

مروری بر روش‌های حل مسائل چیدمان مارکر با الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری

An Overview for Marker Making Methods Using Heuristic and Metaheuristic Algorithms

مطهره کارگر بیده، پدram پیوندی*

یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی، ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۱۸

چکیده

طراحی مارکر از مهم‌ترین مراحل در بخش برش الگوی صنعت پوشاک است. این فرایند در دسته مسائل تعیین شرایط بهینه‌ای است که هدف اصلی آن کشف آرایش و چیدمان مناسب از قطعه‌های متعدد الگو روی لایه‌های پارچه است. هدف مرسوم این مرحله پیشینه‌کردن بهره‌برداری، کمینه‌کردن دورریز پارچه و نیز کاهش زمان محاسبات است. چیدمان مارکر به‌عنوان موضوع مبتلا به صنعت پوشاک در گروه مسائل چیدمان دوبعدی نواری شکل‌های نامنظم قرار می‌گیرد. این عملیات به یافتن آرایش مناسب از چیدمان مجموعه‌ای از قطعه‌های دوبعدی بر سطحی با عرض ثابت و طول نامحدود منجر می‌شود. در این مقاله، انواع الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری که در حل مسائل چیدمان دوبعدی شکل‌های نامنظم توسعه یافته‌اند، مرور شده است.

مقدمه

مسئله برش و چیدمان قطعه‌های برش‌خورده از مهم‌ترین مسائل مطرح در حوزه دانش پژوهش در عملیات است [۱]. روش‌های حل این نوع مسائل در صنایع ورق فلزی، چوب‌بری، شیشه، چرم، کاغذ، کشتی‌سازی، صنایع فضایی و پوشاک مورد توجه قرار گرفته است.

همان‌طور که اشاره شد، صنعت پوشاک از جمله صنایعی است که با مسئله برش و چیدمان قطعه‌ها حین تولید لباس مواجه است. به دلیل شکل نامنظم قطعه‌های الگو، مناطقی غیر قابل استفاده در مارکر پدید می‌آید. بنابراین، جاگذاری الگوها روی مارکر به روشی که باعث

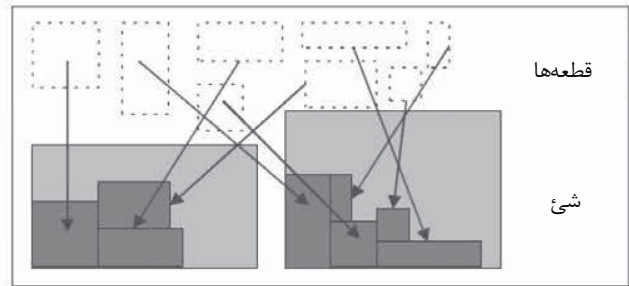
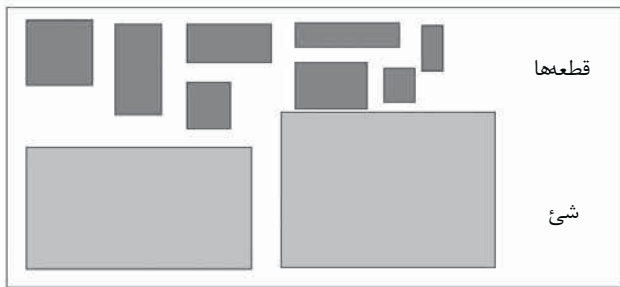
کمترین دورریز از پارچه شود، در این صنعت بسیار حائز اهمیت است [۲]. به دلیل ارزش اقتصادی مواد اولیه، تلاش بر آن است تا به روش‌های مختلف، مناسب‌ترین شکل از چیدمان قطعه‌های الگو به بخش برش پارچه ارائه شود. از این‌رو، شیوه‌های متفاوت از چیدمان قطعه‌ها توسط پژوهشگران در سال‌های اخیر معرفی و عرضه شده است.

دو روش عمومی با نام شیوه‌های قطعی و الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در حل مسائل چیدمان قطعه‌ها کنار یکدیگر پیشنهاد شده است. روش‌های قطعی، روش‌های دقیقی هستند که یافتن بهترین جواب را برای مسئله تضمین می‌کنند [۳]. اولین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه

کلمات کلیدی

مارکر، چیدمان، الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری

*مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: peivandi@yazd.ac.ir

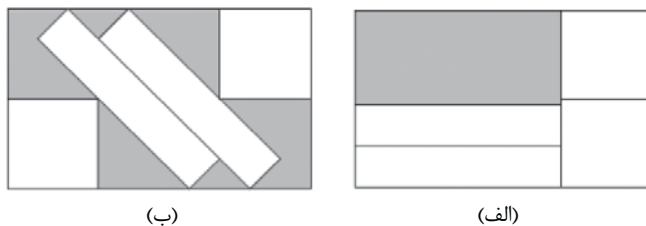


شکل ۱- نمونه‌ای از چیدمان قطعه‌ها در شیء اصلی.

