مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیست و یکم، شماره چهارم (پیاپی ۸۳)،زمستان ۰۳، ص ص ۱۰۰-۸۵
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مدل ریاضی بهینه‌سازی جابجایی پشته تختال با درنظر گرفتن ظرفیت انبار تختال با استفاده از خوشه‌بندی فازی (مطالعه موردی: انبار تختال شرکت فولاد مبارکه اصفهان)

روشنک متفکرفرد[۱]، هادی شیرویه زاد[۲]*، جاوید جوزدانی[۳]
۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
۲-دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی گلپایگان ، گلپایگان ، ایران

رسید مقاله: ۸ تیر۱۴۰۳
پذیرش مقاله: ۲۷ آبان ۱۴۰۳

چکیده
با درنظر گرفتن روند رو به رشد مصرف و تقاضای تختال فولادی برای نورد گرم و تبدیل آن به کلاف و فروش در کشور و بازار جهانی، بهینه‌سازی جابجایی و ظرفیت انبار پشته تختال متناسب با توسعه بازار ضروری به نظر می‌رسد و یکی از عوامل مهم در سودآوری شرکت های فولادی می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش آن است که چگونه می‌توان در مرحله اول با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی تختال ها را دسته‌بندی کرد و سپس در مرحله دوم با مدل ریاضی بهینه‌سازی عدد صحیح، جابجایی تختال ها در انبار را با توجه به ظرفیت محدود انبار کمینه کرد. یافته‌های عمده حاکی از آن است که برای بهینه کردن بارکاری جرثقیل انبار تختال، ابتدا دو شاخص از تختال‌ها و ۴ خانواده تختال بررسی شوند. برای این کار جرثقیل ۴ آیتم نورد (تختال) را به ترتیب از نواحی ۳، ۳، ۲ و ۱ و ستون‌های ۱۳، ۱۲، ۲۰ و ۲ انبار تختال برگزیده است. سپس با گسترش تعداد تختال ها در انبار تحلیل دیگری بحث شده است. همچنین، مقادیر بهینه به‌دست آمده برای متغیرهای تصمیم برای برنامه‌های توسعه انبار به مدیران انبار پیشنهاد شدند.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، جابجایی پشته تختال، انبار تختال، برنامه‌ریزی ریاضی، خوشه‌بندی فازی، مجتمع فولاد مبارکه.

۱ مقدمه
انبار تختال یک بافر ذخیره‌سازی بین دو مرحله تولید در صنایع فولاد سازی است. این انبار، تختال ها را از بخش ریخته‌گری پیوسته دریافت می‌کند و سپس طبق برنامه نورد گرم تختال های مورد نیاز را به آن ارسال می‌کند[۱].

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Hadi.shirouyehzad@gmail.com

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

این تختال‌ها به وسیله نوار نقاله‌های غلطکی به انبار حمل می‌شوند و نیاز است که در زمان مشخص بر روی خط شارژ قرار گیرند و برای نورد گرم آماده شوند[۲].

در صنایع فولاد، هنگامی که برنامه نورد گرم منتشر می‌گردد، معمولا برای تولید هر آیتم نورد، چندین تختال کاندیدا با شرایط یکسان از نظر ابعاد و کیفیت در انبار موجود است که برای انتخاب شدن با هم رقابت می‌کنند. این تختال‌های کاندیدا در پشته‌های موجود در سراسر انبار پراکنده شده‌اند. عملیات پیدا کردن تختال مناسب برای هر آیتم نورد، جابجایی تختال های روی آن، برداشتن تختال موردنظر، بازگرداندن تختال‌های مسدودکننده به پشته اصلی و انتقال تختال به خط شارژ، عملیاتی زمان بر است. این عملیات برای هریک از آیتم های نورد باید تکرار شود. از سوی دیگر هنگامی که عملیات نورد گرم شروع می‌شود به صورت پیوسته و بدون توقف ادامه می‌یابد و به همین دلیل تختال مناسب برای هر آیتم نورد باید در اسرع وقت حاضر باشد تا در زمان مناسب روی خط شارژ قرار گیرد و به بخش نورد گرم ارسال شود. لازم است قبل از شروع فرآیند ارسال تختال ها به نورد گرم، تختال‌های مناسب برای هر آیتم نورد از پشته ذخیره‌سازی خود خارج شده باشند. پشته ذخیره‌سازی تختال‌ها و موقعیتشان در هر پشته، با هم تفاوت دارد و برای دسترسی به تختال موردنظر هر پشته باید تختال‌های رویی آن جابه‌جا شوند تا بتوان به تختال موردنظر دسترسی یافت [۳]. بنابراین لازم است بر روی تسهیل در عملیات پیدا کردن تختال مناسب برای هر آیتم نورد و جابجایی تختال های روی هر پشته برای دستیابی به تختال موردنظر در صورت محدودیت ظرفیت انبار تمهیداتی صورت پذیرد.

پرسش اصلی در این پژوهش این است که چگونه می‌توان مدلی ارایه کرد که در مرحله اول با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی تختال‌ها را دسته‌بندی کند و سپس در مرحله دوم با مدل ریاضی بهینه‌سازی عدد صحیح، جابجایی تختال‌ها در انبار را با توجه به ظرفیت محدود انبار کمینه کند.

هر دستور در قسمت برنامه‌ریزی شامل انتخاب تختال، مکان تختال جابه‌جاشونده، مقصد تختال و اهمیت دستور در زمان بندی نهایی می‌باشد که این هزینه بر است و اگر به درستی انجام نشود صدمات جانی و مالی به دنبال خواهد داشت [۴]. بنابراین انتخاب دلخواه تختال مورد نظر از بین تختال‌های موجود در انبار نیز می‌تواند یکی از دلایل برنامه‌ریزی با تاخیر، هزینه بالای انتقال تختال ها، صدمات مالی ناشی از آسیب‌دیدگی تختال‌ها و هزینه‌های نیروی انسانی در حین جابجایی شود و این بر هزینه کل تولید اثرگذار است. از طرفی ممکن است انبار برای جابجایی تختال‌های مسدودکننده به پشته‌های دیگر فضای اضافی نداشته باشد. لذا کمینه کردن تعداد جابجایی‌ها و مسافت طی‌شده توسط جرثقیل‌ها با در نظر گرفتن فضای محدود انبار اهمیت زیادی دارد[۵].

در این مقاله انتخاب تختال مورد نظر با استفاده از طبقه‌بندی تختال‌ها بر اساس سختی (کیفیت)، عرض، وزن و طول آن‌ها صورت می‌گیرد که به هر طبقه‌بندی یک خانواده تختال گفته می‌شود. این طبقه‌بندی برای کلیه تختال‌ها عملیاتی زمان بر است. لذا برای حل این مشکل روش پیشنهادی طبقه‌بندی در این مقاله روش خوشه بندی فازی(FCM[1]) است. زیرا:

[1] Fuzzy Clustering Means

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

- با توجه به سفارش هر آیتم نورد از بین تختال‌های خوشه‌بندی‌شده با ویژگی‌های مورد نظر، تختال مناسب هر آیتم نورد انتخاب‌شده و برای نورد فرستاده می‌شود.
- همچنین ممکن است تختال انتخابی مشترک بین دو خوشه یا خانواده‌ی تختال باشد.
- مزیت دیگر این روش امکان تحلیل حساسیت روی خوشه‌ها یا خانواده‌های تختال وجود دارد.

