکنیک‌های مدیریت هزینه موجبات تحقق هم‌زمان دو هدف بهبود موقعیت استراتژیک و کاهش هزینه‌ها را در سازمان‌ها فراهم نماید (الناصر و محمد[3]، ۲۰۱۷). همچنین مدیریت هزینه را می‌توان برقراری نوعی تعامل سازمان‌یافته بین منافع سازمان و ساختارهای هزینه‌ای مربوط با تأکید بر استراتژی‌های بلندمدت و تاکتیک‌های کوتاه‌مدت دانست (هاشمی بلمیری و همکاران[4]، ۲۰۱۵).

هدف اصلی مدیریت هزینه، ایجاد تغییر در ساختارهای هزینه سازمان بوده و این بخش از مدیریت هزینه استراتژیک شامل ابزارهای سازمانی، محصولات و فرایندهای طراحی شده‌ای است که هدف آن ایجاد یک ساختار هزینه‌ای هماهنگ با استراتژی‌های سازمانی است (هنری و همکاران[5]، ۲۰۱۶). مدیریت هزینه ایجاد نوعی تعامل بین منابع سازمان و ساختارهای مربوطه با تاکتیک‌های کوتاه‌مدت از طریق کاهش هزینه و استراتژی بلندمدت از طریق مهندسی مجدد زنجیره ارزش و باز طراحی مجدد ساختار هزینه می‌باشد (هسو و کو[6]، ۲۰۱۲).

پیشرفت سریع و شگرف فناوری همراه با افزایش روزافزون رقابت در بازارهای جهانی، مدیران واحدهای اقتصادی را ناگزیر به ارائه خدماتی مطلوب به مشتریان و درعین‌حال با کم‌ترین بهای تمام شده کرده است (شباهنگ[7]، ۲۰۰۷). فراهم کردن این بستر مستلزم داشتن سیستمی کارآمد با نگاه به شرایط رقابتی و اوضاع اقتصادی است (عالی‌ور و شباهنگ[8]، ۱۹۹۱). تأکید بر سیستم مدیریت هزینه موجب می‌شود تا محصولات و خدماتی با کیفیت برتر و کمترین بهای تمام شده ممکن تولید و ارائه شود، در این شرایط توان رقابت افزایش خواهد یافت (محمدی و محمدی[9]، ۲۰۱۶).

اقتصاد جوشکاری[10]، یکی از مباحث مهم و راهبردی علم مهندسی جوش است. اقتصاد جوشکاری در برخی از مراجع مهندسی از جمله کتاب راهنمای انجمن جوشکاری آمریکا با عنوان هزینه جوشکاری[11] معرفی شده است. علت این نام‌گذاری در حقیقت محاسبه هزینه جوشکاری به‌عنوان مهم‌ترین وظیفه مبحث اقتصاد جوشکاری است و هر آنچه در پی آن می‌آید، از جمله مقایسه اقتصادی دو فرایند جوشکاری و انتخاب فرایند اقتصادی‌تر، مبتنی بر هزینه جوشکاری بوده که پیش‌تر محاسبه شده است.

توجیه اقتصادی، محوریت اصلی خود را به تصمیم‌گیری بر مبنای منافع مختلف در مقایسه با هزینه‌ها متمرکز کرده است. موضوع تخصیص بهینه منابع موجود یکی از پایه‌ای‌ترین مفاهیم مورد توجه در علم اقتصاد است (منصورخاکی و همکاران[12]، ۲۰۱۷). ازاین‌رو اجرای فرایندها با کمترین زمان و هزینه ممکن یافتن راهی برای موازنه زمان و هزینه پروژه ضروری به نظر می‌رسد. مسئله موازنه زمان –هزینه به این منظور مطرح می‌شود. برخی محققان از روش‌های تحقیق در عملیات برای حل مسئله موازنه زمان هزینه استفاده نموده‌اند (میر و شافر[13]، ۱۹۶۳؛ تالبوت[14]،۱۹۸۲).

مدل‌سازی ریاضی هزینه می‌تواند به تجزیه‌وتحلیل جامع تصمیم‌های مدیریت بپردازد. مدل کمینه‌سازی هزینه به مدیران کمک می‌نماید تا ساختار و رفتار هزینه را درک نمایند. با توجه به گستره کاربرد جوش، کمینه نمودن هزینه‌های این فعالیت منجر به کاهش در هزینه کل یک صنعت خواهد شد.

ادب آوازه و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹

[1] Osmani
[2] Karimi
[3] Al-Naser and Mohamed
[4] Hashemi Belmiri et al.
[5] Henri et al.
[6] Hsu and Qu
[7] Shabahang
[8] Alivar and Shabahang
[9] Mohammadi and Mohammadi
[10] Welding Economy
[11] Welding Cost
[12] Mansourkhaki et al.
[13] Meyer and Shaffer
[14] Talbot

۲- پیشینه پژوهش

با توسعه تکنولوژی در صنایع و ایجاد تغییر و تحول در سیستم‌ها، سازمان‌ها چنان با پیچیدگی و تغییرات شدید روبرو شده‌اند که مدیریت به تنهایی نمی‌تواند نسبت به محیط خود در سازمان شناخت کافی داشته باشد. به همین دلیل وجود سیستمی که مدیریت را در امر شناسایی راه‌حل بهینه و قابل اجرا کمک کند، ضرورت می‌یابد. امروزه کسب سود مورد انتظار توسط هر بنگاه اقتصادی آن مجموعه را ملزم می‌نماید که بر منابع و مصارف خود کنترل لازم را داشته باشد، ازاین‌رو کنترل هزینه‌ها در اجرای یک طرح و در نتیجه کاهش بهای تمام شده یکی از اساسی‌ترین ارکان کسب سود مورد انتظار در بنگاه‌های اقتصادی می‌باشد. مدیریت هزینه، به‌کارگیری مطلوب و توام با کارایی منابع سازمان در جهت ارزش‌آفرینی برای مشتریان می‌باشد. مدیریت هزینه، فلسفه بهبود است. مدیریت هزینه، می‌کوشد راه‌های مناسب برای تصمیم‌گیری‌هایی که متضمن ارزش‌آفرینی برای مشتریان، همراه با مدیریت مالی و کاهش هزینه‌ها بیابد. مدیریت هزینه، بر این نگرش استوار است که هزینه‌ها معطوف به چگونگی استفاده از منابع محدود سازمان است. نگرش مدیریت هزینه، نقش مهمی در جهت دادن تصمیمات مدیران به سوی ایجاد ارزش برای همه ذینفعان به عهده دارد و می‌کوشد بین منافع ذینفعان مختلف تلفیق مناسب و خلاقانه ایجاد کند. ازاین‌رو، مطالعات بسیاری هزینه را بررسی نموده‌اند که به برخی از مطالعات در این پژوهش اشاره می‌شود:

چن و همکاران[1] (۲۰۲۰) طی پژوهشی، به بهینه‌سازی پارامتر مبتنی بر مدل برای شبیه‌سازی یک فرایند جوشکاری ارائه می‌دهد. مدل محاسباتی مورد استفاده در این مطالعه مبتنی بر روش‌های دینامیکی سیال محاسباتی است و با استفاده از روش حجم محدود در دامنه محاسباتی سه بعدی اجرا شده است. پارامترهای مهم جوشکاری، از جمله جریان قوس، سرعت تغذیه سیم، ضخامت قطعه کار، سرعت جوش، هندسه و همچنین انواع آلیاژ فلزی مورد استفاده برای سیم و قطعه کار به‌عنوان پارامترهای قابل تنظیم اجرا شدند. با تنظیم این پارامترها می‌توان عملکرد جوشکاری قوسی را پیش‌بینی کرد و می‌توان تنظیمات مختلفی را برای بهینه‌سازی عملکرد جوش انجام داد. دو مطالعه موردی برای نشان دادن استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر مدل برای تعیین کمیت تغییرات حوضچه جوش با تغییر در پارامترهای جوشکاری ارائه شده است. پژوهش ارائه شده پتانسیل بهینه‌سازی پارامتر مبتنی بر مدل را برای کمک به مهندسان فرایند در بهبود عملی فرایند جوشکاری نشان می‌دهد.

در پژوهش کولوسیمو و همکاران[2] (۲۰۲۰) یک مدل هزینه برای ارزیابی تأثیر اقتصادی نقص و بی‌ثباتی فرایند در ساخت افزایشی[3] ارائه شده است. فرمولاسیون مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن سهم کسری از قراضه و عملکردهای نظارتی درجا در هزینه‌های فرایند و مواد، از جمله عملیات قبل و بعد از پردازش، مدل پیشین را گسترش می‌دهد. سه مطالعه موردی صنعتی واقعی (دندانپزشکی، هوا فضا و ماشین‌آلات) برای تعیین چگونگی استفاده از این مدل در عمل واقعی صنعتی برای تقویت مقادیر اقتصادی فناوری‌های *AM* در مقابله با مسائل بی‌ثباتی فرایند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که باعث صرفه‌جویی در هزینه پایدار در برنامه‌های کاربردی صنعتی خاص می‌شود.

