



بهینه‌سازی ضایعات در برش یک بعدی، مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری

شیرین نودریان^۱، مجید وفايي جهان^۲، مهرداد جلالی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان، مشهد، ایران - snozarian@yahoo.com

^۲ استادیار رشته مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد - vafaeijahan@mshdiau.ac.ir

^۳ استادیار رشته مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد - jalali@mshdiau.ac.ir

چکیده

مسئله حداقل کردن ضایعات برش در بسیاری از صنایع همچون صنایع فولاد و کاغذ کاربرد دارد و امروزه تحقیقات گسترده‌ای بر روی آن در حال انجام است. با توجه به ابعاد وسیع این مسئله، ضایعات تولیدی در این صنایع بسیار قابل توجه می‌باشد به طوری که گاه تغییر کوچکی در الگوی برش، می‌تواند تاثیر بسزایی در فاکتورهای تاثیرگذار تولیدی همچون قیمت تمام‌شده محصول و میزان مواد اولیه داشته باشد. از طرفی اخیراً در رویکرد نوینی به این موضوع، مسئله تمرکز ضایعات برش در قالب روش حلی بر اساس شبیه‌سازی تبرید با تعریف نوعی هزینه مجازی تعریف و ارائه گردیده است. در این مقاله، ضمن مرور برخی از روش‌های استفاده‌شده در حل مسئله برش یک بعدی، مسئله تمرکز ضایعات برش و بهینگی بحث استفاده از هزینه مجازی مورد بررسی قرار گرفته است. سپس روش حلی مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری ارائه می‌شود که علاوه بر کم کردن میزان ضایعات، می‌کوشد تا ضایعات بر روی حداقل شاخه‌های مصرفی متمرکز گردند. به منظور بررسی کیفیت جواب‌های حاصله، از داده‌های تولید شده توسط نرم‌افزار CUTGEN1 استفاده شده است. نتایج آماری نشان می‌دهد که در ۹۵ درصد از موارد الگوریتم رقابت استعماری به جواب‌های مناسب‌تری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دست یافته است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، مسئله برش، ضایعات برش یک‌بعدی، تمرکز ضایعات برش، الگوریتم رقابت استعماری

۱. مقدمه

مسئله CSP^۱ در اکثر صنایع که در آن‌ها نیاز به برش قطعات کوچک از قطعات بزرگ وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً صنایعی نظیر فولاد، کاغذ، پلاستیک، شیشه و چوب از این دسته صنایع می‌باشند. در مسئله برش یک‌بعدی، هنگامی که اقلام را از قطعات بزرگ برش می‌زنیم، بخش یا بخش‌هایی از این قطعات بزرگ، ممکن است مورد استفاده مجدد قرار نگیرند. این موضوع به دلیل وجود آزادی عملی است که در انتخاب الگوهای مختلف برش توسط کاربر وجود دارد. بیشتر مسائل استاندارد که به مسئله برش تک بعدی مربوط هستند، به عنوان مسائل پیچیده^۲ (Chen, C. L. S., 1996, pp. 522-535) شناخته می‌شوند. هر چند که در بسیاری از موارد این گونه مسائل را می‌توان با برنامه‌ریزی ریاضی مدل نمود و راه‌حلی را با استفاده از روش‌های دقیق و تقریبی بدست آورد. هدف این مقاله استفاده از الگوریتمی است که در برش شاخه‌های مصرفی و تبدیل آن‌ها به قطعات سفارش داده‌شده، به نحوی عمل کند که کمترین میزان ضایعات را داشته باشیم.

با استفاده از طبقه‌بندی دایکوف^۳ (H. Dyckhoff, 1990, pp.145-159)، می‌توان مسئله برش تک بعدی مورد نظر مقاله حاضر را در مواردی که قطعات مورد نیاز کافی در دسترس می‌باشند، به صورت $1/V/D/R$ توصیف کرد. که در آن I بیانگر یک بعدی بودن مسئله است. V یعنی تمام اقلام مورد نیاز باید با گزینشی از قطعات مصرفی بزرگ تولید شوند؛ به عبارت دیگر، با وجود آنکه تنها بخشی از مواد اولیه (قطعات بزرگ) موجود به مصرف می‌رسند، تمامی سفارشات رسیده ارضاء خواهند شد. D به مفهوم آن است که چندین نوع قطعه مصرفی بزرگ با اندازه‌های متنوع، موجود است. و R نشان دهنده تعداد اقلام زیاد با تنوع نسبتاً محدود اندازه است.

¹ Cutting Stock Problem

² NP-Complete

³ H.Dyckhoff's Typology

دایکوف راه حل مسائل برش یک بعدی را به دو گروه تقسیم می‌کند: روش مبتنی بر اقلام^۴ و روش مبتنی بر الگو^۵. در روش مبتنی بر اقلام، هر قطعه (قلم) کوچک سفارش داده شده که به تعدادی از آن نیاز است، به گونه‌ای مستقل از اقلام دیگر، از قطعه مصرفی بزرگ بریده می‌شوند. سپس برش دیگری بر روی باقی‌مانده همان قطعه بزرگ صورت می‌پذیرد و این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که امکان برش دیگری برای تولید قلم دیگری میسر نباشد. آنگاه قطعه بزرگ بعدی برای بریده شدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش مبتنی بر الگو، ابتدا، طول‌های سفارش داده شده در الگوهای برش ترکیب می‌شوند و برای پیدا کردن جواب، تعداد دفعات برش بر اساس الگوهای برش از قبل طراحی شده که برای تأمین تقاضا لازم هستند، تعیین می‌شوند. محدودیت‌های موجود در این روش‌ها بر مبنای الگوریتمی بنا شده که توسط گیلمور و گوموری^۶ (Gilmore, P.C., 1961, pp.849-859) تهیه شده است؛ به دلیل این که روش مبتنی بر الگو تنها زمانی قابل استفاده است که قطعات مصرفی دارای طول یکسان و یا چندین طول استاندارد باشند، و زمانی از روش مبتنی بر اقلام استفاده می‌شود که طول قطعات مصرفی با هم متفاوت باشند و نتوان الگوهای ثابت و مشخصی برای برش تعیین کرد. روش مبتنی بر اقلام را برای حل مسئله مورد بحث، برگزیدند.