تا کنون در روش‌های انجام‌شده جهت بهینه‌سازی جابجایی و ظرفیت انبار پشته تختال روش‌های متعددی به کار برده شده است. در این روش‌ها انتخاب تختال‌ها از هر خانواده برای هر آیتم نورد، زمان بر بوده است. همچنین دسترسی به تختال مورد نظر از بین تختال‌های مسدود در پشته‌ها نیاز به فضای اضافی داشته است. مدل ارایه شده در این مقاله یک مدل دو مرحله ای است. در مرحله اول به کمک روش FCM خانواده‌های تختال‌ها بر اساس ویژگی تختال‌ها برای هر آیتم نورد تعیین می‌شوند. در این صورت امکان طبقه‌بندی تختال‌ها و انتخاب تختال مناسب برای هر آیتم نورد سریع‌تر و دقیق‌تر انجام می‌شود. لذا فرض بر این است که پشته‌ها همگن چیده می‌شوند. مرحله دوم با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح تختال انتخابی برای هر آیتم نورد را از بین خانواده های تختال‌های به‌دست آمده از مرحله اول انتخاب می‌کند. همچنین با در نظر گرفتن فضای محدود انبار، بدون جابجایی تختال‌های مسدودکننده‌ی تختال مورد نظر به پشته‌های خالی کنار آن، تختال انتخابی برای هر آیتم نورد از بالاترین تختال پشته‌ها برگزیده می‌شود. به عبارت دیگر تختال‌ها با ویژگی‌های مشترک جایگزین تختال‌هایی می‌شوند که دسترسی به آن‌ها سخت‌تر است. بنابراین با حداقل جابجایی به عملیات بهینه‌سازی جرثقیل سقفی جهت بهبود جابجایی تختال‌ها نیز کمک می‌شود. از آنجایی‌که اکنون شرکت فولاد مبارکه اصفهان یکی از بزرگ‌ترین واحدهای صنعتی و بزرگ‌ترین مجتمع تولید فولاد در ایران است، انبار تختال این مجتمع به عنوان محل انجام پژوهش انتخاب می‌شود.

در این مقاله، در قسمت دوم پیشینه پژوهش و کارهای انجام‌شده مشابه با این مقاله بیان می‌شود. در قسمت سوم و چهارم به معرفی مساله جابجایی پشته تختال و مدل خوشه‌بندی فازی پرداخته می‌شود. در قسمت پنجم روش‌شناسی پژوهش، مفروضات مدل و مراحل اجرایی پژوهش و نحوه تجزیه و تحلیل داده‌ها بحث می‌شود. در قسمت ششم مدل بهینه‌سازی مساله جابجایی پشته تختال و در قسمت هفتم با مطالعه موردی در شرکت فولاد مبارکه اصفهان، ابتدا به وضع موجود انبار تختال نورد گرم فولاد مبارکه پرداخته و با توجه به وضعیت فعلی انبار و با اطلاعات مربوط به انبار تختال در ادامه به فرآیند حل مساله به کمک روش دو مرحله ای FCM و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح پرداخته و بحث می‌شود. سپس وضعیت پیشنهادی جدید ارایه و نتایج حاصل از آن بیان می‌گردد و سرانجام در قسمت پایانی نتیجه‌گیری کلی از پژوهش ارایه می‌گردد.

۲ پیشینه پژوهش

فچتر و همکاران در سال ۲۰۱۵، برای مساله جابجایی تختال‌ها یک مساله بهینه‌سازی تختال‌ها با رعایت ترتیب تختال‌ها در قالب دو مساله خود مختار اما مرتبط به‌هم ارایه کردند. مدل آنها یک مدل غیرخطی است و همچنین

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

آنها یک روش ابتکاری جستجوی محلی متغیر برای نمونه‌های واقعی ارایه کردند و آنها با رویکرد جواب ترکیبی، جواب بهتری به‌دست آوردند و سپس نتایج حاصل از آن را با یک الگوریتم چند هدفه مقایسه نمودند [۶].

سان و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مقاله ای یک مدل ریاضی چند هدفه برای انتخاب تختال و برنامه‌ریزی کوره‌ی پیش گرم ارایه کردند. مدل آن‌ها با توجه به محدودیت‌های تولید در روند گرمایش کوره شارژ و نورد گرم توسعه‌یافته است. در این مدل علاوه بر کمینه کردن جابجایی تختال ها، کل زمان فرایند گرم کردن تختال‌ها و مدت زمان فرآیند پیش گرم کمینه شده است. برای حل این مدل از الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی کلونی مورچه با استراتژی‌های مختلف بهینه‌سازی استفاده شده است [۷].

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز مساله را به گونه‌ای درنظر گرفتند که تختال‌ها در پشته‌های مختلف در سراسر انبار قرار دارند و باید براساس اولویتشان از انبار خارج شوند. همچنین جرثقیل این امکان را دارد که تختال‌ها را به صورت دسته‌ای بلند کند و آنها را روی پشته دیگر و یا روی نوار نقاله خروجی قرار دهد. ارتفاع پشته‌ها نمی‌تواند از حد مشخصی تجاوز کند. هدف این مساله حداقل کردن تعداد حرکت‌های جرثقیل است به گونه‌ای که بتوان کل تختال‌ها را از انبار خارج کرد. یک حد پایین برای تعداد حرکات جرثقیل تعریف‌شده است. همچنین یک الگوریتم جستجوی حریصانه و چند الگوریتم جستجوی درختی نیز ارایه شده است. این الگوریتم ها براساس مثال‌های عملی و مثال های تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند [۸].

یان و تانگ در سال ۲۰۱۷، مساله زمان‌بندی جرثقیل در انبار کلاف را بررسی کردند. در این مساله ذخیره‌سازی، بازیابی و تقسیم درخواست‌ها و تعیین توالی هرکدام از درخواست‌ها و موقعیت‌هایی که کلاف‌ها منتقل می‌شوند درنظر گرفته شده است. مدل این مقاله براساس یک گراف به گونه‌ای طراحی شده است که هر گره یک مکان را در آن نشان می‌دهد. در اینجا یک مدل جریان شبکه مطرح‌شده و استراتژی‌های کاهش متغیرها برای تسریع حل مدل ارایه شده است. همچنین برای نمونه‌های بزرگ از یک مدل برنامه‌ریزی پویا مبتنی بر بهینگی استفاده شده است. سپس ساختار روش برنامه‌ریزی دینامیکی زمان حرکت جرثقیل را برآورد می‌کند. نتایج نشان داد که شبکه ظرفیت زمان پیشنهاد شده مدل جریان می‌تواند بسیار سریع‌تر از مدل زمانبندی سنتی و شبکه ظرفیت زمان استاندارد حل شود [۹].

تن و همکاران در سال ۲۰۱۷ نیز در مقاله‌ای چالش صرفه‌جویی در مصرف انرژی را در تولید نورد گرم بیان کردند و یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه مساله برنامه‌ریزی تولید نورد گرم را تحت قیمت برق فرمول بندی کردند هدف از مدل این است که هزینه‌های برق ناشی از تولید و جرایم حاصل از جهش بین اسلب‌های مجاور به حداقل برسد. برای حل مساله در مقیاس بزرگ از مدل فرا ابتکاری NSGA-II برای یافتن جواب‌های بهینه پارتو و در نهایت از روش TOPSIS برای به‌دست آوردن جواب نهایی استفاده شده است [۱۰].