مونتریو و همکاران[4] (۲۰۱۹) یک مدل ریاضی و ابزار جدید مدیریتی برای تخمین هزینه تخریب سایت راکتوری ارائه داده‌اند. این مدل ریاضی با هدف تخمین هزینه برای اهداف بودجه انجام شده است. در این پژوهش، روشی جدید برای نسبت دادن مقادیر در شرایط احتمالی و همچنین شبیه‌سازی اعتبارسنجی و تحلیل‌حساسیت ارائه شده است. اعتبارسنجی با توجه به نیروگاه هسته‌ای برزیل به‌عنوان مطالعه موردی انجام شده است که هزینه انتقال آن حدود ۷۶۱/۷ میلیون دلار تخمین زده شده است. تجزیه‌وتحلیل حساسیت نشان می‌دهد که با اجرای این مدل کاهش هزینه امکان‌پذیر می‌شود.

منقاسمی و همکاران[5] (۲۰۱۵) مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت در پروژه‌های ساخت‌وساز را با یک مدل جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمودند. برای به دست آوردن وزن اهداف، از روش آنتروپی شانون استفاده نمودند و مسئله را با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه حل نمودند و برای رتبه‌بندی جواب‌های پارتو از رویکرد استدلال شواهد استفاده نمودند.

---

[1] Chen
[2] Colosimo et al.
[3] Additive Manufacturing (AM)
[4] Monteiro et al.
[5] Monghasemi et al.

خورانا و ادلکها[1] (۲۰۱۵) الگوریتمی برای حل مسئله حمل‌ونقل چندشاخصه با هزینه ثابت دومعیاره پیشنهاد دادند و همچنین روشی برای پیدا نمودن موازنه بهینه در میان موازنه زمان هزینه کارآمد ارائه نمودند. الگوریتم پیشنهاد شده متغیرها و هزینه‌های ثابت را هم‌زمان کم می‌کند تا یک جواب پایه بهینه شدنی به دست آید. شیرازی و همکاران[2] (۲۰۱۵) مسئله حمل‌ونقل را با هزینه ثابت در سه مرحله با هزینه متغیر، هزینه ثابت و هزینه کمبود در نظر گرفتند و این مسئله را به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فرموله و از تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل آن استفاده نمودند. سیف و همکاران[3] (۲۰۱۵) مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت را در پروژه‌های نرم‌افزاری با هدف کمینه‌سازی هزینه و زمان و بیشینه‌سازی کیفیت با یک الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی حل نمودند. نتایج حاکی از دقت بالای جواب‌های به دست آمده بود.

توانا و همکاران[4] (۲۰۱۴) یک مدل زمان‌بندی پروژه را با اهداف کمینه‌سازی زمان - هزینه و بیشینه‌سازی کیفیت با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه حل کردند و نتایج را با روش اپسیلون محدودیت مقایسه کردند. نتایج حاکی از تسلط نسبی الگوریتم تکاملی چندهدفه بر روش اپسیلون محدودیت بود.

کیم و همکاران[5] (۲۰۱۲) در مطالعه خود به دنبال روشی برای زمان‌بندی پروژه با در نظر گرفتن کیفیت در کنار زمان و هزینه بودند. آن‌ها برخلاف سایر تحقیقات که به دنبال بیشینه کردن کیفیت اجرای فعالیت‌ها بوده‌اند، هزینه تحمیلی به پروژه را به دلیل کاهش کیفیت کلی پروژه در مسئله موازنه زمان هزینه دخیل کردند و با به‌کارگیری برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به ارائه مدل پرداختند، درنهایت برای آزمون کارایی مدل، از مطالعه موردی در یک کارخانه تولید محصولات بهداشتی استفاده نمودند.

چایوخی و همکاران[6] (۲۰۰۸) طی پژوهشی به برآورد هزینه آماده‌سازی اتصالات فرایند *GTAW* پرداخته است. روش پیشنهادی بر اساس مدل ویژگی، هزینه تولید اتصالات جوشکاری را تخمین می‌زند. این رویکرد از دانش تولیدی در مرحله طراحی سازه جوش داده شده استفاده می‌کند. این روش کمک می‌کند تا بهترین انتخاب اقتصادی گزینه‌های مختلف طراحی یک محصول فراهم شود. دو نوع اطلاعات فنی و اقتصادی در این کار ساختار یافته‌اند. تمرکز روی استفاده از فرایند جوشکاری قوسی فلزی گاز محافظ است که در آن انتخاب ویژگی آماده‌سازی فقط با توجه به ضخامت، شدت جریان الکتریکی و قطر الکترود انجام می‌شود. سپس، روش تولید فرایند تولید را برای جزئیات مختلف آماده‌سازی به تفصیل بیان می‌شود. درنهایت، یک مدل محاسبه برای هزینه ساخت برای تهیه اتصالات جوش پیشنهاد شده است.

لبافی و همکاران[7] (۲۰۲۱) مدیریت دارایی‌ها را تحت شرایط عدم اطمینان با رویکرد مدل برنامه‌ریزی کسری مدل‌سازی نموده‌اند. هدف اصلی این پژوهش ارائه الگوی ریاضی برای بهینه‌سازی دارایی‌ها و بدهی‌های بانک ملی ایران تحت شرایط عدم اطمینان با مدل برنامه‌ریزی کسری فازی طی دوره ۱۰ ساله است. جهت دستیابی به هدف فوق ۱۴ اقلام موجود در دارایی‌ها و بدهی‌های ترازنامه این بانک برای محاسبه ۹ متغیر مورد استفاده در مدل استخراج شده و نهایتاً نتایج به دست آمده از حل مدل برنامه‌ریزی کسری فازی در محیط نرم‌افزار لینگو بیانگر آن است که مدل پیشنهادی مقاله، قابلیت ارائه مقادیر بهینه هر یک از اقلام ترازنامه را برای سال‌های آتی با توجه به شرایط سال‌های گذشته، داراست و ارزش تابع هدف برای بانک ملی با در نظر گرفتن بهینه‌سازی در تصمیمات مدیریت دارایی و بدهی می‌تواند به نسبت کفایت سرمایه مطلوب دست یابد.

بندریان[8] (۲۰۱۹) از مدل هزینه سازنده برای برآورد اندازه، زمان و بهای تمام‌شده پروژه‌های خدمات مهندسی الگوبرداری نموده است. در این تحقیق تلاش شده تا با الگوبرداری از مدل هزینه سازنده که یک مدل تجربی برای محاسبه بهای تمام‌شده نرم‌افزار است، یک مدل الگوریتمی برای محاسبه بهای تمام‌شده پروژه‌های خدمات مهندسی توسعه یابد. این مدل، با محاسبه‌اندازه پروژه و تعدیل آن برمبنای محرک‌های اندازه و هزینه، به دنبال ارتقا دقت برآوردهای اولیه از بهای تمام‌شده پروژه می‌باشد. مدل توسعه‌یافته برای یک مطالعه موردی به اجرا درآمده و با استفاده از اطلاعات تاریخی مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است.

ادب آوازه و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹

[1] Khurana and Adlakha
[2] Shirazi et al.
[3] Saif et al.
[4] Tavana et al.
[5] Kim et al.
[6] Chayoukhi et al.
[7] Labbafi et al.
[8] Bandarian

کرمی خرم آبادی و همکاران[1] (۲۰۲۰) به ارزیابی کارایی هزینه با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب مبتنی بر اصل دسترسی‌پذیری ضعیف پرداختند. مدل پیشنهاد شده در حالت بازده به مقیاس متغیر یک مدل غیرخطی بوده است که برای سهولت حل خطی‌سازی شده است.

کاویانی و فخرحسینی[2] (۲۰۱۸) کاربرد تکنیک‌های تحقیق در عملیات در تحقیقات مالی را بررسی نموده‌اند. با توجه به اهمیت موضوع، امروزه رابطه دوسویه بین مفاهیم مالی و سرمایه‌گذاری با تکنیک‌های تحقیق در عملیات وجود دارد؛ یعنی همان‌طور که تکنیک‌های مختلف تحقیق در عملیات برای مسائل مالی بکار گرفته‌شده‌اند، نظریه‌های مالی نیز نیازمند توسعه و بهبود تکنیک‌های راه‌حل تحقیق در عملیات بوده هستند. مقاله حاضر نشان می‌دهد که بسته به نوع تصمیم‌گیری در حوزه مالی و سرمایه‌گذاری، از طریق نتایج تحقیقات، این تکنیک‌ها علاوه بر بالا بردن دقت نتایج تحقیقات مالی می‌تواند باعث تنوع بیشتر این تحقیقات خصوصاً برای رشته‌های مهندسی مالی گردد.

شول و کشاورز[3] (۲۰۱۸) مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت پروژه را مدل‌سازی نمودند. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی سه هدفه فرموله گردید. برای حل مسئله توابع هدف مربوط به زمان و هزینه به صورت آرمان‌های فازی توصیف شده است و از یک رویکرد تصمیم‌گیری فازی برای بازنویسی مدل سه هدفی به صورت مدلی تک هدفی استفاده گردیده است.

حسینی کلورزی[4] (۲۰۱۷) مدیریت استراتژیک هزینه در فعالیت‌های جوشکاری را بررسی نمودند. مـدل مؤثر مدیریت استراتژیک هزینه در فعالیت جوشکاري، مدلی است که در مرحله طراحی و با تعامل افرادي از قسمت‌هاي مختلف سازمان پیاده‌سازي شود. نتایج نشان داد که مدل مدیریت استراتژیک هزینه ارائه شده در پژوهش، موجبات مدیریت هزینه فرایند جوشکاری را فراهم آورده است.