ابتدایی‌ترین فرمول مربوط به CSP توسط کانتروویچ^۷، در سال ۱۹۳۹ ارائه و در سال ۱۹۶۰ به زبان انگلیسی منتشر شد (Gilmore, P., 1966, pp.1045-1074). اما عملاً تحقیق و بررسی‌های عملی در مورد این مسئله، حدود ۴۵ سال قبل آغاز و روش‌های حل مختلفی برای CSP تاکنون ارائه گردیده است. با وجود آنکه برای حل مسئله CSP در دنیای واقعی، روش‌های ابتکاری متنوعی مورد استفاده قرار گرفته، لیکن از آنجا که روش‌های ابتکاری با توجه به خصوصیات خاصی از مسئله تهیه و پیاده‌سازی می‌گردند، لذا استفاده از آن‌ها در مسائل مشابه بسیار بعید به نظر می‌رسد (McKendall, A. R., 2006, pp.2431-2444).

حداقل نمودن ضایعات برش را می‌توان هدف اصلی CSP نامید با این حال اهداف دیگری نیز برای آن تعریف شده است. در عمل، علاوه بر ضایعات برش، سایر فاکتورهای متعارف در تابع هدف عبارتند از هزینه استفاده از یک مدل برش خاص و تغییر الگوهای برش از یک حالت به حالت دیگر. فوسن و همکاران در سال ۲۰۰۷ مسئله برش را به گونه‌ای مدل‌سازی نمودند که در آن برای هر یک از قطعات کوچک یک زمان سررسید تعیین می‌شود و در برش اقلام کوچک لازم است که به سررسید این زمان‌ها توجه شود و کلیه اقلام در زمان مقرر تحویل گردند (Reinertsen, H., 2010, pp.701-711). با انجام یک فرمول‌بندی مناسب و ایجاد کوچک‌ترین بهبود در طرح برش، می‌توان جنبه‌های محیطی، نظیر میزان انرژی مورد نیاز را نیز در حل مسئله برش در نظر گرفت (Karelahti, J., 2002) و منجر به صرفه‌جویی بسیار زیادی در مواد اولیه-ای که به طور مکرر و در مقادیر زیاد مورد استفاده هستند، گردید. پر هزینه و بی‌ثمر بودن برش‌های دستی که توسط پیمانکاران برش انجام می‌گردد، اهمیت ویژه روش‌های مربوط به اتوماسیون پروسه برش را یادآوری می‌کنند (Blazewicz, J., 1989). مضافاً چون مقایسه روش‌های مختلف از طریق حل مکرر به راحتی امکان‌پذیر است، لذا توانایی بالقوه روش‌های پیشنهادی را به راحتی می‌توان تشخیص داد (H. Dyckhoff, 1990, pp.145-159). الگوریتم‌ها و روش‌های بسیاری برای ضایعات برش تک‌بعدی با فاکتورهای مختلف برای محاسبه، موجود است. تاکید می‌گردد که حداقل کردن ضایعات مهم‌ترین فاکتور معمول در روش‌های متفاوت است.

⁴ Item-Oriented

⁵ Pattern-Oriented

⁶ P.C. Gilmore and R.E. Gomory

⁷ Kantorovich

اساساً سه کلاس مختلف برای روش‌های حل CSP وجود دارد. (۱) روش‌های الگوریتمیک، (۲) روش‌های ابتکاری و (۳) روش‌های فرا ابتکاری. روش‌های الگوریتمیک علیرغم پیچیدگی‌های محاسباتی، دستیابی به جواب بهینه را تضمین می‌کنند. اما زمان کارکرد آن‌ها، مخصوصاً در مواجهه با مسائل بزرگ طولانی می‌گردد و همین مسئله باعث گردید که تا چند سال قبل، شیوه‌های کاملاً الگوریتمی برای حل مسئله ندرتاً استفاده گردند. روش‌های ابتکاری معمولاً سریع‌تر می‌توانند به جواب دست یابند اما به ندرت جواب بهینه را ارائه می‌کنند. اگر جواب‌های بدست آمده از روش‌های ابتکاری به مقادیر بهینه نزدیک باشند، می‌توان آن‌ها را به عنوان روش‌های مطلوب و مورد قبول استفاده نمود. روش‌های ابتکاری اغلب برای فرم خاصی از مسائل طراحی می‌گردند و به حوزه کاری مورد استفاده وابستگی زیادی دارند؛ لذا معمولاً به صورت عمومی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند (McKendall, A. R., 2006, pp.2431-2444).