اولیه، بعضاً در کمترین زمان ممکن است. در فرایند چیدمان باید اطمینان حاصل شود که هیچ هم‌پوشانی بین قطعه‌ها وجود نداشته باشد. شکل ۱ نمونه‌ای از چیدمان قطعه‌ها را نشان می‌دهد.

Dyckhoff [۱۴] در ۱۹۹۰ دسته‌بندی اسلوب‌مند از مسائل چیدمان را ارائه داد. وی مسائل چیدمانی را که دارای ابعاد فضایی و غیرفضایی بودند، از هم متمایز کرد. گروه اول شامل مسائل برش و چیدمانی هستند که در سه بعد از فضای اقلیدسی تعریف می‌شوند. گروه دیگر خواص انتزاعی مسائل برش و چیدمان مانند ابعاد غیرفضایی وزن، زمان و هزینه را نیز پوشش می‌دهد. سامانه دسته‌بندی Dyckhoff، چهار ویژگی مهم مسائل برش و چیدمان را در برمی‌گیرد که عبارت از تعداد بعد مسئله، نوع واگذاری، نوع اشیاء و نوع قطعات است. این دسته‌بندی به‌طور خلاصه در جدول ۱ آمده است.

پیچیدگی مسئله چیدمان ارتباط زیادی به شکل هندسی قطعه‌هایی دارد که باید روی اشیاء چیده شوند. با توجه به شکل هندسی قطعه‌ها، می‌توان آن‌ها را به دو گروه دسته‌بندی کرد. گروه اول شامل قطعه‌هایی با شکل‌های منظم که با چند پارامتر توصیف‌شدنی هستند (مانند مستطیل و دایره). گروه دوم متشکل از قطعه‌هایی با شکل‌های نامنظم که شامل شکل‌های نامتقارن و مقعرند [۱۵]. مارکرهایی که قطعه‌هایی با شکل‌های منظم روی آن‌ها چیده شده است، در دو گروه مارکرهای متعامد و نامتعامد دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۲). مارکری متعامد است که اضلاع قطعه‌های چیده شده روی آن، با اضلاع مارکر موازی باشند [۱۶]. در غیر این حالت مارکر نامتعامد است. مارکرهای متعامد نیز به دو گروه، مارکرهایی با چیدمان گیوتینی و چیدمان غیرگیوتینی دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۳). گیوتینی چیدمانی است که در آن به ازای یک الگوی برش مفروض، هر خط برش از یک لبه تا لبه مقابل ورق مورد برش ادامه می‌یابد [۱۷]. شکل ۳ نمونه‌ای از چیدمان گیوتینی و غیرگیوتینی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- (الف) چیدمان متعامد و (ب) چیدمان نامتعامد [۱۵].

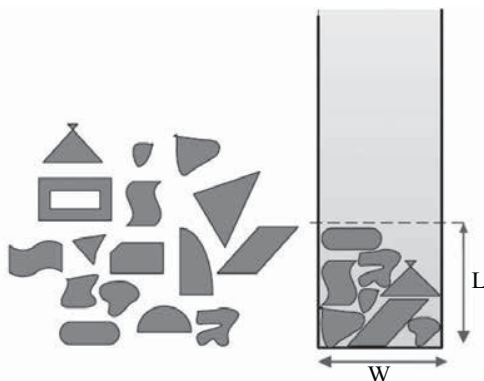
به ۱۹۵۰ میلادی باز می‌گردد که پژوهشگران استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی را در حل مسئله برش مواد اولیه بررسی کردند [۷-۴]. به دنبال آن سایر شیوه‌ها مانند جست و جوی درختی (tree-search algorithm) [۸-۱۰]، برنامه‌ریزی پویا (dynamic programming) [۱۱،۱۲] و روش شاخه و حد (branch-and-bound algorithm) [۱۳] به‌عنوان روش‌های قطعی در این زمینه ارائه شد. در روش‌های قطعی، درجه پیچیدگی محاسبات با افزایش اندازه مسئله به شکل تصاعدی افزایش می‌یابد. بنابراین، یافتن پاسخ بهینه با استفاده از روش‌های دقیق برای مسائل چیدمان در وسعت زیاد در زمان معقول امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل امروزه برای حل این نوع مسائل از الگوریتم‌های ابتکاری و فرآینتکاری استفاده می‌شود. روش‌های مزبور این قابلیت را دارند که جواب نزدیک به بهینه را در زمان قابل قبول معرفی کنند. در مقاله حاضر تلاش شده است تا روش‌های ابتکاری و فرآینتکاری استفاده شده در حل مسائل چیدمان به‌طور خلاصه معرفی شده و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه ارزیابی و تحلیل شوند.