تریکویر و همکاران در سال ۲۰۱۸ روش‌های ابتکاری و فراابتکاری باربرداری‌های ایمن، کاهش دنباله‌ها، جستجوی سریع ، روش خلبان و روش شاخه و کران بهبودیافته با درنظر گرفتن تکرار الگوریتم در یک حلقه،

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

برای مساله باربرداری پشته ها ارایه کردند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که زمان پردازش الگوریتم جستجوی سریع از سایر الگوریتم‌های استفاده شده کمتر است [۱۱].

تانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک مدل شبکه با سه نابرابری معتبر برای حل مساله جابجایی تختال‌ها ارایه کردند. در این مقاله پشته ها همگن و حداکثر دو تختال با یک عمل قابل جابجایی هستند. در این جا با مقدار کمی از داده‌های مشخص‌شده از رویکرد مدل، از یک تکنیک خودآموزی برای آموزش یک عملکرد برای پیش‌بینی بهترین حرکت بعدی در جابجایی استفاده می‌شود. سپس، یک الگوریتم ترکیبی جدید برای حل مشکلات عملی با ترکیب تکنیک خودآموزی، ابتکاری و الگوریتم شاخه و کران با پنج قانون تهیه شده است. نتایج تجربی اثربخشی این مدل شبکه و نابرابری‌های معتبر و عملکرد اجزای مختلف این الگوریتم را نشان می‌دهد. الگوریتم جدید در عرض چند ثانیه راه حل های با کیفیت بالا تولید می کند [۱۲].

شی و لی در سال ۲۰۲۱ روشی را برای مساله برنامه‌ریزی نورد گرم با توجه به مساله جابجایی پشته تختال مطرح کردند. مدل آن ها با این فرض بود که تختال‌های برخورده به پشته اصلی بر نمی‌گردند. آن‌ها برای این مساله الگوریتم جستجوی محله را در مقیاس بسیار بزرگ و برای حل مساله فرعی الگوریتم شاخه و کران را پیشنهاد کردند. نمونه‌های شبیه‌سازی شده در مقیاس مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم جستجوی محله برای حل کارآمد است [۱۳].

رجبی در سال ۲۰۲۲، مساله انتخاب تختال را با سه استراتژی مختلف مورد بررسی قرار داده است. استراتژی اول، استراتژی رعایت ترتیب، استراتژی دوم، استراتژی عدم رعایت ترتیب و استراتژی سوم، استراتژی رعایت ترتیب به صورت نسبی در برنامه نورد گرم برای خروج تختال‌ها از پشته‌ها بوده است. برای هر استراتژی یک مدل ریاضی صفر و یک و یک حد بالا و پایین برای مساله ارایه شده است. همچنین در استراتژی اول، مدل ریاضی به همراه اصول غلبه مطرح شده است. در این مطالعه فرض بر این بوده است که در محوطه آماده سازی فضای کافی برای چیدن تختال ها وجود داشته و ورود و خروج تختال ها به صورت هم‌زمان انجام شده است. نتایج حاصل از این سه استراتژی حاکی از آن است که این مساله به ترتیب ۲۰۰، ۱۵۰ و ۱۲۰ آیتم نورد را به صورت بهینه حل کرده است [۱۴].

برونو و همکاران در سال ۲۰۲۳ یک مدل ریاضی برای حل مساله جابجایی پشته تختال ارایه کرده‌اند که به صورت چند دوره‌ای و دو هدفه است، که در آن اولین هدف به حداقل رساندن تعداد جابجایی تختال‌ها برای کاهش هزینه کلی فرآیند بازیابی است و هدف دوم به حداقل رساندن تعداد تختال های منقضی‌شده برای کاهش هزینه‌های فرسودگی است. آزمایش‌های تازه اجرا شده در این مقاله، در مورد جنبه‌های محاسباتی نمونه‌های تولید شده به‌طور تصادفی، نشان می‌دهد که ترکیب این دو استراتژی امیدوارکننده است [۱۵].

جمع‌بندی مطالعات گذشته نشان‌دهنده ی توجه بالای پژوهشگران به مساله پشته‌سازی، جابجایی پشته تختال، برنامه‌ریزی شارژ و نورد گرم است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در اکثر این مطالعات کمینه کردن جابجایی تختال‌ها و هزینه‌های لجستیکی ناشی از حمل تختال‌ها توسط جرثقیل به طور کلی بررسی شده است. همچنین اهداف دیگری مانند کاهش زمان فرآیندهای انبار، تاخیرها، فرایند پیش گرم در کوره‌ها و جرائم، بیشتر کردن

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

فضای انبار، طول واحد نورد و چیدمان تختال‌ها بر اساس برنامه نورد گرم به تفکیک بررسی شده است. در این میان مقالاتی به طور جداگانه بحث‌شده که فقط بر پایه روش FCM است. ولی تا به حال تلفیق آن با مساله جابجایی پشته تختال انجام نشده است. لذا جای انجام مطالعاتی با تلفیق این دو موضوع و با در نظر گرفتن فضای محدود انبار همراه با اهداف و محدودیت‌های مطرح شده در مطالعات انجام شده قبلی، خالی است.

۳ مساله جابجایی پشته تختال[1]

تختال فولادی قطعه‌ای مکعب مستطیل شکل از جنس فولاد است که به طور مستقیم از مرحله ریخته‌گری پیوسته تولیدشده و برای ساخت ورق های فولادی به کار می‌رود. هر تختال از نظر عرض و کیفیت ویژگی‌های خاص خود را دارد. بنابراین هرکدام از تختال‌ها به صورت خاص و یکتا درنظر گرفته می‌شوند[۳].ذخیره‌سازی موقت تختال‌ها بر روی هم پشته‌هایی را به وجود می آورند که به آن پشته‌سازی گفته می‌شود [۱۶]. مسایل پشته‌سازی در انبار تختال شامل مسایل بارگذاری، مسایل باربرداری، مسایل مرتب‌سازی پشته ها قبل از خروج و مسایل ترکیبی است. پشته‌سازی تختال‌ها موجب کاهش دسترسی به آن‌ها می‌شود. زیرا فقط به تختالی که در بالاترین سطح قرار دارد می توان به طور مستقیم دسترسی داشت و بقیه تختال ها در زیر آن مسدود می‌شوند و برای دست یابی به هر تختال، کلیه تختال‌هایی که روی آن قرار دارند باید از روی آن برداشته شوند و به محل یا پشته دیگری انتقال یابند تا تختال مورد نظر آزاد گردد [۱۷]. انتقال تختال ها ازپشته‌ای به پشته دیگردرانبار تختال، بُرخوردن یا در اصطلاح جابجایی گفته می‌شود[۱۸].