در روش‌های فرا ابتکاری، فرآیند حل معمولاً توسط روش‌های ابتکاری در سطحی پایین‌تر راهنمایی می‌شود و بر خلاف روش‌های ابتکاری سنتی، این روش‌ها در دام شرایط بهینه محلی گرفتار نمی‌شوند مقالاتی نظیر (Jahan, M. V. , 2010, pp. 591-601) نمونه‌های بسیار مناسبی جهت حل مسائل بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری می‌باشند. در بخش دوم این مقاله با مطرح نمودن معیاری برای سنجش پراکندگی ضایعات برش یک بعدی، مقدار پراکندگی ضایعات را که یک پارامتر کیفی می‌باشد، به صورت کمی بیان می‌کنیم. در بخش سوم مدل مربوطه را شرح داده و نیز به بررسی بهینگی پارامتر مطرح شده می‌پردازیم. در بخش چهارم یک روش مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری، برای حل مسئله کاهش ضایعات در CSP را مطرح نموده و در بخش پنجم مسئله را در ابعاد بزرگ حل می‌نماییم و مورد بررسی قرار می‌دهیم و در بخش ششم نیز نتایج حاصله مورد بحث و نتیجه‌گیری قرار خواهد گرفت.

۲. داده‌ها و روش‌شناسی تحقیق

در مدل تحقیق در عملیات مسئله برش یک بعدی، توابع هدف یا به صورت کمینه‌کردن تعداد الگوهای مورد استفاده و یا به صورت کمینه‌کردن تعداد شاخه‌های خام مطرح می‌شوند. اما در نهایت، این توابع هدف، جملگی یک موضوع را دنبال می‌کنند که همان کمینه کردن مقدار ضایعات حاصل از برش می‌باشد. از طرفی در مسئله تمرکز ضایعات برش، دو هدف به صورت توأم دنبال می‌شود. اولین هدف همانند مسئله کلی برش، کاهش ضایعات برش و هدف دوم متمرکز نمودن ضایعات برش بر روی حداقل شاخه‌های مصرفی می‌باشد. هدف دوم در بسیاری از صنایع خصوصاً صنایعی که با مواد اولیه گران قیمت سروکار دارند کاربرد و اهمیت فراوانی دارد.

به منظور یافتن پاسخی ایده‌آل در مسئله تمرکز ضایعات برش یک بعدی، از پارامتری موسوم به هزینه مجازی^۸ استفاده می‌شود (جوانشیر ح.، ۱۳۸۶) که این پارامتر بیانگر کیفیت ضایعات از نظر تمرکز بر روی حداقل قطعات بزرگ مصرفی می‌باشد. به عبارت دیگر در تعریف این پارامتر سعی بر آن شده‌است که متمرکز شدن ضایعات را به خوبی نشان داده و بتوان بهترین حالت کیفی تمرکز ضایعات را به کمیت تبدیل نماید. به کمک این پارامتر می‌توانیم با جستجو در میان جواب‌های بهینه حاصله از مسئله برش یک بعدی، جوابی را که دارای مطلوب‌ترین کیفیت از لحاظ پراکندگی ضایعات برش است پیدا نماییم.

۲.۱ هزینه مجازی کل

به منظور بدست آوردن مقدار هزینه مجازی کل^۹، باید مقدار هزینه مجازی هر شاخه (VC_j) را در مقدار ضایعات آن شاخه (W_j) ضرب نموده و مقادیر بدست آمده برای هر شاخه را با هم جمع نمود. در این صورت عدد بدست آمده هزینه مجازی

^۸ Virtual Cost(VC)

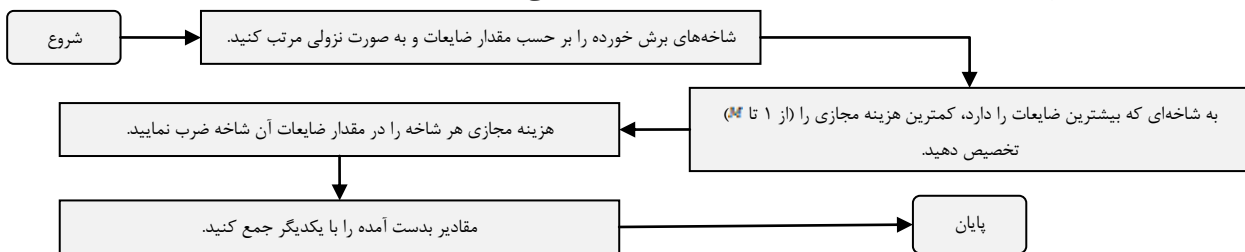
^۹ Total Virtual Cost(TVC)

کل (TVC) نامیده می‌شود. به منظور پی بردن به نحوه عملکرد هزینه مجازی کل در ضایعات مختلف، فرمول (۱) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$TVC = \sum_{j=1}^M w_j \times VC_j \quad (1)$$

۲.۲ نحوه استفاده از هزینه مجازی کل

به دلیل این که پارامتر هزینه مجازی کل از جنس هزینه می‌باشد و ما می‌خواهیم از آن به‌عنوان معیار پراکندگی ضایعات استفاده نمائیم، لذا باید به دنبال حداقل نمودن این پارامتر باشیم. به بیان دیگر، همواره سعی بر این است که برای برش اقلام از شاخه‌های دارای هزینه مجازی بیشتر استفاده نماییم تا میزان افزایش هزینه مجازی کل تا حد امکان کمتر گردد. به منظور محاسبه مقدار پارامتر هزینه مجازی کل، روند شکل (۱) اعمال می‌گردد:



شکل ۱: فلوچارت محاسبه هزینه مجازی کل

بدین ترتیب چنانچه برش، با هدف کم کردن هزینه مجازی کل انجام پذیرد، فرآیند برش به گونه‌ای انجام می‌شود که ضایعات، بر روی شاخه‌های دارای هزینه مجازی کمتر پدید آیند. مثال ۱: فرض کنید که طول هر شاخه ۲۰ متر و سفارش برش به صورت زیر باشد:

جدول ۱: مقادیر طول و تعداد سفارشات در مثال ۱

تعداد سفارش	طول (متر)
۷	۳
۱۲	۲

در این مثال، با انتخاب دو الگوی برش متفاوت، دو جواب با مقدار ضایعات یکسان بدست می‌آید. در جدول (۲) مقدار هزینه مجازی کل برای هر دو جواب بهینه محاسبه شده است:

جدول ۲: محاسبه مقادیر هزینه مجازی کل در دو جواب بهینه CSP یک‌بعدی

جواب بهینه ۱	شماره شاخه	۱	۲	۳
	مقدار ضایعات (متر)	۰	۰	۱۵
	هزینه مجازی کل	۳	۲	۱
	جمع ضایعات (متر)	۱۵		
هزینه مجازی کل		۱۵		

جواب بهینه ۲	شماره شاخه	۱	۲	۳
	مقدار ضایعات (متر)	۰	۳	۱۲
	هزینه مجازی	۳	۲	۱
	جمع ضایعات (متر)	۱۵		
هزینه مجازی کل		۱۸		

مشاهده می‌شود که مقدار هزینه مجازی کل برای جواب بهینه ۱ کمتر از جواب بهینه ۲ بدست آمد. همچنین ملاحظه می‌گردد که تمرکز ضایعات در جواب اول نیز از جواب دوم بهتر است و ضایعات با طول بیشتری خود را روی شاخه سوم نشان داده‌اند و این همان معنای تمرکز ضایعات است.

۳. مدلسازی مسئله

۳.۱ تدوین پارامترهای موجود در مسئله

پارامترهای مورد نیاز برای تدوین مدل ریاضی که بتواند مسئله تمرکز ضایعات برش را با در نظر گرفتن رویکرد هزینه مجازی حل نمود و مقدار کمینه هزینه مجازی کل را محاسبه نماید عبارتند از:

n_k = تعداد قطعه سفارش داده شده (قطعه کوچک) با طول l_k ، N = تعداد کل قطعات سفارش داده شده با طول‌های مختلف، l_i = طول قطعه سفارشی i ام ($i = 1, 2, \dots, N$) (این قطعه می‌تواند با سایر سفارشات هم‌اندازه باشد)، M = تعداد قطعات بزرگ (شاخه-های مصرفی)، L_j = طول شاخه j ام مورد استفاده M ، $j = 1, 2, \dots, M$ ضایعات شاخه j ام.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر قطعه } i \text{ ام از شاخه } j \text{ ام بریده شده است} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (2)$$

با در نظر گرفتن پارامترهای ذکر شده و فرمول (۲)، مقدار ضایعات برش را بر اساس تعریف کلی ضایعات برش (ضایعات حاصله روی یک شاخه برابر است با طول شاخه منهای مجموع طول قطعات برش خورده از آن شاخه) می‌توان از طریق رابطه (۳) محاسبه نمود:

$$w_j = L_j - \left(\sum_{i=1}^N l_i \cdot x_{ij} \right) \quad (3)$$

$$0 \leq w_j < L$$

$$j = 1, 2, \dots, M$$

در رابطه فوق، مقدار ضایعات روی شاخه خام j ام با توجه به قطعات برش خورده از آن شاخه محاسبه می‌گردد. مقدار ضایعات کل (W) از حاصل جمع ضایعات هر شاخه (w_j) بر اساس رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$\sum_{j=1}^M w_j = W \quad (4)$$

۳.۲ تابع هدف

تابع هدف در این مدل با توجه به پارامترهای تعریف شده، بر اساس تعریف هزینه مجازی کل، به صورت زیر تعریف می‌گردد (جوانشیر ح، ۱۳۸۶):

$$\min TVC = \sum_{j=1}^M \left(VC_j \times \left(L_j - \left(\sum_{i=1}^N x_{ij} \times l_i \right) \right) \right) \quad (5)$$

در این تابع هدف، مقدار $\left(L_j - \left(\sum_{i=1}^N x_{ij} \times l_i \right) \right)$ همان مقدار ضایعات شاخه j ام (w_j) می‌باشد که با ضرب کردن مقدار VC_j در آن و در نهایت جمع کردن کلیه مقادیر $VC_j \times w_j$ مقدار TVC بدست می‌آید و هدف حداقل نمودن آن می‌باشد.

۴. فرآیند روش بهینه سازی با الگوریتم رقابت استعماری

۴.۱ الگوریتم رقابت استعماری و تاریخچه آن

الگوریتم رقابت استعماری (ICA)^{۱۰} روشی است که از زمان معرفی، برای حل مسائل بهینه‌سازی مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ابتدا توسط آتش‌پز و همکارانش در سال ۲۰۰۷ معرفی، و برای حل مسئله کنترل کننده PID به کار گرفته شد (Atashpaz-Gargari, E., 2008, pp.4661-4667). این الگوریتم بر پایه این منطق بنا نهاده شده که تکامل انسان‌ها علاوه بر جنبه طبیعی دارای جنبه اجتماعی و سیاسی نیز می‌باشد، و با بهری گیری از این پدیده الگوریتم رقابت استعماری شکل گرفته و توسعه داده شد. در حال حاضر فعالیت‌های بسیاری در جوامع علمی برای بسط کاربردهای این الگوریتم که بر اساس پدیده استعمار در جوامع بشری است، انجام می‌شود و در بیشتر تحقیقات استفاده از این الگوریتم پاسخ‌های بهینه‌ای برای مسائل پیچیده مهندسی ارائه نموده است.