شرح مسئله

مسائل چیدمان شامل پیدا کردن آرایشی مناسب از چیدمان مجموعه‌ای محدود از قطعه‌ها در یک یا چند شیء مشخص است. هدف رایج این فرایند، به حداکثر رساندن بهره‌برداری و به حداقل رساندن دورریز مواد

جدول ۱- دسته‌بندی پیشنهادی Dyckhoff برای مسائل چیدمان و برش [۱۴].

ویژگی	نماد	توضیحات
ابعاد تعریف‌شده	۱	یک‌بعدی
	۲	دو‌بعدی
	۳	سه‌بعدی
نوع واگذاری	N	N بعدی (N > ۳)
	B	تمام اشیاء استفاده شده و تنها تعدادی منتخب از قطعه‌ها روی این اشیاء چیده می‌شوند.
دسته‌بندی اشیاء	V	تمام قطعه‌ها روی تعدادی منتخب از اشیاء چیده می‌شوند.
	O	یک شیء
	I	چند شیء با اندازه‌های یکسان
	D	چند شیء با اندازه‌های متفاوت
دسته‌بندی قطعه‌ها	F	تعداد کمی قطعه با شکل‌های متفاوت
	M	تعداد زیادی قطعه با شکل‌های خیلی متفاوت
	R	تعداد زیادی قطعه با شکل‌های کمی متفاوت (غیرمتجانس)
C	قطعه‌های متجانس	



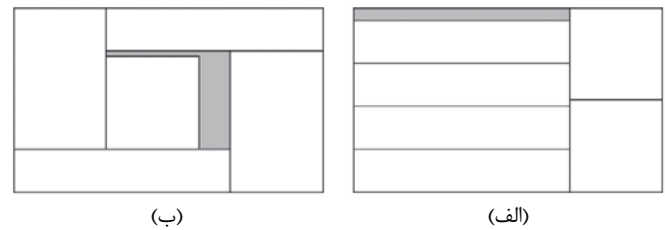
شکل ۴- نمایی از چیدمان دوبعدی نواری قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم که در آن W عرض محدود و L طول مارکر در راستای طول نامحدود آن است. را نشان می‌دهد.

محاسبه بازده چیدمان

بازده یک چیدمان از قطعه‌ها، در درجه اول با توجه به طول آن معین می‌شود، ولی این پارامتر به تنهایی برای توصیف کیفیت چیدمان کافی نیست. زیرا ممکن است، در مواردی چند چیدمان مختلف طول یکسانی داشته و اما فضای خالی بین قطعه‌ها در هر چیدمان متفاوت باشد.

به‌عنوان مثال، هر دو چیدمان در شکل ۵ طول یکسانی دارند. اما، چیدمان سمت چپ، چیدمانی با کیفیت بهتر است، زیرا فضاهای خالی کمتری بین قطعه‌های مستطیل‌شکل وجود دارد. هر اندازه مجموع فضاهای خالی بین قطعه‌ها کمتر باشد، فضای بیشتری از شیء باقی می‌ماند که می‌تواند به‌طور کامل یا جزئی در فرایندهای چیدمان بعدی استفاده شوند (شکل ۵) [۱۵].