مطرود و توحیدی[5] (۲۰۱۶) مدل‌های هزینه و سود در حضور متغیرهای انعطاف‌پذیر را ارائه نموده‌اند. یکی از ابعاد مهم در مفاهیم اقتصادی، استفاده صحیح از منابع می‌باشد. به این دلیل، تمرکز روی ارزیابی سود و هزینه مربوط به مؤسسات مالی از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل کاربرد متغیرهای انعطاف‌پذیر در مسائل عملی، در این مقاله مدل‌های ارزیابی سود و هزینه در حضور این متغیرها ارائه شده است. ماهیت متغیرهای انعطاف‌پذیر در راستای کمترین هزینه در مدل هزینه و بیشترین سود در مدل سود تعیین شده است. در راستای بررسی قابلیت مدل، مدل‌های پیشنهادی روی داده‌های واقعی مربوط به ۵۰ بانک از ایالات‌متحده به کار گرفته شده است.

شهریاری[6] (۲۰۱۵) یک مدل دو هدف تخصیص عضو مازاد برای بهینه‌سازی هزینه و قابلیت اطمینان یک سیستم سری - موازی ارائه نموده است. این تحقیق بر روی یکی از مدل‌های موجود در علم قابلیت اطمینان به نام مسئله تخصیص افزونگی متمرکز شده و یک مدل دو هدفه برای این مسئله با سیستم سری- موازی ارائه شده است که در آن نرخ خرابی اجزاء وابسته به تعداد اجزاء فعال می‌باشد. اهداف این مسئله «افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه کل» می‌باشند. همچنین جهت نزدیک‌تر شدن این مسئله به جهان واقعی هزینه اتصال داخلی اجزاء نیز به مسئله اضافه شده است که در حوزه الکترونیک یک بحث بسیار متداول می‌باشد.

رضویان[7] (۲۰۱۶) به تخصیص منابع متمرکز با کمترین هزینه و بیشترین درآمد و سود در حضور قیمت‌های متغیر و نامعین با تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. درواقع در این فرایند به‌جای مدنظر قرار دادن مستقل و انفرادی کمینه ورودی و یا بیشینه خروجی برای واحدها، تخصیص منابع متمرکز با کم‌ترین هزینه و بیش‌ترین درآمد و سود کلی و به صورت یکجا در حضور قیمت‌های متغیر و نامعین در تحلیل پوششی داده‌ها برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیری انجام می‌شود و بر این اساس تصویر واحدهای تصمیم‌گیرنده روی مرزهای کارایی هزینه، درآمد و سود تعیین می‌شود که اغلب متفاوت از تصویر روی مرز کارایی تکنیکی هستند. سپس مدل‌های تخصیص منابع متمرکز با کم‌ترین هزینه در حضور قیمت‌های نامعین و در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه پیشنهاد می‌گردد.

[1] Karami Khorramabadi et al.
[2] Kaviani and Fakhrehosseini
[3] Shoul and Keshavarz
[4] Hosseini Kolvarzi
[5] Matroud and Tohidi
[6] Shahriari
[7] Razavyan

نوروزی و همکاران[1] (۲۰۱۴) به برآورد زمان و هزینه فعالیت‌های پروژه در سازمان‌های تحقیق و توسعه با رویکرد نوین ریاضی و فازی پرداختند. در این مقاله با استفاده از نظریه فازی و ادغام آن با روش‌های آماری و دلفی، رویه‌هایی ابتکاری و مناسب برای تخمین زمان و هزینه فعالیت‌ها به صورت عدد فازی ارائه شده است.

سالاری و همکاران[2] (۲۰۱۳) مسئله موازنه زمان – هزینه در محیط فازی را به کمک مدل‌سازی آماری و آنالیز ارزش حاصله حل نمودند. در مدل یاد شده برای هر فعالیت چندین انتخاب وجود دارد و این انتخاب‌ها مسیرهای متفاوتی برای اجرای پروژه به وجود می‌آورند. برای هر انتخاب از فعالیت‌ها، زمان و هزینه به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. بهترین مسیر اجرای پروژه با توجه به زمان و هزینه اجرای پروژه در مسیرهای متفاوت، انتخاب می‌گردد. درنهایت، از روش مدیریت ارزش حاصله برای کنترل شاخص‌های عملکردی پروژه، همچون زمان و هزینه و از روش آماری برای پیش‌بینی وضعیت آینده شروع آن به زمان اجرای آن انتقال می‌دهد.

مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد در سایر پژوهش‌ها نیز توصیه‌هایی برای کمینه‌سازی هزینه ارائه شده است. با وجود اهمیت فراوان فرایندهای جوشکاری در صنایع، کمبود مدل‌های ریاضی مناسبی که صنایع را در کاهش هزینه یاری رساند، همچنان احساس می‌شود؛ بنابراین، در این مطالعه یک مدل ریاضی برای کمینه‌سازی هزینه فرایند *GTAW* ارائه شده است.

۳- بیان مسئله

هدف اصلی هر عمل جوشکاری تولید جوشی است که همان خواص فلز مبنا را داشته باشد. چنین جوشی فقط زمانی به دست می‌آید که حوضچه مذاب حین جوشکاری به‌طور کامل از هوای محیط محافظت شود. در غیر این صورت اکسیژن و ازت محیط جذب حوضچه مذاب شده و جوش متخلخل و ضعیف می‌شود.

در جوشکاری قوسی با محافظت گاز، از گاز به‌عنوان حفاظ پوشش اطراف قوس برای جلوگیری از آلوده شدن جوش با هوا استفاده می‌شود. اصولاً جوشکاری قوسی محافظت شده گازی برای جوشکاری فلزات مقاوم در مقابل خوردگی و فلزات سخت جوش توسعه داده شده است. امروزه روش جوشکاری قوسی محافظت شده گازی برای تمام انواع فلزات به‌کاربرده می‌شود. شاید جـوشکاری قوسی محافظت شده گازی جای بیشتر جوشکاری تولیدی قوسی فلزی و اکسی استیلن را به خاطر مرغوبیت جوش، آسانی بیشتر کار و سرعت زیاد جوشکاری بگیرد. علاوه بر روش دستی، جوشکاری قوسی محافظت شده گازی می‌تواند به‌طور خودکار در هر حالت برای فلزات آهنی و غیر آهنی نازک و ضخیم بکار برده شود.

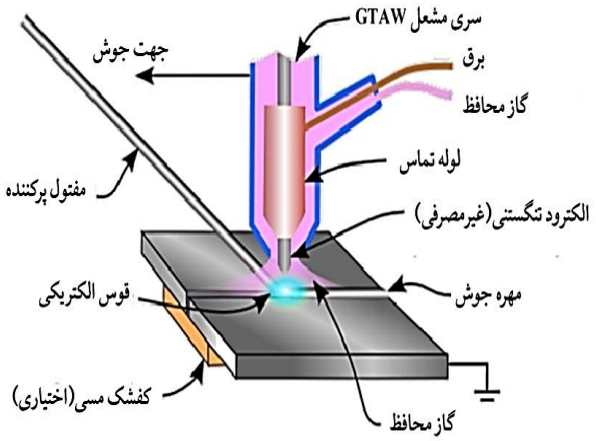
ازآنجایی‌که گاز محافظ، هوا را از حوضچه مذاب دور می‌سازد، اتصالات جوش داده شده با قوس محافظت شده از جوش‌های اغلب روش‌های جوشکاری دیگر قوی‌تر، داکتیل‌تر و به خوردگی مقاوم‌ترند. قوس محافظت شده گازی مخصوصاً جوشکاری فلزات غیر آهنی را به علت عدم نیاز به استفاده از روان‌ساز ساده می‌سازد.

هرجا که روان‌ساز لازم باشد، مسئله برطرف کردن روان‌ساز پس از جوشکاری مطرح است. به علاوه وقتی از روان‌ساز استفاده می‌شود احتمال بجا ماندن سرباره یا حفره‌های گازی در جوش زیاد می‌گردد. مزیت دیگر قوس محافظت شده گازی آن است که به علت کم بودن مزاحمت دود جوشکاری و جرقه‌ها، جوش زیباتر و سالم‌تری به دست می‌آید. چون گاز محافظ اطراف قوس شفاف است، جوشکار حین جوشکاری به‌راحتی می‌تواند جوش را زیر نظر داشته باشد. مهم‌تر آن‌که جوش تمام شده تمیز و عاری از گرفتاری‌های جوش حاصل از روش‌های دیگر جوشکاری قوسی فلزی می‌باشد. جوشکاری می‌تواند با حداقل پاشیدگی در تمام حالت‌ها انجام شود. ازآنجایی‌که جوش صاف است و نیاز به پرداخت ندارد یا به پرداخت کمی نیاز دارد، در هزینه تولید صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای می‌شود و همچنین پیچیدگی فلز نزدیک جوش کم است. طرح‌واره فرایند *GTAW* در **شکل ۱** ارائه شده است

[1] Norouzi et al.

[2] Salari et al.

ادب آوازه و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹



شکل ۱- طرح‌واره فرایند جوشکاری قوسی تنگستنی گاز محافظ.
Figure 1- Scheme of shielded tungsten arc welding process.