¹⁰ Imperialist Competitive Algorithm

۴.۲ بیان تابع هدف:

همان طور که پیشتر ذکر شد در این مقاله، تابع هدف به صورت کمینه کردن مقدار TVC در رابطه (۵) مطرح می‌گردد. در ابتدا آرایه‌ای به طول N ، محتوی ارقام سفارش داده شده تشکیل می‌شود. همچنین آرایه‌ای را محتوی طول شاخه‌های به طول M در نظر می‌گیریم. مقدار M را در ابتدا نمی‌توان به صورت قطعی معین کرد، بنابراین با تغییری که در الگوریتم FFD داده شده است، برای تعیین مقدار M به گونه‌ای عمل می‌شود که شاخه‌های مصرفی به تعداد مورد نیاز در دسترس می‌باشد. طبق تغییر اعمال شده، زمانی که یک قلم را نتوان از شاخه‌های در دسترس برش داد، مقدار M یک واحد اضافه می‌گردد و این روند تا پایان برش کلیه ارقام ادامه خواهد داشت.

پس از انجام برش قطعات و مشخص نمودن وضعیت و میزان ضایعات هر شاخه، شاخه‌ها را بر اساس میزان ضایعات مرتب کرده و سپس هزینه‌های مجازی به شاخه‌ها تخصیص داده می‌شود. بدین ترتیب مقدار TVC محاسبه می‌شود.

۴.۳ تولید جواب قابل قبول اولیه:

به منظور بدست آوردن جواب اولیه، پس از مرتب کردن طول قطعات به صورت نزولی، الگوریتم FFD برای توالی موجود اجرا می‌گردد. به دلیل اینکه در این حالت، ابتدا قطعات بزرگ‌تر از شاخه‌های بزرگ‌تر برش می‌خورند، این جواب معمولاً دارای کیفیت مناسبی بوده و می‌توان آن را به عنوان یک جواب اولیه مطلوب در نظر گرفت.

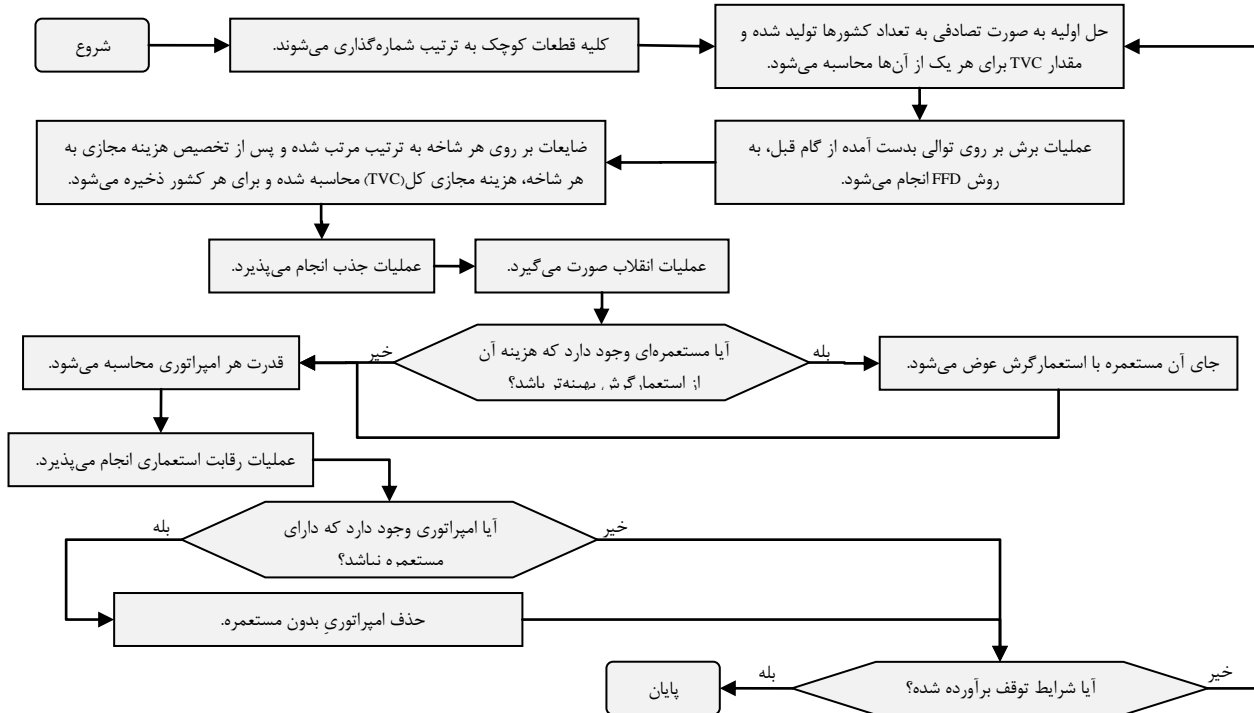
بر اساس این الگوریتم، چنانچه طول قطعه i ام از باقیمانده شاخه مصرفی j ام کوچک‌تر باشد، قطعه i ام را از شاخه j ام برش می‌زنیم، $(x_{ij} = 1)$ ، در غیر این صورت برش از شاخه مصرفی بعدی، یعنی شاخه $j+1$ ام (در صورت قابلیت اقدام)، شاخه مصرفی بعدی رفته تا برش مورد نظر انجام شود. شبه کد کامپیوتری این الگوریتم را می‌توان به صورت زیر مطرح کرد:

```
For i=1 to N
  For j=1 to M
    If  $l_i < L_j$  then
       $L_j = L_j - l_i$ 
      Goto NEXTI
    Else
      Goto NEXTJ
    End if
  NEXTJ: next j
NEXTI: next i
```