بنابراین برای ارزیابی کیفیت چیدمان از هر دو پارامتر، طول و اندازه فضای باقی‌مانده از شیء استفاده می‌شود و هر دو مقدار به شکل یک مجموع وزنی در تابع برازندگی چیدمان گنجانده می‌شوند. معادله (۱) تابع برازندگی چیدمان را نشان می‌دهد که در آن F, W, L, P و A به ترتیب نشان‌دهنده درصد برازندگی چیدمان، طول چیدمان، عرض شیء، مجموع



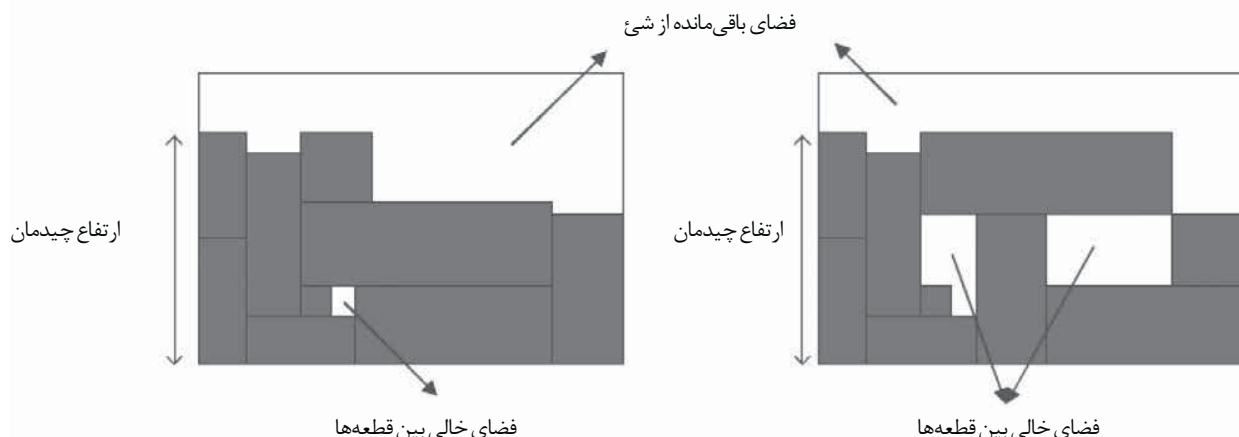
شکل ۳- (الف) چیدمان گیوتینی و (ب) چیدمان غیرگیوتینی [۱۵].

از نگاه دیگر، مسائل چیدمان با توجه به نوع مواد اولیه، به دو دسته چیدمان بین (bin packing) و چیدمان نواری (strip packing) دسته‌بندی می‌شوند. صنایعی که مواد اولیه آن به شکل رول در دسترس باشد با مسئله چیدمان از نوع نواری مواجه هستند و هدف در این نوع مسائل کاهش طول استفاده شده از شیء است. مسئله چیدمان بین، به چیدمان روی چند شیء با ابعاد ثابت (ورق) اشاره دارد. در این نوع چیدمان، هدف پیدا کردن مجموعه‌ای از اشیاست که تمام قطعه‌ها روی آن مستقر شده و مقدار مواد اولیه استفاده شده به حداقل مقدار برسد.

مسائل چیدمان دوبعدی نواری قطعه‌های نامنظم

صنعت پوشاک طی عملیات طراحی مارکر، با مسئله چیدمان از نوع چیدمان دوبعدی نواری قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم درگیر است. این نوع مسئله چیدمان با نام مارکرسازی نیز شناخته می‌شود. مارکر کاغذی با عرض ثابت و طولی نامحدود است که به‌عنوان راهنمای برش استفاده می‌شود [۲۰-۱۸]. ویژگی‌های اصلی این نوع مسئله چیدمان به‌طور خلاصه به شرح زیر است:

- یک شیء واحد با عرض ثابت و طول نامحدود (مارکر)،
 - مجموعه‌ای از قطعه‌ها که ممکن است، شامل قطعه‌ها با شکل‌های یکسان نیز باشند (قطعه‌های الگو)،
 - قطعه‌ها می‌توانند به شکل‌های متقارن و نامتقارن، محدب و مقعر باشند،
 - قطعه‌ها امکان چرخش به اندازه زاویه‌های مشخصی دارند و
 - قطعه‌ها باید بدون هم‌پوشانی روی شیء جاگذاری شوند.
- شکل ۴ نمایی از عمل چیدمان دوبعدی نواری قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم



شکل ۵- دو چیدمان با طول یکسان و فضای باقی‌مانده از شیء متفاوت.