٤ مدل خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی فرآیند خودکاری است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند که به این دسته‌ها خوشه گفته می‌شود. در خوشه‌بندی فازی یک نمونه می‌تواند متعلق به بیش از یک خوشه باشد[۱۹]. در این الگوریتم تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص شده است. تابع هدفی که برای این الگوریتم تعریف شده است به‌صورت زیر می‌باشد:

$$J = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{m} d_{ik}^{2} = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^{m} \left\| x_k - v_i \right\|^2 \qquad (1)$$

در فرمول فوق m یک عدد حقیقی بزرگ‌تر از ۱ است که در اکثر موراد برای m عدد ۲ انتخاب می‌شود. x_k نمونه k ام است و v_i نماینده یا مرکز خوشه i ام است. u_{ik} میزان تعلق نمونه i ام در خوشه k ام را نشان می‌دهد. علامت ||*|| میزان تشابه (فاصله) نمونه با (از) مرکز خوشه می‌باشد که می توان از هر تابعی که بیانگر تشابه نمونه و مرکز خوشه باشد را استفاده کرد. از روی u_{ik} می توان یک ماتریس U تعریف کرد که دارای c سطر و n ستون می‌باشد و مولفه‌های آن هر مقداری بین ۰ تا ۱ را می‌توانند اختیار کنند. اگر تمامی مولفه‌های ماتریس U

[1] Slab Stack Shuffling(SSS)

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

به‌صورت ۰ و یا ۱ باشند الگوریتم مشابه c میانگین کلاسیک خواهد بود. با این‌که مولفه‌های ماتریس U می‌توانند هر مقداری بین ۰ تا ۱ را اختیار کنند اما مجموع مولفه های هر یک از ستون‌ها باید برابر ۱ باشد و داریم:

$$\sum_{i=1}^{c} u_{ik} = 1, \forall k = 1, \ldots, n \qquad (2)$$

معنای این شرط این است که مجموع تعلق هر نمونه به c خوشه باید برابر ۱ باشد. با استفاده از شرط فوق و مینیمم کردن تابع هدف خواهیم داشت:

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{c} \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}} \right)^{2/(m-1)}} \qquad (3) \qquad , \qquad v_i = \frac{\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^{n} u_{ik}^m} \qquad (4)$$

مراحل الگوریتم:

a) مقداردهی اولیه برای c، m و U^0. خوشه‌های اولیه حدس زده شوند.

b) مراکز خوشه‌ها محاسبه شوند (محاسبه v_i ها).

c) محاسبه ماتریس تعلق از روی خوشه‌های محاسبه‌شده در ۲.

d) اگر $\|U_{i+1} - U_i\| \leq \varepsilon$ الگوریتم خاتمه می‌یابد و در غیراین‌صورت به مرحله b برو[۲۰].

۵ روش‌شناسی پژوهش

بر اساس ادبیات تحقیق، چنانچه در مقدمه و مبانی نظری گفته شد، مدلی که در این مقاله استفاده می‌شود، برگرفته از مدل تانگ و رن در سال ۲۰۱۰ می باشد [۲]. آنها مساله جابجایی پشته تختال را بر اساس یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح ارایه کردند. در مدل آن‌ها راهکاری برای طبقه‌بندی اولیه‌ی تختال‌ها بیان نشده است. همچنین ممکن است انبار ظرفیت لازم برای ایجاد پشته جدید را نداشته باشد. لذا در این مقاله سعی بر این است روشی ارایه شود که هم طبقه‌بندی سریع‌تر و دقیق‌تری صورت گیرد و هم بارکاری جرثقیل و جابجایی تختال‌ها با توجه به ظرفیت کم انبار کمینه شود.

روش پژوهش توصیفی-تحلیلی است و به این صورت است که در گام اول به روش جمع‌آوری داده‌ها و بررسی تایید روایی آن ها پرداخته می‌شود. سپس با ارایه مدل خوشه‌بندی فازی برای انتخاب تختال مناسب در مدل بهینه‌سازی مساله جابجایی پشته تختال و با ذکر جامعه آماری پژوهش، بر روی داده‌ها تحلیل صورت می‌گیرد و نتیجه‌گیری حاصل می‌شود. انبار تختال فولاد مبارکه اصفهان نیز محل اجرای پژوهش انتخاب می‌شود.

این مقاله فرض بر این داشته که تختال‌ها از ابتدا در انبار طبقه‌بندی‌نشده و پشته‌ها همگن چیده شده‌اند. از آنجایی که انتخاب تختال از بین تختال‌های کاندید برای هر آیتم نورد کار سخت و زمان‌بری است، ابتدا تختال ها با توجه به شاخص‌های عرض، کیفیت، وزن و طول خوشه‌بندی یا طبقه‌بندی می‌شوند. برای خوشه‌بندی بهتر لازم است شاخص‌ها وزن‌دهی شوند تا خوشه‌بندی بر اساس شاخص‌های با اولویت بالا انجام شود. به این منظور

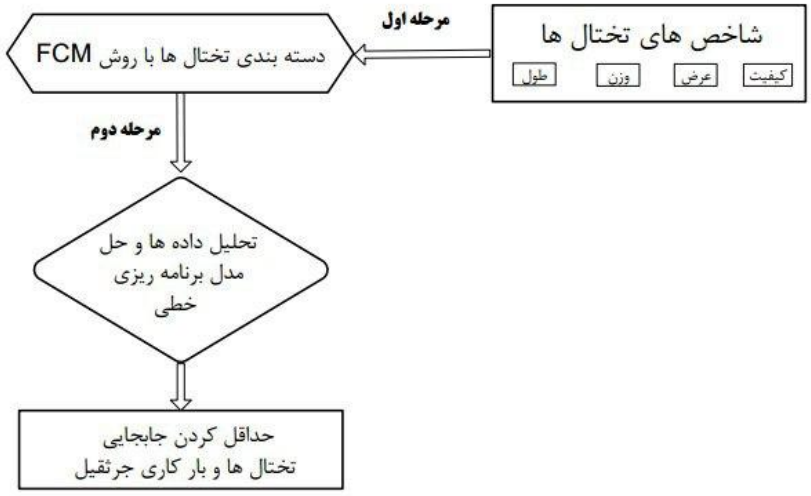
[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

پرسشنامه مقایسات زوجی طراحی و برای تایید روایی آن در اختیار چند نفر از خبرگان بخش انبار تختال صنعت فولاد قرار گرفته تا از نظرات این متخصصان استفاده شود. برای تایید روایی صوری، از جامعه اصلی استفاده شده و یک نمونه پنج نفره آن‌را تایید نموده‌اند. سپس هر خوشه یک خانواده از تختال‌ها را تشکیل می‌دهد. همچنین با توجه به این‌که در برخی از خانواده‌ها، تختال با ویژگی‌های مشترک وجود دارد از روش خوشه‌بندی فازی استفاده شده است. تفاوت مدل مورد بررسی در این پژوهش با مدل تانگ و رن ۲۰۱۰ در این است که پشته‌ای برای جابجایی تختال های مسدودکننده در نزدیکی پشته حاوی تختال منتخب عملیات نورد وجود ندارد و عملا این جابجایی از مدل حذف می‌شود و به یک مدل خطی ساده تبدیل می‌شود. با این کار باعث می‌شود محدودیت مکانی تختال ها در انبار در نظر گرفته شود، یعنی فضای خالی برای جابجایی تختال ها و دسترسی به تختال مورد نظر در آن پشته وجود ندارد. بنابراین تختال‌ها با ویژگی های مشترک را یکسان در نظر می گیرد. با حل این مدل، توسط جرثقیل بالاترین تختال روی پشته مورد نظر، از یک خانواده تختال با ویژگی های مشترک انتخاب و برای هر آیتم نورد فرستاده می‌شود و بر روی داده ها تحلیل صورت می گیرد.

نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش، EXCEL برای جمع‌آوری داده‌ها، MATLAB برای خوشه‌بندی تختال‌ها و در نهایت GAMS برای حل مدل بهینه‌سازی است.

الگوی مفهومی پیشنهادی پژوهش مطابق با شکل ۱ می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود الگوی تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای است که در آن مرحله ۱، روش خوشه‌بندی فازی و مرحله ۲، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح است که در قسمت بعد توضیح داده شده است.



شکل ۱. الگوی مفهومی پژوهش

روش اجرای پژوهش به صورت زیر است:

گام اول- روش جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش به صورت مشاهده و مصاحبه‌ای است و از نظر ماهیت داده‌ها کمی می‌باشد. به منظور جمع‌آوری داده ها برای حل مدل دو مرحله‌ای ابتدا در مرحله‌ی اول لازم است، شاخص هایی از تختال‌ها که از نظر مسئولین و خبرگان بخش انبار تختال در دسته‌بندی تختال‌ها جهت کیفیت

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

جابجایی تختال‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای ورود به نورد گرم اثرگذار است تعیین و وزن‌دهی شوند، در این میان وزن‌های کم اهمیت در دسته‌بندی کنار گذاشته می‌شوند. سپس داده های مربوط به شاخص‌های هر تختال جمع‌آوری می‌شود. در مرحله ی دوم داده‌های موردنیاز برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح تعیین می‌گردد.

گام دوم–حل مدل در مرحله‌ی اول که با توجه به داده‌ها با روش FCM تختال‌ها دسته‌بندی می‌شوند.

گام سوم– حل مدل در مرحله‌ی دوم که با وجود تختال‌های دسته‌بندی شده (خروجی FCM) به عنوان خوشه‌ها برای انتخاب تختال ها به نورد و در نظر گرفتن محدودیت‌ها در مساله و داده‌های مورد نیاز دیگر با حل مدل بهینه‌سازی (مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح)، مدل تحلیل‌شده و بار کاری جرثقیل‌ها برای جابجایی تختال‌ها کمینه می‌شود.

٦ مدل بهینه‌سازی مساله جابجایی پشته تختال

مدل بهینه‌سازی مساله جابجایی پشته تختال در انبار بر اساس مدل [۲]، به‌صورت مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح به همراه تعریف پارامترها و متغیرهای مساله بیان می‌شود. در این مدل فرض بر این است که خط وسط انبار نوار نقاله‌ای است، که سه ناحیه انبار را قطع کرده و ستون های وسط C_0 را درگیر می‌کند. همچنین خانواده‌ی تختال‌ها با مدل خوشه‌بندی فازی (FCM) به‌دست می‌آیند:

پارامترهای مدل:

i: شماره آیتم نورد (تختال نورد)

j: شماره تختال انبار

m: تعداد نوردها

S_i : خانواده ی تختال مناسب به‌دست آمده از روش FCM، برای i امین قلم(i امین تختال) نورد که از نظر عرض، سختی و ضخامت شباهت دارند، به‌طوری‌که $(S_i \cap S_j \neq \varnothing)$

S: اجتماع S_i ها $(S = \bigcup_{i=1}^{M} S_i)$

$\overline{T}_i$: زمان تعیین‌شده برای اتمام i امین نورد

A_j : شماره‌ی ناحیه حاوی تختال j (انبار تختال شامل ۳ ناحیه است)

W_{ij} : بار کاری جرثقیل برای جابجایی تختال j برای i امین آیتم نورد برابر است با:

$$W_{ij} = 2t_c(C_j - C_0) + t_0 \qquad i = 1,...,M, \quad j \in S_i$$

که در آن:

C_j : شماره‌ی ستون پشته‌ها در انبار حاوی تختال j

C_0 : شماره‌ی ستون وسط پشته‌ها در انبار حاوی تختال

t_c : زمان بار کاری جرثقیل در حرکت ستونی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

t_0 : زمان گذاشت و برداشت تختال توسط جرثقیل

متغیرهای مدل:

X_{ij} : اگر تختال j برای i امین آیتم نورد انتخاب شود $X_{ij}=۱$

در غیر این‌صورت $X_{ij}=۰$ $j\in S_i$ $i=۱,...,M$,

y_i : شماره ی ناحیه تختال انتخابی برای i امین آیتم نورد $(i=۱,...,M)$

مدل:

$$\min \quad f(x)=\sum_{i=۱}^{M}\sum_{j\in S_i} W_{ij}\,X_{ij} \qquad (۱)$$

$$s.t. \quad \sum_{j\in S_i} X_{ij}=۱ \quad i=۱,...,M \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=۱}^{M} X_{ij}\le ۱ \qquad \forall j\in S_i \qquad (۳)$$

$$y_i=\sum_{j\in S_i} A_j X_{ij} \qquad i=۱,...,M \qquad (۴)$$

$$\sum_{i'=۱}^{i}\sum_{\substack{j\in S_{i'},\\ A_j=y_j}} W_{i'j}X_{i'j}\le \bar{T}_i \qquad i=۱,...,M \qquad (۵)$$

$$X_{ij}\in\{۰,۱\}, \qquad i=۱,...,M, \quad j\in S$$

مطابق مدل بالا تابع هدف(معادله (۱)) بار کاری جرثقیل‌ها را برای جابجایی تختال j برای i امین آیتم نورد کمینه می‌کند. (تختال jاز خانواده ی تختال های مناسب i امین آیتم نورد (S_i) که با روش FCM به دست آمده انتخاب می شود.) محدودیت ها به ترتیب معادله (۲)، تضمین می‌کند که دقیقا یک تختال از خانواده مناسب برای i امین تختال نورد اختصاص می‌یابد. معادله (۳)، تضمین می‌کند که تختال‌های همه آیتم‌های نورد با هم متفاوتند. معادله (۴)، شماره ناحیه تختال انتخابی از انبار برای جابجایی تختال j برای i امین آیتم نورد را نشان می‌دهد و معادله (۵)، حد اکثر مدت زمان تعیین‌شده عملیات جرثقیل از ابتدای نورد برای جابجایی تختال j برای i امین آیتم نورد را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در تمام محدودیت‌ها هر تختال jاز خانواده ی تختال S_i که با روش FCM دسته‌بندی شده‌اند، انتخاب می‌شود.