در استفاده از این الگوریتم، توالی ارقامی که برش می‌خورند بسیار مهم است. با تغییراتی که در توالی ارقام صورت می‌گیرد، نحوه پراکندگی ضایعات، (و در برخی موارد، میزان توالی برش ارقام بر پراکندگی ضایعات) نیز دست‌خوش تغییر می‌شود.

۴.۴ گام‌های حل مسئله به شرح ذیل می‌باشند:

تا کنون از روش ICA در حل مسائل بسیاری استفاده شده است. در این مقاله سعی بر توسعه روش ICA برای حل مسئله بهبود ضایعات برش شده است. شکل (۲) نشان‌دهنده فلوچارت حل مسئله می‌باشد.



شکل ۲: فلوچارت حل مسئله برش یک بعدی مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری

۴.۵ شرایط توقف الگوریتم

روش حل توضیح داده شده در ۳ حالت پایان می‌پذیرد: (۱) چنانچه مقدار ضایعات و هزینه مجازی کل به عدد صفر برسد. (۲) چنانچه مقدار ضایعات و هزینه مجازی کل یکسان شود. در این صورت، مقدار ضایعات بر روی یک قطعه متمرکز شده است که بهترین تمرکز ضایعات محسوب می‌گردد. (۳) هنگامی که تعداد نسل‌های تکامل یافته، به عدد از پیش تعیین شده در الگوریتم برسد. در این حالت بهترین جواب از روی حافظه در نظر گرفته شده و به عنوان بهترین جواب معرفی می‌گردد.

۵. بحث و یافته‌های تحقیق

در مقایسه اول، کارایی الگوریتم رقابت استعماری با الگوریتم‌های ژنتیک، جست‌وجوی تابو و شبیه‌سازی تبرید تدریجی در این مدل را برای مثال شماره (۲) و در ابعاد کوچک مقایسه می‌نماییم. فرض کنید که قطعات بزرگ، دارای طول ۱۲ متر بوده و سفارش ارقام، طبق جدول زیر صورت گرفته باشد:

جدول ۳: مقادیر طول و تعداد سفارشات در مثال ۲

ردیف	تعداد سفارش	طول (متر)
۱	۶۰	۴
۲	۷۵	۳
۳	۴۵	۲.۸
۴	۲۰	۱.۲

با حل مدل با چهار الگوریتم یادشده جدول (۴) حاصل شد.

جدول ۴: نتایج حل مثال ۲ با الگوریتم‌های مختلف، بر حسب متر

ردیف	الگوریتم	طول هر شاخه مصرفی	تعداد شاخه مصرفی	ضایعات بر حسب متر	پراکندگی ضایعات
۱	رقابت استعماری	۱۲	۵۲	۹	۱
۲	جست و جوی تابو	۱۲	۵۲	۹	۱۱
۳	ژنتیک	۱۲	۵۳	۲۱	۵۲
۴	شبیه سازی تبرید	۱۲	۵۳	۲۱	۵۳

همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، برای مدل کمینه‌سازی ضایعات با هدف تمرکز ضایعات، الگوریتم رقابت استعماری کمترین میزان پراکندگی را تولید نمود و از کارایی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است. به منظور بررسی دقیق‌تر کیفیت جواب‌های بدست آمده، به طور کلی ۲۰ مسئله به صورت تصادفی و در ابعاد گوناگون، در سه کلاس مختلف، توسط نرم افزار [CUTGEN1](#) تولید شد که در جدول (۵) اطلاعات مربوط به آن قابل مشاهده است.

جدول ۵: کلاس‌های مورد استفاده در نرم‌افزار CUTGEN1 برای تولید مسائل

تعداد مسائل تولید شده	وزن مورد استفاده	میانگین تعداد کل قطعات سفارشی	مکسیمم آستانه هر قطعه	مینیمم آستانه هر قطعه	طول هر شاخه مصرفی	تعداد سفارشات	ابعاد هر کلاس
۱۰	۱۹۹۴	۵	۰.۲	۰.۰۱	۱۰۰۰	۱۰	کوچک
۵	۱۹۹۴	۵	۰.۲	۰.۰۱	۱۰۰۰	۲۰	متوسط
۵	۱۹۹۴	۵	۰.۲	۰.۰۱	۱۰۰۰	۴۰	بزرگ

این مسائل طبق الگوی بهینه‌سازی ضایعات و با هدف کمینه نمودن شاخه‌های داراری ضایعات، در شرایطی یکسان برای الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید^{۱۱} و ICA به وسیله نرم‌افزار Matlab حل شده است. در میان نمونه مسائل حل شده، ICA پراکندگی ضایعات بهتری نسبت به نمونه حل شده به وسیله SA بدست آورد. نتایج حاصل از حل در جداول (۸-۶) قابل مشاهده است. نتایج آماری این جداول نشان می‌دهد که در ۹۵ درصد از موارد ICA به جواب‌های مناسب‌تری نسبت به SA دست یافته است.