مساحت قطعه‌ها و مساحت مناطق باقی‌مانده از شیء است:

$$F = (a \times \left(\frac{P}{L \times W}\right) + b \times \left(\frac{A}{L \times W}\right)) \times 100 \quad (1)$$

اندازه ضرایب a و b به‌طور تجربی به ترتیب $0/7$ و $0/3$ معین شده است [۱۵]. اما در صنعت نساجی، مناطق باقی‌مانده از شیء غیرقابل استفاده مجدد هستند. بنابراین، برای ارزیابی کیفیت چیدمان فقط از پارامتر طول چیدمان استفاده می‌شود. معادله (۲) تابع برازندگی چیدمان مارکر را در صنعت نساجی نشان می‌دهد:

$$F = \left(\frac{P}{L \times W}\right) \times 100 \quad (2)$$

کاربرد الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در حل مسائل چیدمان مارکر

الگوریتم‌های ابتکاری جاگذاری

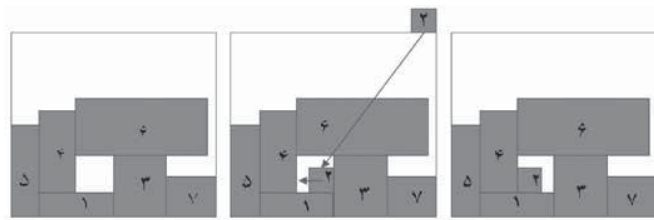
در روش‌های مختلف حل مسائل چیدمان از انواع الگوریتم‌های ابتکاری جاگذاری برای تبدیل مجموعه‌ای از قطعه‌ها، به چیدمانی معتبر استفاده می‌شود. چیدمان معتبر، چیدمانی است که در آن قطعه‌ها هیچ نوع هم‌پوشانی با یکدیگر ندارند و نیز به‌طور کامل در داخل شیء مدنظر قرار گرفته باشند.

الگوریتم‌های ابتکاری جاگذاری با قراردادن گام‌به‌گام قطعه‌ها یا جابه‌جایی قطعه‌های جاگذاری شده روی شیء، مطابق قانون‌های ویژه، برای تولید چیدمانی معتبر استفاده می‌شوند [۲۱]. در ادامه، برخی الگوریتم‌های جاگذاری معرفی می‌شوند که به دفعات در حل مسائل چیدمان استفاده شده‌اند.

الگوریتم جاگذاری پایین-چپ

Baker و همکاران الگوریتم جاگذاری پایین-چپ (bottom left-algorithm) را معرفی کردند [۲۲-۲۴]. در این روش جاگذاری، حرکت هر قطعه از گوشه سمت راست بالای شیء شروع می‌شود. ابتدا، قطعه تا جایی که امکان دارد، به سمت پایین شیء آمده و سپس تا جایی که امکان دارد، به سمت چپ شیء منتقل می‌شود. این حرکت‌های عمودی و افقی تا زمانی تکرار می‌شوند که قطعه به موقعیتی که دیگر امکان حرکت نداشته باشد، برسد.

شکل ۶ چیدمان دنباله‌ای از قطعه‌های مستطیلی با جای گشت ۲، ۴، ۶، ۷، ۳، ۱ و ۵ را به وسیله الگوریتم جاگذاری پایین-چپ نشان می‌دهد.



شکل ۷- جاگذاری دنباله‌ای از قطعه‌های مستطیلی با جای گشت ۲، ۴، ۶، ۷، ۳، ۱ و ۵ به کمک الگوریتم جاگذاری پایین-چپ-جاذبه‌دار.

الگوریتم جاگذاری پایین-چپ-جاذبه‌دار

Teng و Liu [۲۵] روش جاگذاری دیگری را براساس الگوریتم جاگذاری پایین-چپ، طراحی و معرفی کردند. در این روش نیز مانند روش پایین-چپ، شروع حرکت قطعه از گوشه سمت راست بالای شیء است و ابتدا قطعه تا جایی که امکان دارد، به سمت پایین شیء منتقل می‌شود.

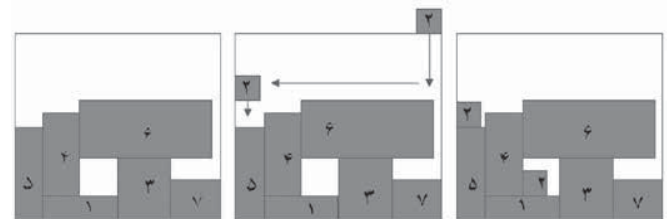
در مرحله بعد، قطعه تا موقعیتی که امکان حرکت به پایین را ندارد، در صورت امکان به سمت چپ منتقل می‌شود. بدین ترتیب، اگر حین حرکت قطعه به سمت چپ امکان حرکت آن به پایین به‌وجود آمد، پیش از رسیدن به چپ‌ترین موقعیت به پایین‌ترین موقعیت ممکن منتقل می‌شود. این روند تا زمانی تکرار می‌شود که قطعه به موقعیتی پایدار برسد، شکل ۷ جاگذاری دنباله‌ای از قطعه‌های مستطیلی را به روش پایین-چپ-جاذبه‌دار (BLLT-algorithm) نشان می‌دهد.