در پژوهش حاضر کمینه‌سازی فرایند *GTAW* مورد بررسی قرار گرفته است. هزینه بالای فرایند جوش قوسی تنگستنی گاز محافظ در صنعت جوش در قبال مزایای کیفیت جوش ممتاز و پیچیدگی کم این فرایند نیازمند مدیریت است. در مسئله کمینه‌سازی هزینه فرایند *GTAW* همچنین اصول زیر در مدل‌سازی به کار گرفته شده است:

- *فرایند به صورت دستی یا اتوماتیک صورت می‌پذیرد.*
- *گاز محافظ در دو بخش خنثی[1] و فعال[2] دسته‌بندی می‌شود. گاز خنثی شامل گازهای آرگون[3]، هلیوم[4] یا مخلوطی از این دو گاز است و گاز فعال شامل دی‌اکسیدکربن[5] است. در فرایند GTAW گاز فعال کاربرد ندارد.*
- *نرخ رسوب در هر یک ساعت حدود نیم کیلو خواهد بود.*
- *سرعت پیشروی جوش فرایند GTAW پایین است. سرعت پیشروی در هر یک دقیقه حداکثر ۲۰ سانتی‌متر خواهد بود.*
- *جوش‌های دستی با کیفیت این فرایند نیاز به مهارت جوشکار دارد.*

۱-۳- مدل ریاضی مسئله

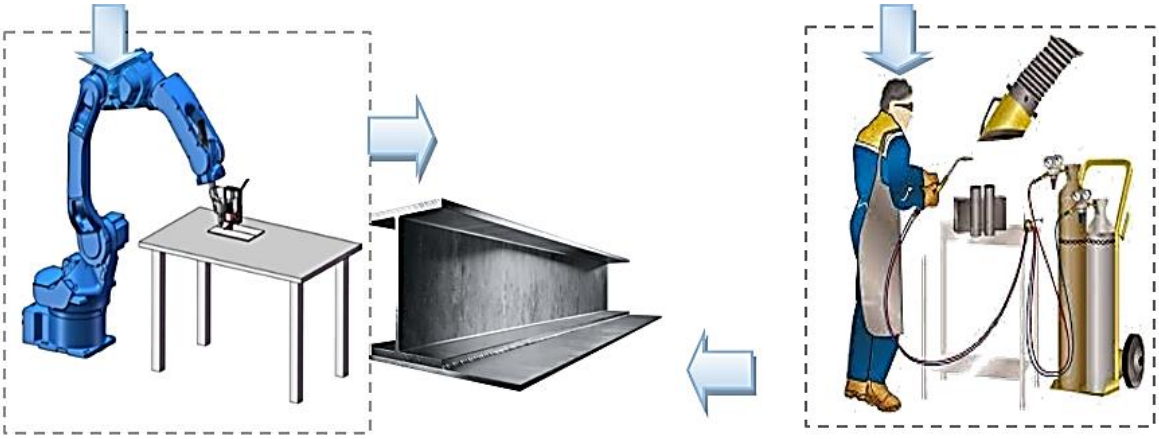
مدل‌سازی ریاضی عبارت است از تلاش برای توسعه یک مدل ریاضی برای یک سامانه مشخص. مدل‌سازی به پژوهشگران کمک می‌کند تا یک سامانه را به صورت سامانه‌شناسی تحلیل کرده و رفتار آن را پیش‌بینی کنند. در این بخش، پس از تعریف نمادهای مشترک و محدودیت‌ها، توابع هدف مدل جامع در قالب برنامه‌ریزی ریاضی مدل‌سازی خواهد شد. این مدل با اقتباس از تابع هزینه *NAVEDTRA* توسعه یافته است.

مدل ریاضی ارائه شده از نوع برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که تابع هدف آن به کمینه‌سازی هزینه فرایند *GTAW* می‌پردازد. به‌منظور ایجاد قابلیت بررسی ساده مدل ریاضی مسئله از قالب نمادگذاری در مقاله استفاده شده است. نمادهای مورد استفاده در مدل، شامل اندیس‌ها و مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها می‌باشد که در ادامه تشریح شده است. شناخت اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله ضروری است.

فرایند *GTAW* می‌تواند نیمه خودکار یا تمام خودکار باشد. در روش خودکار اندازه جوش، طول جوش، سرعت حرکت، شروع و توقف تماماً به‌وسیله دستگاه کنترل می‌شود. جوش‌های دستی این فرایند نیاز به جوشکار ماهر دارد. فرایند *GTAW* مطابق **شکل ۲** در نظر گرفته می‌شود.

---

[1] Inert Gas
[2] Active Gas
[3] Ar
[4] He
[5] Co_2



شکل ۲- فرایند جوشکاری قوسی تنگستنی گاز محافظ به صورت دستی یا اتوماتیک.
Figure 2- Manual or automatic tungsten arc welding process of shielding gas.

از رایج‌ترین فعالیت‌های ربات‌های صنعتی می‌توان به جوشکاری با آن‌ها اشاره کرد. جوشکاری یک فرایند پیچیده است که نیازمند دانش خاص و تجربه کاری گسترده است. کار اپراتور جوشکاری سنگین و یکنواخت است و کیفیت نهایی جوش تا حد زیادی وابسته به مهارت اپراتور جوشکاری است؛ اما در جوشکاری رباتیک این پارامتر از بین می‌رود زیرا ربات جوشکاری مجهز به تجهیزات حرفه‌ای نتایجی فراتر از عملکرد نیروی انسانی به دست می‌آورد. توسعه هر روزه صنایع در کنار نیاز به کیفیت بالاتر محصولات، افزایش بهره‌وری تولید و کاهش هزینه‌ها نیازمند انعطاف‌پذیری سیستم تولیدی پویا است تا بتوان در بازار امروز محصولات رقابتی تولید نمود، لذا فرایندهای جوشکاری رباتیک، یکی از راه‌حل‌های مناسب در مقایسه با فرایند دستی آن است.

از رایج‌ترین فعالیت‌های ربات‌های صنعتی می‌توان به جوشکاری با آن‌ها اشاره کرد. جوشکاری یک فرایند پیچیده است که نیازمند دانش خاص و تجربه کاری گسترده است. کار اپراتور جوشکاری سنگین و یکنواخت است و کیفیت نهایی جوش تا حد زیادی وابسته به مهارت اپراتور جوشکاری است؛ اما در جوشکاری رباتیک این پارامتر از بین می‌رود زیرا ربات جوشکاری مجهز به تجهیزات حرفه‌ای نتایجی فراتر از عملکرد نیروی انسانی به دست می‌آورد. توسعه هر روزه صنایع در کنار نیاز به کیفیت بالاتر محصولات، افزایش بهره‌وری تولید و کاهش هزینه‌ها نیازمند انعطاف‌پذیری سیستم تولیدی پویا است تا بتوان در بازار امروز محصولات رقابتی تولید نمود، لذا فرایندهای جوشکاری رباتیک، یکی از راه‌حل‌های مناسب در مقایسه با فرایند دستی آن است.

۱-۱-۳- معرفی اندیس‌ها و مجموعه‌ها

اندیس مربوط به نوع جوشکاری دستی:۱؛ اتوماتیک:۲	$i \varepsilon I = \{1,2\}$
اندیس هر فوت طول جوش مورد نظر	$j \varepsilon J$
اندیس مهارت کاری جوشکار (اپراتور) مهارت کم:۱؛ مهارت متوسط:۲؛ مهارت بالا:۳	$k \varepsilon \{1,2,3\}$

۲-۱-۳- معرفی پارامترها

فرض می‌شود تمام پارامترهای مدل، قطعی باشند و هیچ پارامتر تصادفی در مدل وجود ندارد. تمامی پارامترهای مدل به شرح زیر ارائه می‌شود:

ادب آوازه و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹

WC_{ij}: جریان در جوشکاری نوع i
WV_{ij}: ولتاژ در جوشکاری نوع i
TS_{ij}: سرعت حرکت در جوشکاری نوع i
PS_i: سرعت پیش‌روی در جوشکاری نوع i در هر دقیقه
GF_{ij}: جریان گاز در جوشکاری نوع i
WT_{ij}: زمان مورد نیاز در جوشکاری نوع i
AT_{ij}: زمان قوس در جوشکاری نوع i
LOC_{ijk}: دستمزد اپراتور با مهارت k در جوشکاری نوع i
WD_{ij}: وزن رسوب در جوشکاری نوع i
WR_i: نرخ رسوب در جوشکاری نوع i پوند در هر ساعت
FWC_i: هزینه فلز پرکننده در جوشکاری نوع i
DE_{ij}: کارایی رسوب در جوشکاری نوع i
GC_{ij}: هزینه واحد گاز در جوشکاری نوع i
GU_{ij}: حجم گاز مورد نیاز در جوشکاری نوع i
$GCO2$: حجم گاز CO_2 موردنیاز در جوشکاری نوع i
SGC_{ij}: هزینه گاز محافظ در جوشکاری نوع i
EPC_{ij}: هزینه توان الکتریکی در جوشکاری نوع i
PSE_{ij}: کارایی منبع تغذیه در جوشکاری نوع i

۳-۱-۳- معرفی متغیرهای مدل

هدف مدل، یافتن مجموعه‌ای از مقادیر برای متغیرهای مجهول مسئله است به‌طوری‌که بتوانند جوابی بهینه برای مسئله مورد نظر ارائه دهند. با استفاده از پارامترهای تشریح شده مدل، مقادیر پارامترهای مرتبط با هزینه تعیین می‌شود.