جدول ۶: نتایج بدست آمده از حل مسائل تولید شده نمونه C1، در نرم افزار MATLAB

ردیف	کلاس	تعداد قطعات سفارش	طول هر شاخه مصرفی	ICA در شاخه مصرفی	ضایعات در ICA	پراکندگی ضایعات در ICA	ICA در بهترین هزینه در ICA	SA در شاخه مصرفی	ضایعات در SA	پراکندگی ضایعات در SA	بهترین هزینه در SA
۱	C1	۱۰	۱۰۰۰	۶	۲۰۵	۶	۴,۱۶۵۵	۷	۱۲۰۵	۷	۶۶۹
۲	C1	۱۰	۱۰۰۰	۵	۱۳۷	۴	۳,۸۲۲۲	۵	۱۳۷	۴	۴,۸۷۷۱
۳	C1	۱۰	۱۰۰۰	۵	۸۷۴	۴	۴,۰۳۷۳	۵	۸۷۴	۴	۴,۱۳۴
۴	C1	۱۰	۱۰۰۰	۶	۸۲۲	۵	۴,۱۳۴۷	۶	۸۲۲	۵	۴,۱۶۵۵
۵	C1	۱۰	۱۰۰۰	۷	۶۹۶	۶	۴,۳۰۸۷	۷	۶۹۶	۷	۴,۵۹۸۳
۶	C1	۱۰	۱۰۰۰	۸	۸۶۷	۷	۴,۶۹۹۵	۸	۸۶۷	۸	۴,۷۶۷۲

¹¹ Simulated annealing(SA)

۷	C1	۱۰	۱۰۰۰	۶	۶۷۷	۶	۴,۲۷۳۳	۶	۶۷۷	۶	۴,۷۰۵۱
۸	C1	۱۰	۱۰۰۰	۵	۳۱۷	۵	۳,۸۵۵۳	۵	۳۱۷	۵	۴,۶۶۱۵
۹	C1	۱۰	۱۰۰۰	۴	۱۱۲	۲	۴,۱۶۲۱	۴	۱۱۲	۴	۴,۸۶۱۲
۱۰	C1	۱۰	۱۰۰۰	۷	۹۹۰	۷	۴,۲۸۵۴	۷	۹۹۰	۷	۴,۴۴۶۴

در جدول (۶) خروجی مربوط به الگوریتم‌های ICA و SA برای کلاس C1 با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند، همان طور که مشاهده می‌شود بهترین جواب‌ها مربوط به ICA می‌باشد.

جدول ۷ نتایج بدست آمده از حل مسائل تولید شده نمونه C2، در نرم افزار MATLAB

ردیف	کلاس	تعداد قطعات سفارش	طول هر شاخه مصرفی	شاخه مصرفی در ICA	ضایعات در ICA	پراکندگی ضایعات در ICA	بهترین هزینه در ICA	شاخه مصرفی در SA	ضایعات در SA	پراکندگی ضایعات در SA	بهترین هزینه در SA
۱	C2	۱۸	۱۰۰۰	۱۲	۶۰۲	۱۲	۴,۹۰۲	۱۳	۱۶۰۲	۱۳	۵,۰۶۹۳
۲	C2	۱۹	۱۰۰۰	۱۱	۱۰۲۷	۷	۶,۶۸۳۵	۱۱	۱۰۲۷	۱۰	۷,۳۳۰۶
۳	C2	۲۰	۱۰۰۰	۱۶	۱۳۵۹	۱۳	۸,۹۱۴۷	۱۶	۱۳۵۹	۱۶	۱۱,۶۸۴۹
۴	C2	۱۹	۱۰۰۰	۱۰	۶۴۸	۹	۴,۷۴۴۸	۱۰	۶۴۸	۹	۴,۹۰۰۳
۵	C2	۱۹	۱۰۰۰	۱۲	۴۱۲	۱۲	۴,۸۵۶	۱۳	۱۴۱۲	۱۳	۶,۴۲۶۴

همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌نمایید در کلیه مسائل کلاس C2 نیز ICA جواب‌های بهتری نسبت به SA در مدل یادشده ارائه می‌نماید.

با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسائل، اختلاف بین پاسخ‌ها نیز افزایش می‌یابد، نتایج جدول (۸) حاکی از این موضوع می‌باشند.

جدول ۸: نتایج بدست آمده از حل مسائل تولید شده نمونه C3، در نرم افزار MATLAB

ردیف	کلاس	تعداد قطعات سفارش	طول هر شاخه مصرفی	شاخه مصرفی در ICA	ضایعات در ICA	پراکندگی ضایعات در ICA	بهترین هزینه در ICA	شاخه مصرفی در SA	ضایعات در SA	پراکندگی ضایعات در SA	بهترین هزینه در SA
۱	C3	۳۸	۱۰۰۰	۲۱	۵۷۷	۱۹	۴,۹۴۵۳	۲۲	۱۵۷۷	۲۲	۱۸,۳۰۰۳
۲	C3	۳۸	۱۰۰۰	۲۴	۳۶۰	۲۴	۴,۸۴۵۹	۲۵	۱۳۶۰	۲۵	۲۱,۹۹۰۷
۳	C3	۳۸	۱۰۰۰	۲۰	۳۲۱	۱۸	۴,۸۳۲۲	۲۱	۱۳۲۱	۲۱	۱۸,۱۶۵۹
۴	C3	۴۰	۱۰۰۰	۲۲	۵۳۸	۲۰	۴,۹۳۲۵	۲۳	۱۵۳۸	۲۳	۲۳,۸۰۶۳
۵	C3	۴۰	۱۰۰۰	۲۰	۶۴۳	۲۰	۴,۹۳۳۹	۲۱	۱۶۴۳	۲۱	۲۰,۶۸۴۴