۷ یافته‌ها و بحث

در این بخش، ابتدا یک مثال عددی برای ارایه نمای کلی از عملکرد مدل و اعتبارسنجی مدل حل می‌شود. سپس شرکت فولاد مبارکه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و نتایج ارایه و مورد بحث قرار می‌گیرد. به منظور تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های تختال‌ها برای تشکیل خانواده‌های تختال، با استفاده از پرسشنامه فوق، ویژگی‌ها وزن‌دهی می‌شوند. فاکتورهای وزنی مطابق جدول ۱ به دست آمده است که بر اساس آن دو ویژگی مهم‌تر عرض و کیفیت در تشکیل خانواده‌های تختال در مثال عددی و مطالعه موردی در نظر گرفته شده است:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

جدول ۱. وزن شاخص‌های تختال

شاخص	عرض	کیفیت	طول
وزن	**۰/۳۷٤۰۳۱**	**۰/۲۱۵۹٤۷**	**۰/۰۳۵۹۹۱**

۷-۱ مثال عددی

برای حل مساله جابجایی پشته تختال فرض بر این است که انبار ۸ ستون و ۲۰ تختال دارد. خط وسط انبار نوار نقاله‌ای است، که سه ناحیه انبار را قطع کرده و ستون وسط ($C_{.}=۴$) را درگیر می‌کند. تختال انتخابی برای هر آیتم نورد از بین تختال‌های کاندیدا از روی پشته‌ها توسط جرثقیل سقفی به نوار نقاله فرستاده شده و سپس از انبار برای نورد خارج می‌گردد. جدول ۲ داده‌های عرض و کیفیت تختال ها را نشان می‌دهد:

جدول ۲. داده‌های شاخص تختال‌ها

کیفیت	عرض	تختال
۷	۲	۱۱
۶	۴	۱۲
۴	۲	۱۳
۳	۲	۱۴
۳	۲	۱۵
۶	۳	۱۶
۵	۵	۱۷
۳	۲	۱۸
۴	۳	۱۹
۵	۴	۲۰

کیفیت	عرض	تختال
۷	۲	۱
۶	۲	۲
۷	۴	۳
۷	۲	۴
۵	۲	۵
۴	۲	۶
۴	۵	۷
۶	۳	۸
۷	۴	۹
۳	۵	۱۰

مرحله‌ی اول- در این مرحله با فرآیند حل مساله به کمک روش FCM در MATLAB با دقت $C=۰/۱$ ، تختال ها به تعداد آیتم های نورد یعنی تعداد خوشه یا دسته‌ها ($i=۴$) با دو شاخص عرض و کیفیت دسته‌بندی شده اند. نتایج مدل تحت یک ماتریس ۰و۱ ارایه می‌شود. جدول ۳ نتایج این دسته‌بندی را برای هر آیتم نورد نشان می‌دهد:

جدول ۳. نتایج خوشه‌بندی

شماره خوشه(آیتم نوردi)	S_i (خانواده تختال آیتم نورد i)
۱	۵-۶-۱۳-۱۴-۱۵-۱۸-۱۹-۲۰
۲	۲-۳-۵-۸-۹-۱۲-۱۶-۱۷-۱۹-۲۰
۳	۱-۲-۳-۴-۵-۸-۹-۱۱-۱۶-۲۰
۴	۷-۱۰-۱۷-۱۹-۲۰

با توجه به جدول ۳ هر دسته S_i یا خانواده تختال نورد i، با شماره‌ی تختال‌ها نشان داده می‌شود که با توجه به ویژگی FCM بعضی تختال‌ها در دسته‌بندی‌ها مشترک هستند و این مزیت اصلی این پژوهش در استفاده از مدل بهینه‌سازی مساله جابجایی پشته تختال است.

مرحله ی دوم-در این مرحله با توجه به خروجی به‌دست آمده از مرحله ی اول برای هر آیتم نورد یک تختال از هر خانواده تختال‌ها با ویژگی‌های مشترک انتخاب می شود و برای حل مدل بهینه‌سازی خطی پارامترهای مورد نیاز دیگر این مساله شامل شماره ناحیه و ستونی که تختال در آن قرار دارد، مطابق با جدول ۴ است:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

جدول ٤. شماره ناحیه و ستون تختال های واقع در انبار

شماره تختال	ناحیه(a_j)	ستون(c_j)
۱۱	۲	۲
۱۲	۳	۳
۱۳	۳	۳
۱۴	۳	۵
۱۵	۳	۶
۱۶	۱	۷
۱۷	۱	۷
۱۸	۱	۸
۱۹	۲	۶
۲۰	۲	۵

شماره تختال	ناحیه(a_j)	ستون(c_j)
۱	۲	۲
۲	۱	۳
۳	۱	۵
۴	۱	۱
۵	۳	۷
۶	۲	۶
۷	۲	۸
۸	۱	۷
۹	۳	۶
۱۰	۱	۱

همچنین مطابق جدول ۵، زمان تعیین‌شده برای اتمام i امین نورد به صورت زیر است:

جدول ۵. زمان تعیین شده برای اتمام i امین نورد

آیتم نورد	$\bar{T}_i$
۱	۵۰
۲	۵۰
۳	۵۰
۴	۵۰

با توجه به شاخص داده های تختال‌ها برای بهینه‌سازی مساله جابجایی پشته تختال در انبار مقدار پارامترهای زمان گذاشت و برداشت تختال توسط جرثقیل و زمان بار کاری جرثقیل در حرکت ستونی به ترتیب برابر با $t_. = ۱$ و $t_c = ۱$ است.

نتایج حل مساله با نرم افزار GAMS، برای یک نورد با تعداد آیتم ($i = ۴$) تختال از بین متوسط موجودی روزانه ($j = ۲۰$) تختال در انبار شامل متوسط مقدار بهینه بارکاری جرثقیل ها و جواب های بهینه مساله به صورت جدول ۶ است:

جدول ٦. نتایج حاصل از حل مدل GAMS

متغیرهای مسأله	نتایج حاصل از مدل GAMS
مقدار هدف	۶
X_{ij}	$X_{۱۱۳} = X_{۲۱۲} = X_{۳۲۰} = X_{۴۲} = ۱$
$y_۱$	۳
$y_۲$	۳
$y_۳$	۲
$y_۴$	۱

با توجه به مقادیر بهینه به‌دست آمده در جدول ۶، $X_{۱۱۳} = ۱$ و $y_۱ = ۳$، بیان کننده این است که برای آیتم نورد ۱ تختال شماره ۱۳ از ناحیه ۳ انتخاب شده است. همچنین نتایج به‌دست آمده $X_{۲۱۲} = X_{۳۲۰} = X_{۴۲} = ۱$، $y_۲ = ۳$،

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

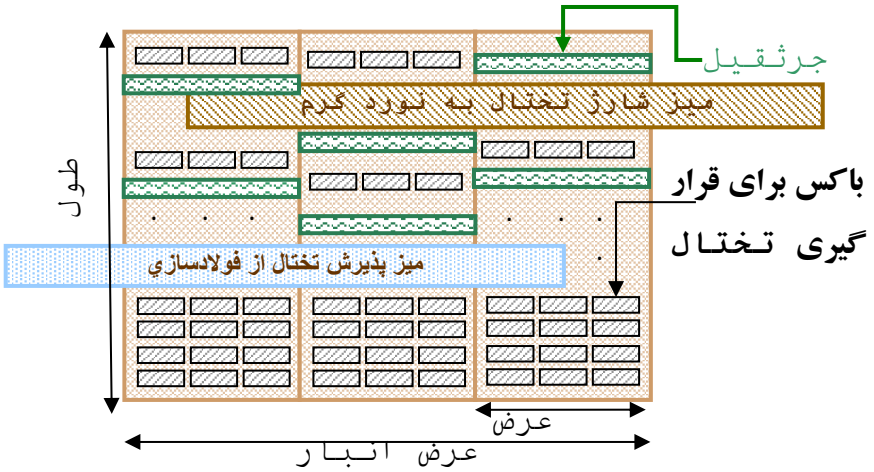
[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

$y_3=2$ و $y_4=1$ نشان می دهد که برای آیتم نورد ۳،۲ و۴ تختال شماره ۱۲، ۲۰ و ۲ به ترتیب از ناحیه ۲،۳ و۱ انتخاب شده اند.