هنگامی مقدار ۱ می‌گیرد که جوشکاری نوع i برای سری جوشکاری j انتخاب شود.	x_{ij}
هنگامی مقدار ۱ می‌گیرد که اپراتور با مهارت k در جوشکاری نوع i برای سری جوشکاری j انتخاب شود.	y_{ijk}

۳-۲- تشریح مدل پیشنهادی

تابع هدف این مدل ریاضی سعی دارد با در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای دستمزد کل[1]، هزینه فلز پرکننده[2]، هزینه گازمحافظ[3]، هزینه الکترود تنگستنی[4] و هزینه برق[5] بهترین گمارش را تعیین نماید. تابع هزینه تابعی است که تمام پارامترهای مؤثر در هزینه جوشکاری *GTAW* را در برمی‌گیرد. هزینه کل جوشکاری مجموع هزینه‌ها می‌باشد. فرض کنید در مسئله مورد بررسی *j* نشان‌دهنده سری جوش و *i* بیانگر نوع دستی یا اتوماتیک جوش باشد. هدف از این مدل‌سازی، کمینه‌سازی هزینه کل جوشکاری به نحوی است که فرایند جوش یا به صورت اتوماتیک یا دستی توسط جوشکار با سطح مهارت بالا انجام شود. به‌منظور بررسی اعتبار و کارایی مطلوب مدل ریاضی دو سناریو مورد استفاده در کتاب راهنمای *NavyBMR* حل شده است. محقق دو سناریوی بیشتر با کمی تغییر تعریف نموده است.

۳-۳- روابط ریاضی

هزینه‌های جوشکاری ممکن است به دو گروه هزینه‌های ثابت بدون توجه به مواد پرکننده یا فرآیند انتخاب شده جوشکاری و مرتبط با فرایند جوشکاری خاص تقسیم شود. هزینه‌های ثابت مستلزم مدیریت مواد، آماده‌سازی اتصال، یراق، چسباندن، پیش گرمایش، تمیز کردن جوش و بازرسی شود. بااین‌وجود بعضی از موارد تحت تأثیر فرایندهای خاص و انتخاب مواد پرشده قرار می‌گیرند که قسمت ضروری در تمام جوشکاری‌ها می‌باشد. محاسبه چنین هزینه‌هایی به قابلیت اپراتور و تجهیزات مورد استفاده وابسته می‌باشد. هزینه

[1] Total Labor Cost
[2] Filler Metal Cost
[3] Shieldeding Gas Cost
[4] Tungsten Electrode Cost
[5] Electric Power Cost

واقعی اجرای مواد جوشکاری با توجه به مواد پر شده و فرایند انتخاب شده جوشکاری متفاوت می‌باشد. این بخش از هزینه تحت تأثیر اپراتور و میزان هزینه‌های ثابت، میزان رسوب و بازده فلز پر شده، عوامل اجرایی، هزینه مواد و برق قرار دارد.

هزینه‌های جوشکار و هزینه‌های ثابت عموماً در محاسبات هزینه‌ها ترکیبی محسوب می‌شود که در بسیاری از صنایع فلزکاری معمول می‌باشد. هزینه‌های ثابت عموماً شامل مواردی مانند خدمات، مالیات، هزینه‌های تعمیر و استهلاک تجهیزات می‌شود. میزان ساعت و میزان هزینه‌های ثابت در هر کارخانه‌ای متفاوت می‌باشد و میزان ساعت واقعی برای هر کارخانه باید برای این محاسبه استفاده شود.

عامل اجرایی درصد زمانی است که جوشکار به صورت واقعی در حال جوشکاری می‌باشد، ازآنجایی‌که زمان زیادی صرف تنظیم، پیش‌گرمایش، حذف فلزات نیمه‌سوخته و تغییر الکترودها می‌شود، عامل اجرایی برای این فرایند نسبتاً پایین می‌باشد و می‌توان محدوده‌ای بین ۱۰% تا ۵۰% داشته باشد ولی عموماً محدوده‌ای بین ۴۰%-۲۰% دارد. عامل اجرایی از کارخانه‌ای به کارخانه دیگر فرق دارد و برای انواع مختلف جوشکاری نیز متفاوت می‌باشد.

میزان رسوب الکترودها روی هزینه جوشکار و هزینه‌های کلی به دلیل تأثیر اجرای الکترود بر تولید تأثیرگذار می‌باشد. سرعت پیشروی برای جوشکاری قوس الکترود دستی اغلب پایین می‌باشد. هزینه الکترود هر فوت جوشکاری با عوامل مختلفی مشخص می‌شود. اولین آن‌ها وزن الکترودهای نهشته در هر فوت طول از جوشکاری می‌باشد که به‌اندازه جوشکاری وابسته می‌باشد. دومین آن‌ها هزینه هر پوند الکترود می‌باشد و سومین بازدهی رسوب الکترود می‌باشد. بازدهی رسوب درصد وزن کلی الکترود می‌باشد که در جوشکاری نهشته است که از الکترودی به الکترود دیگر متفاوت می‌باشد و برای محاسبه آن دو اینچ دور ریز ته الکترود فرض شده است. مقداری از وزن به صورت پاشش یا سرباره جدا می‌شوند و مقداری از الکترودها به گاز تبدیل می‌شود. هزینه برق نسبتاً هزینه کوچکی به حساب می‌آید و می‌تواند هنگامی مهم شود که حجم بالایی از جوشکاری در کار خاصی مورد نیاز و مهم باشد. هزینه برق به مقدار جریان جوشکاری، ولتاژ جوشکاری، کارایی منبع برق، زمان جوشکاری و هزینه هر کیلو وات بر ساعت وابسته می‌باشد.

هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای این فرایند می‌تواند به‌طور گسترده‌ای به پیچیدگی تجهیزات مورد نیاز وابسته باشد. نوع تجهیزات استفاده شده به نوع کاربرد آن وابسته می‌باشد. هزینه مواد مصرفی می‌تواند به دلیل اختلاف قیمت برای گازهای محافظتی متفاوت و فلزات پرکننده بسیار گسترده باشد. برای بعضی کاربردها، هیچ فلز پرکننده‌ای استفاده نمی‌شود و برای برخی می‌تواند بسیار گران باشد. فرکانس در هر الکترود باید بسته به شرایطی مانند مهارت جوشکار و میزان جریان جوشکاری تعویض شود. در هزینه فرایند جوشکاری عوامل دیگری نیز باید در نظر گرفته شود که شامل ۴ بخش مهم می‌شود:

- *هزینه جوشکار (اپراتور)[1] و هزینه‌های ثابت.*
- *هزینه فلز پرکننده[2].*
- *هزینه گاز محافظ[3].*
- *هزینه برق[4] و یک مورد جزیی‌که پوشش روی الکترود[5] می‌باشد.*

بیشترین بخش هزینه جوشکاری را نیروی کار و هزینه سربار به خود اختصاص می‌دهد که این مقدار گاهی تا بیش از ۸۵% کل هزینه نیز می‌رسد. هزینه کلی[6] فرایند شامل مجموع هزینه‌ها می‌باشد. روابط ریاضی هزینه فرایند بر اساس فوت طول جوش[7] به صورت **روابط (۵-۱)** مطابق با راهنمای *NavyBMR* ارائه می‌شود.

$$\frac{\text{هزینه کل}}{\text{فوت طول جوش}} = \text{کل هزینه جوشکار} + \text{هزینه فلز پر کننده} + \text{هزینه گاز محافظ} + \text{هزینه الکترود} + \text{هزینه توان الکتریکی}. \qquad (۱)$$

[1] Total Labor Cost
[2] Filler Metal Cost
[3] Sheilding Gas Cost
[4] Electric Power Cost
[5] Electrode Cost
[6] Total Costs
[7] Foot of Weld

$$\frac{\text{کل هزینه جوشکار}}{\text{فوت طول جوش}} = \left(\text{کل زمان جوشکاری}\right) \times \left(\frac{\text{هزینه های جوشکار و بالاسری}}{\text{ساعت}}\right). \quad (۲)$$

$$\frac{\text{هزینه فلز پر کننده}}{\text{فوت طول جوش}} = \left(\frac{\text{(هزینه سیم پر کننده} \times \text{وزن رسوب)}}{\text{بازده رسوب دهی}}\right). \quad (۳)$$

$$\frac{\text{هزینه گاز محافظ}}{\text{فوت طول جوش}} = \left(\text{زمان قوس}\right) \times \left(\text{دبی گاز}\right) \times \left(\frac{\text{هزینه گاز}}{\text{فوت مکعب}}\right). \quad (۴)$$

$$\frac{\text{هزینه الکترود}}{\text{فوت طول جوش}} = \left(\frac{\text{ولتاژ جوشکاری} \times \text{جریان جوشکاری}}{\text{بازده منبع تغذیه}}\right) \times \left(\text{زمان قوس}\right) \times \left(\frac{\text{هزینه توان}}{\text{ساعت} - \text{کیلووات}}\right). \quad (۵)$$