۶. نتیجه‌گیری و کارهای آتی

در این مقاله به منظور کاهش کلی ضایعات در مسئله برش یک بعدی، از هزینه افزایشی استفاده شد. با به‌کارگیری هزینه افزایشی، نوعی هزینه مجازی برش بدست می‌آید که می‌توان از آن به عنوان معیار مقایسه میان جواب‌های حاصل از مسئله برای بدست آوردن پراکندگی بهتر ضایعات استفاده نمود. با استفاده از روش ICA و مدل پراکندگی ضایعات، مدل حلی برای مسئله برش یک بعدی ارائه گردید. نتایج محاسباتی ICA، در مقایسه با جواب‌های بدست آمده با SA (به ویژه در ابعاد بزرگ که به مدل حقیقی بسیار نزدیک می‌باشند) نشان دهنده کارایی این روش از نظر کیفیت جواب‌های بدست آمده است.



به عنوان پیشنهادی برای کارهای آتی می‌توان بیان کرد که مسئله حداقل سازی ضایعات برش با هدف کمینه کردن پراکندگی شاخه‌ها، تاکنون فقط در حالت مبتنی بر اقلام مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی این مسئله در حالت مبتنی بر الگو می‌تواند علاوه بر افزایش احتمالی سرعت جوابگویی مدل، زمینه تحقیقاتی مناسبی برای علاقه‌مندان باشد. همچنین می‌تواند مسئله را از جنبه کارایی زمانی الگوریتم‌های نوین در حل این مدل بررسی نمود.

مراجع

- جوانشیر ح.، و شادالوئی م.، (۱۳۸۶)، "تمرکز ضایعات در مسأله برش تک بعدی"، اولین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات دانشگاه صنعتی شریف (دانشگاه کیش).
- Atashpaz-Gargari, E. and C. Lucas. (2008). "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition." pp. 4661-4667.
- Blazewicz, J., M. Drozdowski, et al. (1989). "Two-dimensional cutting problem-basic complexity results and algorithms for irregular shapes".
- Chen, C. L. S., S. M. Hart, and W. M. Tham. (1996). "A simulated annealing heuristic for the one-dimensional cutting stock problem," European Journal of Operational Research, vol. 93, no. 3, pp. 522-535.
- Dyckhoff, H. (1990). "A typology of cutting and packing problems." European Journal of Operational Research 44(2): 145-159.
- Gilmore, P. and R. Gomory (1966). "The theory and computation of knapsack functions." Operations Research: 1045-1074.
- Gilmore, P. C. and R. E. Gomory (1961). "A linear programming approach to the cutting-stock problem." Operations Research: 849-859.
- Jahan, M. V. and M. R. Akbarzadeh-Totonchi. (2010). "From local search to global conclusions: migrating spin glass-based distributed portfolio selection," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 14, no. 4, pp. 591-601.
- Karelahti, J. (2002). "Solving the cutting stock problem in the steel industry." Helsinki University Of Technology, Helsinki, Finlandia.
- McKendall, A. R., J. Shang, et al. (2006). "Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem." Computers & Operations Research 33(8): 2431-2444.
- Reinertsen, H. and T. W. M. Vossen (2010). "The one-dimensional cutting stock problem with due dates." European Journal of Operational Research 201(3): 701-711.
- One Dimensional Cutting Stock problem benchmark data of this paper at http://paginas.fe.up.pt/~esicup/tiki_list_file_gallery.php?galleryId=6

An Imperialist Competitive Algorithm for One-Dimensional Cutting Stock Problem Shirin nozarian¹, Majid Vafaei Jahan², Mehrdad Jalali³

¹ Masters Student of Computer Eng- Young Researchers Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran- snozarian@yahoo.com

² Assistance professor of Computer Eng- Islamic Azad University of Mashhad- Iran vafaeijahan@mshdiau.ac.ir

³ Assistance professor of Computer Eng- Islamic Azad University of Mashhad- Iran- jalali@mshdiau.ac.ir

Abstract

Minimizing trim-loss is an important matter in many industries such as steel and paper. Sometimes making small changes in cutting pattern can create considerable benefits in different areas such as production costs. In recent studies this matter has been looked into from a different point of view. In this new approach trim-loss concentration has been introduced as a solution to trim-loss problem based on Simulated Annealing using a new kind of virtual cost. Trim loss concentration problem and credibility of the virtual cost theory



has been studied in this paper, as well as reviewing literature on resolving cutting-stock problem. Furthermore, in this paper, a solution based on ICA has been presented that reduces the wastage as well as concentrating them on the minimum number of stocks. The benchmark data in this paper has been randomly generated using CUTGEN 1 application. In most of the experimental results, ICA proved to produce more accurate results compared to other algorithms.

Keywords: Optimization, Cutting Stock Problem, One-Dimensional Trim-loss, Trim-loss Concentration, Imperialist Competitive Algorithm