۷-۲ مطالعه موردی

شرکت فولاد مبارکه اصفهان در ۲۳ دی ماه ۱۳۷۱ احداث شد و اکنون یکی از بزرگ‌ترین واحدهای صنعتی و بزرگ‌ترین مجتمع تولید فولاد در ایران است. این شرکت در زمینی به مساحت ۳۵ کیلومتر مربع در نزدیکی شهر مبارکه و در ۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان واقع شده‌است. فولاد مبارکه هم اکنون محرک بسیاری از صنایع بالادستی و پایین‌دستی است و شامل چهار واحد اصلی آهن‌سازی، فولادسازی، نورد گرم و نورد سرد است.

با توجه به آنچه در روش‌شناسی پژوهش آمده، وضعیت موجود در انبار تختال مطابق شکل ۲ بررسی می شود. انبار تختال مجتمع فولاد مبارکه شامل سه محوطه یا ناحیه اصلی است. در هر محوطه تعدادی فضا (پشته یا باکس) برای قرار دادن تختال در نظر گرفته شده است که در ۷۹ ستون واقع شده اند. دو جرثقیل سقفی در هر محوطه وظیفه جابه جایی تختال های آن محوطه را به عهده دارند. حرکت جرثقیل ها در راستای عرض محوطه و طول انبار صورت می‌گیرد. بنابراین در هر محوطه امکان تداخل جرثقیل ها در حرکت وجود دارد. در شکل ۲ شمای کلی انبار تختال واحد نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه آورده شده است. محوطه انتهایی هر ناحیه مخصوص تختال‌های برگشتی می‌باشد. وظیفه انبار تختال پذیرش تختال‌های تولیدشده و چیدمان آن‌ها در باکس‌های درنظر گرفته شده برای آماده کردن تختال مناسب جهت تولید در نورد گرم، در زمان مناسب است.



شکل ۲. شمای کلی انبار تختال مجتمع فولاد مبارکه

با تعمیم مساله جابه‌جایی پشته تختال به تعداد تختال بیشتر در فضای واقعی انبار تختال فولاد مبارکه، چنانچه مقدار پارامترهای مساله برای یک نورد با تعداد آیتم $i=۸۷$ (تعداد خوشه یا خانواده‌ی تختال) و متوسط موجودی روزانه ($j=۲۷۹۶$) تختال در انبار برابر با $\bar{T}_i=۱۰۰۰$ ، $t_r=۰/۰۵$ و $t_c=۰/۰۸$ باشد، کم‌ترین تعداد جابجایی درحالتی اتفاق می‌افتد که خوشه‌بندی با چهار شاخص عرض، کیفیت، طول و وزن صورت پذیرد. یعنی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]
[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

تاثیر دو شاخص دیگر طول و وزن را بر تصمیم‌گیری نهایی اثر گذار دانسته است. زیرا با افزایش تعداد تختال‌ها در انبار هر چه شاخص‌های بیشتری از تختال ها مورد بررسی قرار گیرند، دسته‌بندی بهتری بر روی آن‌ها انجام می‌شود و در نتیجه با توجه به مساله جابجایی پشته تختال تعداد جابجایی تختال ها و میزان بارکاری جرثقیل کمینه می‌گردد. در این حالت متوسط مقدار بهینه بار کاری جرثقیل‌ها و جواب‌های بهینه مساله مطابق با جدول ۷ به‌دست می‌آید:

جدول ۷. نتایج حاصل از حل مدل GAMS

متغیرهای مساله	نتایج حاصل از مدل GAMS
مقدار هدف	۱۷۰/۸۵۰
x	$X_{ij}=۱$ (به ازای ۸۷ تختال واقع در ستون های انبار)
y	$y_i=۱$ (به ازای همه آیتم ها)

با توجه به مقادیر بهینه به دست آمده در جدول ۷ برای متغیر X_{ij} و y_i، ۸۷ عدد تختال برای نورد از ناحیه اول انتخاب شده اند. به عبارت دیگر برای جابجایی کمتر، جرثقیل تختال ها را از ناحیه اول نزدیک به خط شارژ بر می‌گزینند.

حال با تحلیل حساسیت بر روی مساله فوق چنانچه ۱۰۰۰ تختال از موجودی انبار کم شود و این تعداد از ناحیه اول انبار برداشته شود، موجودی انبار به $j=۱۷۹۶$ تختال کاهش میابد. در این صورت با همان تعداد ۸۷ خوشه، خوشه‌بندی جدیدی بر روی تختال‌ها انجام می‌شود. که در این حالت با نتیجه خوشه‌بندی جدید و حل مدل بهینه‌سازی، بارکاری بهینه برای جرثقیل و جواب های بهینه مطابق با جدول ۸ است:

جدول ۸. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت

متغیرهای مساله	نتایج حاصل از مدل GAMS
مقدار هدف	۲۲۴/۲۵۰
x	$X_{ij}=۱$ (به ازای ۸۷ تختال واقع در ستون های انبار)
y	$y_i=۱$ (به ازای $i=۵,۱۹,۲۳,۳۴,۵۰,۶۹$)
	$y_i=۲$ (به ازای بقیه آیتم ها)

با توجه به نتایج حاصل از متغیر y در جدول ۸، حاکی از آن است که جرثقیل برای آیتم‌های $i=۵,۱۹,۲۳,۳۴,۵۰,۶۹$ تختال‌ها را از پشته های ناحیه ۱ (نزدیک به خط شارژ) و برای بقیه آیتم‌ها از پشته‌های ناحیه ۲ (دورتر از خط شارژ) بر می داردو جرثقیل مسافت بیشتری را باید طی کند. بارکاری بهینه برای جرثقیل برابر با ۲۲۴/۲۵۰ است، که در مقایسه با حالت قبل بارکاری آن بیشتر می‌شود.

۸ نتیجه‌گیری

هدف این مقاله ایجاد خانواده‌های تختال مناسب بر اساس ویژگی‌های تختال‌ها به‌گونه‌ای است که تختال‌های یک خانواده به اندازه کافی شبیه به یک آیتم در نورد هستند. این به کاهش بارکاری جرثقیل و بهینه‌سازی استفاده از

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

ظرفیت انبار تختال کمک می‌کند. به این منظور یک مورد از انبار تختال شرکت فولاد مبارکه مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که این روش کاربردی است و می‌تواند با موفقیت برای مقابله با پیچیدگی درهم‌آمیزی پشته‌های تختال به کار رود، به‌ویژه زمانی که تعداد تختال‌ها و تنوع ویژگی‌های آنها، ممکن است انتخاب یک تختال مناسب برای نورد را پیچیده کند.

از جنبه کاربردی، نتایج می‌تواند برای تصمیم گیرندگان شرکت فولاد مبارکه مهم باشد؛ زیرا می‌توانند هزینه‌های بارکاری جرثقیل را با توجه به محدودیت ظرفیت انبار تختال کاهش دهند. استفاده از مدل پیشنهادی همچنین ممکن است به طور غیرمستقیم تعمیر و نگهداری جرثقیل ها را با کاهش حجم کار کاهش دهد. به این ترتیب، شرکت فولاد مبارکه در پاسخ گویی اجتماعی خود موفق‌تر خواهد بود و می‌تواند باعث شود تا تمایز رقابتی در بین سایر رقبا پیدا کند.