۳-۳- فرموله کردن مسئله و محدودیت‌های مدل جامع پیشنهادی

در این بخش، تشریح مدل ریاضی پرداخته می‌شود. سری جوش j با نوع دستی یا اتوماتیک i در نظر بگیرید. در هر سری جوش j، فرایند $GTAW$ به صورت i (دستی یا اتوماتیک) انجام می‌شود. تابع هدف بیانگر کمینه‌سازی هزینه جوشکاری $GTAW$ است که دارای ٤ بخش است و به ترتیب شامل «هزینه اپراتور و هزینه‌های ثابت، هزینه آلیاژ پرکننده، هزینه برق، هزینه گاز محافظ» می‌باشد.

$$\begin{aligned} Min\ \ Z = & \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\left(WT_{ij} \times LOC_{ijk}\right) y_{ijk} \\ & + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\left[\frac{WD_{ij} + FWC_{ij}}{DE_{ij}} + \left(AT_{ij} \times GF_{ij} \times GC_{ij}\right)\right. \\ & \left. + \left(\left(\frac{WC_{ij} \times WV_{ij}}{PSE_{ij}}\right) \times AT_{ij}\right) \times EPC_{ij}\right] x_{ij}. \end{aligned} \quad (۶)$$

$$\sum_{i\in I} x_{ij} = 1. \qquad \forall j \in J \quad (۷)$$

$$WR_i . x_{ij} \le 0.5. \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (۸)$$

$$PS_i . x_{ij} \le 20. \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (۹)$$

$$GCO2_{ij} . x_{ij} = 0. \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (۱۰)$$

$$\sum_{k\in K} y_{ijk} = x_{ij}. \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (۱۱)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}. \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (۱۲)$$

$$\forall i \in I, x_{ij} \in \{0,1\}. \qquad \forall j \in J \quad (۱۳)$$

رابطه (۶) بیانگر تابع هدف مسئله یا هزینه کل فرایند $GTAW$ می‌باشد. **رابطه (۷)** بیانگر لزوم انجام فرایند یا به طریق اتوماتیک و یا به طریق دستی می‌باشد. **رابطه (۸)** تضمین می‌کند که وزن رسوب در هر یک ساعت نیم کیلو بیشتر نمی‌شود. **رابطه (۹)** نشان می‌دهد کارایی رسوب پایین است همان سرعت پیشروی است که هر یک دقیقه حداکثر بیست سانتیمتر می‌تواند باشد. **رابطه (۱۰)** تضمین می‌کند که گاز CO_2 استفاده نخواهد شد. **رابطه (۱۱)** بیانگر انجام فرایند به صورت دستی توسط یک اپراتور با سطح مهارت بالا انجام می‌شود. **رابطه (۱۲)** نیز نوع متغیر تصمیم مسئله از نوع باینری را نشان می‌دهد.

۵-۳- صحه‌گذاری مدل

برای صحه‌گذاری مدل پیشنهادی، دو سناریو از کتاب راهنمای $NavyBMR$ به دو روش اتوماتیک و دستی و دو سناریوی محقق ساخته لحاظ می‌شود (**جدول ۱**). مقادیر و پارامترهای مرتبط با نمونه اول از داده‌های کتاب راهنمای $NAVEDTRA\ 14251A$ اتخاذ و مقادیر پارامترهای مرتبط با نمونه دوم به صورت مشابه و با کمی تغییر لحاظ شد.

در **جدول ۱** ردیف‌های اول تا سیزدهم بیانگر اطلاعات مسئله به ترتیب شامل «شدت جریان، ولتاژ جوشکاری، سرعت حرکت، نرخ جریان گاز، زمان جوشکاری، زمان قوس، دستمزد، وزن رسوب، هزینه سیم پرکننده، بازده رسوب‌گذاری، هزینه گاز، هزینه توان الکتریکی و بازده منبع تغذیه» و ردیف آخر هزینه این فرایند را به صورت واقعی نمایش می‌دهد.

جهت مطالعه مسئله، دو سناریو از داده‌های کتاب راهنمای *NAVEDTRA 14251A* در نظر گرفته شده است. هزینه کل جوش بدون اعمال مدل، هزینه‌ای است که در قالب هزینه کل توسط *NAVEDTRA 14251A* گزارش شده است. **جدول ۲** نتایج اجرای مدل تصمیم‌گیری کمینه‌سازی هزینه فرایند *GTAW* را با چهار نمونه ارائه شده در نرم‌افزار *GAMS*، نشان می‌دهد. همان‌گونه که از نتایج به دست آمده در حالت بهینه مشخص است، صرفه‌جویی در هزینه کل حاصل شده است که این صرفه‌جویی به دلیل استفاده بهینه از منابع بوده است که منجر به کاهش کل هزینه گردیده است. حل بهینه مسئله مطالعه موردی منجر به کاهش حدود ۱۰٪ هزینه کل شده است. بدیهی است که با افزایش ابعاد مسئله و حل آن میزان صرفه‌جویی‌های حاصل شده بسیار چشمگیرتر خواهد بود که می‌تواند مورد توجه مدیران صنعت جوش قرار گیرد.

ادب آزاده و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹

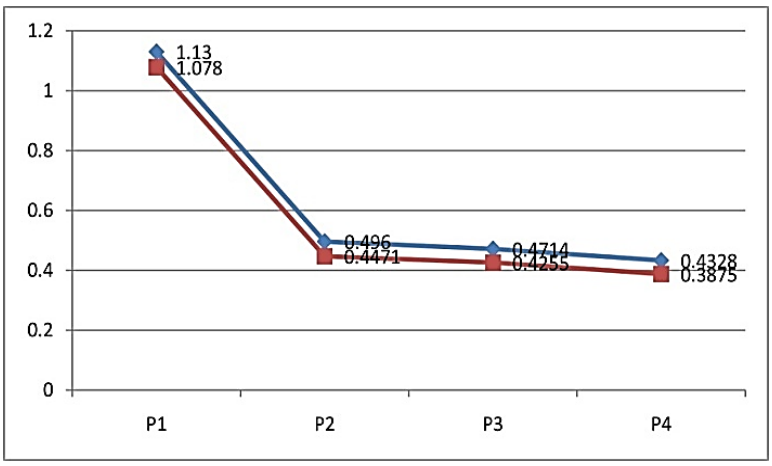
جدول ۱- مجموعه داده‌های به‌کار گرفته شده در مدل ریاضی پیشنهادی.
Table 1- Data set used in the proposed mathematical model.

	NavyBMR		محقق ساخته	
	دستی	اتوماتیک	دستی	اتوماتیک
	P1	P2	P3	P4
شدت جریان (آمپر)	240	300	200	220
ولتاژ جوشکاری (ولت)	25	30	20	23
سرعت حرکت (اینچ بر دقیقه)	10	15	11	20
نرخ جریان گاز (فوت مکعب بر ساعت)	30	40	32	45
زمان جوشکاری (ساعت)	0.057	0.022	0.021	0.019
زمان قوس (ساعت)	0.02	0.013	0.015	0.010
دستمزد (دلار بر ساعت)	18	18	18	18
وزن رسوب (پوند)	0.037	0.037	0.037	0.037
هزینه سیم پرکننده (دلار بر پوند)	1.6	1.6	1.6	1.6
بازده رسوب‌گذاری (%)	1	1	1	1
هزینه گاز (دلار بر فوت مکعب)	0.06	0.06	0.06	0.06
هزینه توان الکتریکی (دلار بر کیلو وات‌ساعت)	0.035	0.035	0.035	0.035
بازده منبع تغذیه (%)	50	50	50	50
هزینه کل بدون اعمال مدل	1.130	0.496	0.4714	0.4328

جدول ۲- خروجی نرم‌افزار GAMS.
Table 2- GAMS software output.

مسئله	هزینه
P1	1.078
P2	0.4471
P3	0.4255
P4	0.3875

نمودار هزینه‌های حل شده سناریوهای مختلف مدل در **شکل ۳** ارائه شده است. **شکل ۳** به صورت شماتیک بیانگر کاهش هزینه با اعمال مدل می‌باشد.



شکل ۳- نمودار مقایسه کارایی هزینه.
Figure 3- Cost efficiency comparison chart.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با ارائه مدل کمینه‌سازی میزان هزینه کل در هر چهار سناریو کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد سناریو ۱ بهترین سناریو از بعد کارایی است و سناریو ۴ کمترین کارایی را دارد. میزان کاهش هزینه فرایند *GTAW* در سناریوی ۱ بیشتر است، این بدین معنا است که در سناریوی ۱ فرایند *GTAW* سود بیشتری به دست خواهد آورد. با توجه به نتایج به دست آمده از سناریوها، مدل پیشنهادی به سادگی قادر به محاسبه زمان فرایند *GTAW* در حالت‌های مختلف می‌باشد.

۴- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت، ابزاری مهم برای ارزیابی پارامترها، تخمین پارامترها، طراحی و کنترل بهینه است. تجزیه‌وتحلیل حساسیت یک روش برای بررسی تأثیر تغییر در متغیرهای پژوهش به صورت مورد به مورد (محتمل‌ترین سناریوی نتیجه) است. تحلیل حساسیت به تجزیه‌وتحلیل روابط و یا مدلی خاص می‌پردازد و همچنین تأثیر تغییرات هر یک از پارامترها را در خروجی مدل بررسی نموده و نیز پارامترهایی که حساس‌ترند و نیاز به توجه بیشتری دارند را مشخص می‌نماید.

جدول ۳- تحلیل حساسیت مسئله - حالت دستی.
Table 3- Sensitivity analysis of the problem - manual mode.

پارامترها	+20%	+10%	.%	-10%	-20%
LOC_{ijk}	21.6	19.8	18	16.2	14.4
هزینه واقعی	1.336	1.233	1.130	1.0284	0.9258
مقدار هدف	1.287	1.184	1.078	0.9796	0.877
AT_{ij}	0.024	0.022	0.02	0.018	0.016
هزینه واقعی	1.140	1.135	1.130	1.126	1.121
مقدار هدف	1.082	1.080	1.078	1.075	1.073

جدول۴- تحلیل حساسیت مسئله - حالت اتوماتیک.
Table 4- Problem sensitivity analysis - automatic mode.

پارامترها	+20%	+10%	0%	-10%	-20%
AT_{ij}	0.015	0.014	0.013	0.011	0.010
هزینه واقعی	0.5020	0.4986	0.4471	0.4895	0.4864
مقدار هدف	0.4525	0.4498	0.4471	0.4418	0.4391

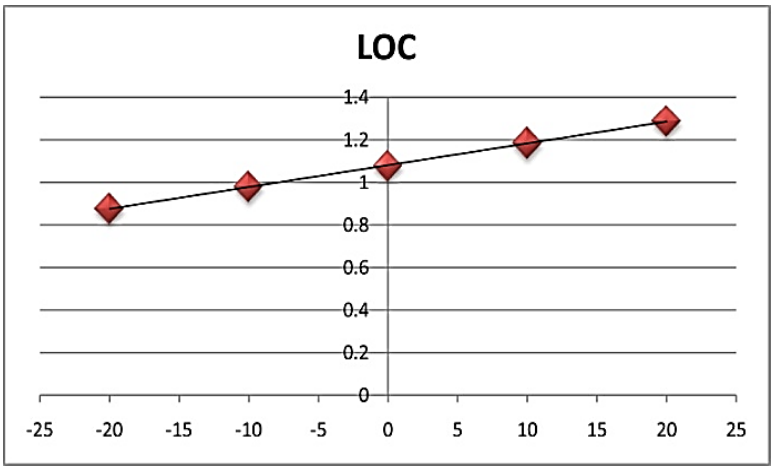
بیشترین بخش هزینه جوشکاری را نیروی کار و هزینه سربار به خود اختصاص می‌دهد. بیشترین مصرف برق در زمان قوس‌زنی است. همچنین کنترل و حذف زمان بی باری نیز در افزایش هزینه برق تأثیرگذار است که با مدیریت بهینه هزینه برق کمینه می‌شود. مصرف فلز

پرکننده در روش دستی و اتوماتیک متفاوت است. در روش اتوماتیک می‌توان دورریز سیم جوش قرقره‌ای را حداکثر زیر۵% کنترل نمود، ولی در روش دستی با استفاده از سیم جوش شاخه‌ای، درصد بالاتری از فلز پرکننده دورریز می‌شود. با تنظیم دبی گاز محافظ در محدوده قابل‌قبول، هزینه گاز محافظ نیز در سطح بهینه کنترل می‌شود.

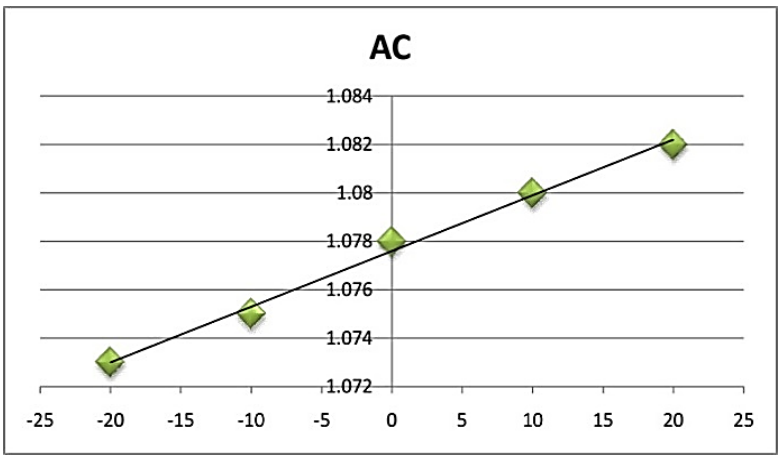
ازاین‌رو در تحلیل حساسیت، تأثیر تغییرات در پارامترهای مختلف «هزینه دستمزد اپراتور، زمان قوس در جوشکاری» در میزان هزینه به صورت دستی بررسی شده است. درواقع هدف بررسی حساسیت تابع هدف نسبت به تغییر پارامترها بر اساس شرایط حاکم عدم قطعیت در دنیای واقعی و تعیین سیاست‌های بهینه مدیریتی است. بدین منظور مقادیر پارامترها در بازه‌های ۲۰%- الی ۲۰%+ تغییر می‌نماید و مقادیر به دست آمده در **جداول ۳، ۴** مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین روند تغییرات روند تغییر تابع هدف به ازای تغییرات پارامترها در **شکل‌های ۴، ۵، ۶** نشان داده شده است. در تحلیل مذکور باید در نظر داشت:

- *نتایج زمانی معتبر هستند که شرایط مدل‌سازی با شرایط فرایند منطبق باشد.*
- *تغییر در یک پارامتر موجب تغییر در موارد دیگر نیز می‌شود. وقتی پارامترهای مختلف هم‌زمان دچار تغییر شوند، تأثیر آن‌ها قابل تشخیص نیست و ممکن است اثر یکدیگر را تشدید و یا خنثی نمایند.*

بر اساس نتایج به دست آمده تحلیل حساسیت تغییر پارامترهای هزینه دستمزد اپراتور، زمان قوس در جوشکاری» در هزینه تأثیرگذار است. از طرفی ملاحظه می‌شود تغییرات پارامتر با تغییرات مقدار هدف همسو است. روند افزایش تابع هدف به ازای افزایش دستمزد اپراتور بسیار چشمگیر است که این اتفاق توجه بیشتری را در هنگام افزایش پارامتر دستمزد اپراتور از سوی مدیریت می‌طلبد تا با اخذ تصمیم‌گیری بهینه بتواند مقدار هدف یا هزینه کل را در سطح بهینه کنترل نماید.

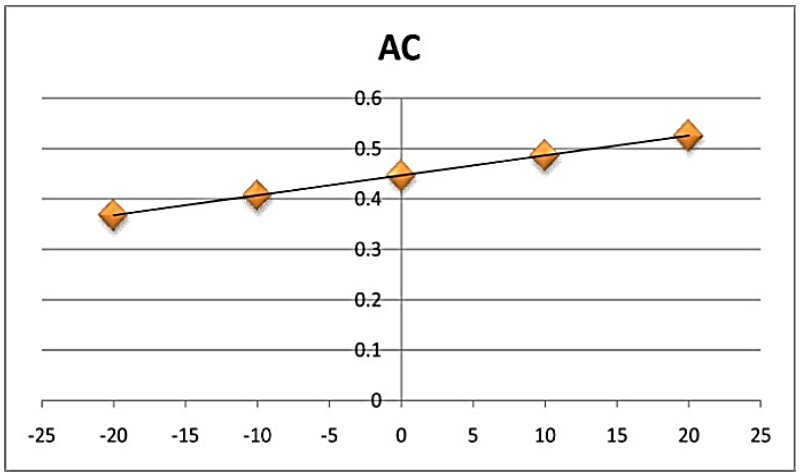


شکل ۴- تحلیل حساسیت پارامتر دستمزد اپراتور- حالت دستی.
Figure 4- Sensitivity analysis of the operator wage parameter - manual mode.



شکل ۵- تحلیل حساسیت پارامتر زمان قوس- حالت دستی.
Figure 5- Sensitivity analysis of arc time parameter - manual mode.

ادب آوازه و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹



شکل ۶- تحلیل حساسیت پارامتر زمان قوس - حالت اتوماتیک.