به لحاظ نظری، مدل دو مرحله‌ای روش خوشه‌بندی فازی (مرحله اول) و مدل ریاضی بهینه‌سازی خطی عدد صحیح (مرحله دوم) این پژوهش را از سایر پژوهش‌ها متمایز می‌سازد، که خروجی مرحله اول ورودی مرحله دوم است. مزایای استفاده از روش خوشه‌بندی فازی در ورودی مدل برنامه‌ریزی خطی عبارت است از :۱) دسته‌بندی تختال‌ها سریعا انجام‌شده و با توجه به سفارش هر آیتم نورد از بین تختال‌های خوشه‌بندی‌شده با ویژگی‌های مورد نظر، تختال مناسب آن آیتم نورد انتخاب‌شده و برای نورد فرستاده می‌شود. ۲) اگر تختال انتخابی مشترک بین دو خانواده تختال باشد، محدودیت در انتخاب تختال‌ها وجود ندارد و ۳) امکان تحلیل حساسیت روی خوشه‌ها یا خانواده‌های تختال وجود دارد. در نهایت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و با در نظر گرفتن فضای محدود انبار به حل مدل می‌پردازد، که این در پژوهش‌های قبلی در نظر گرفته نشده است.

علاوه بر این روش تحلیل این مقاله، یک رویکرد جدید است. به طور خاص، رویکرد دو مرحله‌ای FCM و سپس مدل برنامه‌ریزی ریاضی را اعمال می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که مدل و روش تحلیل امیدوارکننده هستند. با این حال، نتایج حاصل از مطالعه موردی ممکن است به سایر موارد تعمیم داده نشود زیرا داده‌ها و شرایط ممکن است متفاوت باشد. این امر مستلزم کاربرد جدیدی از مدل و روش تحلیل برای به‌دست آوردن نتایج خاص آن مورد است.

به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، ترتیب انتخاب تختال ها برای نورد را با توجه به برنامه نورد بررسی نمایند. همچنین محدودیت تقاضا برای نورد در پشته‌های ناهمگن لحاظ گردد و نتایج خود را با این پژوهش مقایسه نمایند. چنانچه روش پیشنهادی در مناطق دیگر کشور مورد بررسی قرار گیرد و با این پژوهش مقایسه گردد، روش پیشنهادی اعتبارسنجی بیشتری خواهد داشت. بالاخره آنکه انجام این تحقیق در فصول دیگر می‌تواند زمینه لازم را برای تحلیل تاثیرپذیری روش پیشنهادی از گذشت زمان فراهم سازد.

قدردانی

نویسندگان این مقاله از کارشناسان شرکت فولاد مبارکه اصفهان برای تامین داده‌های لازم، سپاسگزاری می‌نمایند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]

منابع

[1] Merten, D. C., Hütt, M. T., & Uygun, Y. (2022). Effect of slab width on choice of appropriate casting speed in steel production. Journal of Iron and Steel Research International, 29(1), 71-79.

[2] Tang, L., Liu, J., Rong, A., & Yang, Z. (2002). Modelling and a genetic algorithm solution for the slab stack shuffling problem when implementing steel rolling schedules. International Journal of Production Research, 40(7), 1583-1595.

[3] Tang, L., & Ren, H. (2010). Modelling and a segmented dynamic programming-based heuristic approach for the slab stack shuffling problem. Computers & Operations Research, 37(2), 368-375.

[4] Jafari, M., Amouzadehlili, H., & Saidi, Z. (2024). Modeling container unloading and loading in port using simulation based optimization. Journal of operations research in its applications (applied mathematics) - Lahijan Azad University, 21(1), 127-152. (In Persian)

[5] Pfrommer, J., Meyer, A., & Tierney, K. (2024). Solving the unit-load pre-marshalling problem in block stacking stor-age systems with multiple access directions. European Journal of Operational Research, 313(3), 1054-1071.

[6] Fechter, J., Beham, A., Wagner, S., & Affenzeller, M. (2015, February). Modeling a Lot-Aware Slab Stack Shuffling Problem. In International Conference on Computer Aided Systems Theory (pp. 334-341). Springer, Cham.

[7] Sun, X., Lu, C., Liu, S., & Zhang, R. (2015, June). Multi-objective ACO algorithm for slab selecting and charging scheduling in hot rolling production. In Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2015 IEEE International Conference on (pp. 703-708). IEEE.

[8] Zhang, R., Liu, S., and Kopfer, H. (2016). Tree search procedures for blocks relocation problem with bath mover. flexible services and manufacturing Journal, (Vol. 28, PP. 397-424).

[9] Yuan, Y., & Tang, L. (2017). Novel time-space network flow formulation and approximate dynamic programming approach for the crane scheduling in a coil warehouse. European Journal of Operational Research, 262(2), 424-437.

[10] Tan, M., Yang, H. L., Duan, B., Su, Y. X., & He, F. (2017). Optimizing production scheduling of steel plate hot rolling for economic load dispatch under time-of-use electricity pricing. Mathematical Problems in Engineering, 2017.

[11] Tricoire, F., Scagnetti, J., & Beham, A. (2018). New insights on the block relocation problem. Computers & Operations Research, 89, 127-139.

[12] Tang, L., Ge, P., Meng, Y., Liu, J., & Zhao, R. (2019). Logistics optimisation of slab pre-marshalling problem in steel industry. International Journal of Production Research, 1-21.

[13] Shi, Y., & Liu, S. (2021). Very Large-Scale Neighborhood Search for Steel Hot Rolling Scheduling Problem With Slab Stack Shuffling Considerations. IEEE Access, 9, 47856-47863.

[14] Rajabi, P., Moslehi, G., & Reisi-Nafchi, M., New integer programming models for slab stack shuffling problems. Applied Mathematical Modelling, (2022); 109, 775-796.

[15] Bruno, G., Cavola, M., Diglio, A., & Piccolo, C. (2023). A unifying framework and a mathematical model for the Slab Stack Shuffling Problem. International Journal of Industrial Engineering Computations, 14(1), 17-32.

[16] Lehnfeld, J., & Knust, S. (2014). Loading, unloading and premarshalling of stacks in storage areas: Survey and classification. European Journal of Operational Research, 239(2), 297-312.

[17] Jang, D. W., Kim, S. W., & Kim, K. H. (2013). The optimization of mixed block stacking requiring relocations. International Journal of Production Economics, 143(2), 256-262.

[18] Tang, L., Liu, J., Rong, A., & Yang, Z. (2001). An effective heuristic algorithm to minimise stack shuffles in selecting steel slabs from the slab yard for heating and rolling. Journal of the Operational Research Society, 52(10), 1091-1097.

[19] Mesgari, I., Salamat, V.R., & Minaei Bidgoli, B. (2019). Presenting a new index to measure the reliability of clustering in type-2 fuzzy clustering algorithms. Journal of operations research in its applications (applied mathematics) - Lahijan Azad University, 15(4), 1-14. (In Persian)

[20] George E. Tsekouras and Haralambos Sarimveis, A new approach for measuring the validity of the fuzzy c-means algorithm, Advances in Engineering Software 35 (2004) 567–575.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-13]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2134]