Figure 6- Sensitivity analysis of the arc time parameter-automatic mode.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

به جهت بررسی و مطالعه در شرایط امروزی، بی‌تردید لازمه بقای بنگاه‌ها مجهز شدن به سیستم‌های مدیریت استراتژیک هزینه و تولید محصولات با قیمت‌های قابل رقابت و پاسخ‌گویی سریع به فرصت‌ها است. هزینه بالای جوشکاری *GTAW* در صنایع موجب شده است تا راه‌کارهای کمینه‌سازی هزینه جوشکاری *GTAW* برای مدیران حائز اهمیت شود. مدلی که در این پژوهش ارائه شده است، به‌منظور کاهش هزینه جوشکاری*GTAW* پیشنهاد می‌شود. پژوهش‌های صورت گرفته متمرکز بر ارائه مدل مدیریت استراتژیک هزینه و یا مدل مفهومی بوده و مدل جامعی برای کمینه‌سازی فرایندهای جوشکاری ارائه ننموده‌اند. پژوهش حاضر، به‌منظور افزایش کارایی فرایند یک مدل ریاضی را برای توصیف هزینه‌های ناشی از این فرایند پیشنهاد نموده است. با استفاده از داده‌های واقعی موسسه *NavyBMR*، مدل پیشنهادی حل شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل پیشنهادی به‌طور قابل اطمینانی قادر به محاسبه هزینه فرایند *GTAW* می‌باشد. امروزه اهمیت صنعت جوش به‌عنوان یک صنعت زیربنایی و از طرفی محیط جهانی کنونی، ایجاب می‌نماید که صنایع فعالیت‌های خود را همگام با روند جهانی به انجام رسانده تا بدین ترتیب، کاهش پیچیدگی‌ها، زمان و هزینه و افزایش کیفیت موجب ارتقاء، اثربخشی و کارایی خود شوند. اطمینان از امر کیفیت در جوشکاری به‌عنوان یک فرایند خاص، نیازمند کفایت کیفیت در بخش‌های مختلف درگیر در فرایند می‌باشد. استقرار نظام کیفی *EN729/ISO3834* به‌عنوان زیربنای مدیریت در ارتقاء کیفیت در صنعت جوش توصیه می‌شود. استاندارد *ISO* 3834 تأکید بر پیشگیری از نقص در فرایند جوشکاری و در نتیجه کاهش هزینه‌ها و زمان اجرا دارد.

منابع

Al-Naser, K. H. Y., & Mohamed, R. (2017). The integration between strategic cost management techniques to improve the performance of Iraqi manufacturing companies. *Asian journal of finance & accounting*, *9*(1), 210-223. https://repo.uum.edu.my/id/eprint/22409/

Bandarian, R. (2019). Benchmarking of COCOMO to estimating size, time and cost of engineering projects for tender pricing. *Journal of decisions and operations research*, *4*(1), 54-73. (**In Persian**). http://www.journal-dmor.ir/article_84308.html?lang=en

Chayoukhi, S., Bouaziz, Z., & Zghal, A. (2008). Cost estimation of joints preparation for GMAW welding process using feature model. *Journal of materials processing technology*, *199*(1-3), 402-411. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.024

Chen, F. F., Xiang, J., Thomas, D. G., & Murphy, A. B. (2020). Model-based parameter optimization for arc welding process simulation. *Applied mathematical modelling*, *81*, 386-400. https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.12.014

Colosimo, B. M., Cavalli, S., & Grasso, M. (2020). A cost model for the economic evaluation of in-situ monitoring tools in metal additive manufacturing. *International journal of production economics*, *223*, 107532. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107532

Hashemi Belmiri, S., Darfshan, GH., & Wahabi Shokrloo, A. (2015). Strategic cost management: concept, process objectives and tools. *Monthly of management and accounting research*, *2*(15), 92-109. (**In Persian**). https://civilica.com/doc/948626/

Henri, J. F., Boiral, O., & Roy, M. J. (2016). Strategic cost management and performance: the case of environmental costs. *The British accounting review*, *48*(2), 269-282. https://doi.org/10.1016/j.bar.2015.01.001

Hosseini Kolvarzi, A. (2017). Strategic cost management in welding activities. *2nd national conference on economics, management and accounting* (pp.1-15), Ahvaz, Iran (**In Persian**). https://elmnet.ir

Hsu, S. H., & Qu, S. Q. (2012). Strategic cost management and institutional changes in hospitals. *European accounting review*, *21*(3), 499-531. https://doi.org/10.1080/09638180.2012.658152

Karami Khorramabadi, M., Yarahmadi, M., & Ghiyasi, M. (2020). Cost efficiency evaluation via data envelopment analysis approach for undesirable outputs based on the weak disposability axiom (case study: 56 electricity producing thermal power plants in Iran). *Journal of operational research and its applications*, *16*(4), 109-131. (**In Persian**). https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=498461

Karimi, Z. (2014). New approaches in strategic cost management. *Exchange magazine*, *116*, 93-105. (**In Persian**). https://www.magiran.com/paper/1327595

Kaviani, M., & Fakhrehosseini, S. F. (2018). Application of operations research techniques in financial research. *Journal of decisions and operations research*, *3*(2), 164-177. (**In Persian**). http://www.journal-dmor.ir/article_67216_en.html

Khurana, A., & Adlakha, V. (2015). On multi-index fixed charge bi-criterion transportation problem. *Opsearch*, *52*(4), 733-745. https://doi.org/10.1007/s12597-015-0212-y

Kim, J., Kang, C., & Hwang, I. (2012). A practical approach to project scheduling: considering the potential quality loss cost in the time–cost tradeoff problem. *International journal of project management*, *30*(2), 264-272. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.05.004

Labbafi, M., Darabi, R., & Sarraf, F. (2021). Modeling of asset-liability management in Bank Melli Iran under uncertainty: fractional programming model approach. *Journal of decisions and operations research*, *5*(4), 446-461. (**In Persian**). http://www.journal-dmor.ir/article_121696.html?lang=en

Mansourkhaki, A., Moosavi, S., & Rezaee-Arjrodi, A. (2017). Calculation of functional costs reduction in economic evaluation of roads rehalibitation (case study: Fasa-Zahedshahr Main Road). *Amirkabir journal of civil engineering*, *49*(1), 165-174. (**In Persian**). https://ceej.aut.ac.ir/article_573.html?lang=en

Matroud, F., & Tohidi, G. (2016). The proposed cost and profit models in presence of flexible measures. *Journal of new researches in mathematics*, *2*(7), 43-50. (**In Persian**). https://jnrm.srbiau.ac.ir/article_9783_1688.html

Matz, A. (2006). *Industrial accountant (planning and control).* Audit Organization Publications. (**In Persian**). https://www.gisoom.com

Meyer, W. L., & Shaffer, L. R. (1963). *Extensions of the critical path method through the application of integer programming* (Vol. 2). Department of Civil Engineering, University of Illinois.

Mohammadi, J., & Mohammadi, E. (2016). Savings with a cost management approach in the bank. *The third international conference on new research in management, economics and humanities, Batumi – Georgia*. (pp. 15-30). (In Persian). https://www.sid.ir/fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=61044

Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., & Adamowski, J. (2015). A novel multi criteria decision making model for optimizing time–cost–quality trade-off problems in construction projects. *Expert systems with applications*, *42*(6), 3089-3104. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.032

Monteiro, D. B., Moreira, J. M. L., & Maiorino, J. R. (2019). A new management tool and mathematical model for decommissioning cost estimation of multiple reactors site. *Progress in nuclear energy*, *114*, 61-83. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.03.004

Norouzi, G., Heydari, M., Noori, S., & Bagherpour, M. (2014). Developing of new mathematic approaches based on fuzzy Delphi and ahp methods to estimate projects activities duration & cost in R&D organizations. *Journal of operational research and its applications (journal of applied mathematics)*, *11*(2), 51-74. (**In Persian**). https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=400942

Osmani, M. GH. (2002). *Identification of capital cost model and factors affecting it* (Master thesis, Allameh Tabatabaei University). Retrieved from https://www.sid.ir/FileServer/JF/4026013925001.pdf

Razavyan, Sh. (2016). Centralized resource allocation with minimal cost and maximal profit and revenue in the presence of variable and uncertain prices in DEA. *Journal of operational research and its applications*, *12*(4), 117-136. (**In Persian**). https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=269986

Saif, A., Abbas, S., & Fayed, Z. (2015). The PDBO algorithm for discrete time, cost and quality trade-off in software projects with expressing quality by defects. *Procedia computer science*, *65*, 930-939. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.065

Salari, M., Bagherpour, M., Taghizadeh, K., & Monem, H. (2013). Incorporation of fuzzy sets and earned value management into a cost-time trade-off model. *Production and operations management*, *4*(2), 23-40. (**In Persian**). https://jpom.ui.ac.ir/article_19798.html

Shabahang, R. (2007). *Management accounting.* Audit Organization Publications. (**In Persian**). https://www.gisoom.com

Shahriari, M. (2015). Solving redundancy allocation problem with repairable components using Genetic algorithm and simulation method. *Journal of new researches in mathematics*, *1*(3), 91-102. (**In Persian**). https://jnrm.srbiau.ac.ir/article_8712.html?lang=en

Shirazi, N., Seyyed Esfahani, M., & Soleimani, H. (2015). Modeling and solving a three-stage fixed charge transportation problem considering stochastic demand and price. *Journal of industrial engineering and management studies*, *2*(1), 27-40. http://jiems.icms.ac.ir/article_11726_0.html

Shoul, A., & Keshavarz, E. (2018). Modelling and solving the project time-cost-quality trade off problem on condition of the dependence of quality on time and cost. *Industrial management studies*, *16*(50), 125-157. . (**In Persian**). https://jims.atu.ac.ir/article_9109.html?lang=en

Talbot, F. B. (1982). Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: the nonpreemptive case. *Management science*, *28*(10), 1197-1210. https://doi.org/10.1287/mnsc.28.10.1197

Tavana, M., Abtahi, A. R., & Khalili-Damghani, K. (2014). A new multi-objective multi-mode model for solving preemptive time–cost–quality trade-off project scheduling problems. *Expert systems with applications*, *41*(4), 1830-1846. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.081

ادب آوازه و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۲، تابستان، صفحه: ۳۵۴-۳۹۹