الگوریتم جاگذاری پایین-چپ-جهشی

Chazelle [۲۶] الگوریتم جاگذاری از دسته الگوریتم‌های جاگذاری پایین-چپ را با نام پایین-چپ-جهشی (bottom-left-fill-algorithm) طراحی کرد. جاگذاری به روش پایین-چپ-جهشی شامل دو مرحله است. در مرحله اول، قطعه در پایین‌ترین موقعیت از شیء جاگذاری می‌شود که فضای خالی کافی برای قرار گرفتن داشته باشد و در مرحله دوم قطعه به چپ‌ترین موقعیت ممکن منتقل می‌شود. شکل ۸ این نوع جاگذاری را نشان می‌دهد. از آنجا که در روش پایین-چپ-جهشی، تولید چیدمان براساس تخصیص پایین‌ترین منطقه‌های به اندازه کافی بزرگ و خالی از شیء به قطعه و نه براساس مجموعه حرکت‌های پایین-چپ است، در نتیجه، این روش قابلیت پرکردن شکاف‌های موجود در شیء را دارد. این روش در مقایسه با روش‌های پایین-چپ و پایین-چپ-جاذبه‌دار، چیدمان‌هایی با جاگذاری‌های متراکم‌تری تولید می‌کند.



شکل ۸- جاگذاری دنباله‌ای از قطعه‌های مستطیلی با جای گشت ۲، ۴، ۶، ۷، ۳، ۱ و ۵ به کمک الگوریتم جاگذاری پایین-چپ-جهشی.



شکل ۶- جاگذاری دنباله‌ای از قطعه‌های مستطیلی با جای گشت ۲، ۴، ۶، ۷، ۳، ۱ و ۵ به کمک الگوریتم جاگذاری پایین-چپ.

پایین‌ترین تورفتگی تغییر می‌کند. پس از مشخص‌شدن پایین‌ترین تورفتگی از شیء، الگوریتم بهترین برازش، مناسب‌ترین قطعه برای جاگذاری در آن تورفتگی را انتخاب می‌کند. در این مرحله، امکان به‌وجود آمدن سه حالت وجود دارد که عبارت‌اند از:

(الف) پیداشدن قطعه‌ای که طول یا عرض آن به‌طور دقیق برابر با عرض تورفتگی باشد.

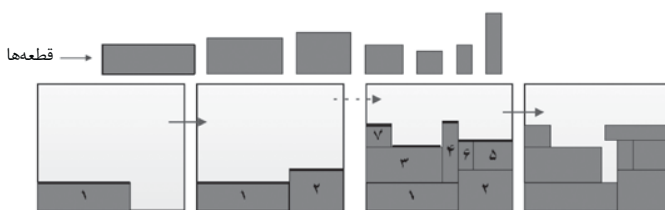
(ب) پیداشدن تنها قطعه‌ای که ابعاد آن کوچک‌تر از عرض تورفتگی باشد.

(ج) ابعاد تمام قطعه‌های باقی‌مانده از عرض تورفتگی بیشتر باشد. در صورت پدیدآمدن حالت (الف)، بهترین جاگذاری انجام می‌شود. اما اگر حالت (ب) پدید آید، برای جاگذاری قطعه در تورفتگی باید از یکی از روش‌های جاگذاری در تورفتگی (niche-placement policies) که عبارت‌اند از روش‌های جاگذاری بلندترین همسایه (place next to tallest neighbor)، کوتاه‌ترین همسایه (place next to shortest neighbor) و چپ‌ترین موقعیت (left most) استفاده شود. اگر حالت (ج) پدید آید، باید فضای تورفتگی به‌عنوان ضایعات در نظر گرفته شود، زیرا هیچ یک از قطعه‌های باقی‌مانده قابل جاگذاری در آن فضا نیستند. در انتهای عملیات جاگذاری، اگر طول قطعه‌های جاگذاری شده به شکل عمودی، از قطعه‌های مجاور آن‌ها از حدی بیشتر باشد، جاگذاری این قطعه‌ها به شکل افقی روی قطعه‌های چیده شده بررسی می‌شود. در شکل ۱۰ جاگذاری مجموعه‌ای از قطعه‌ها با الگوریتم بهترین برازش و براساس روش جاگذاری بلندترین همسایه نشان داده شده است.

الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده در حل مسائل چیدمان مارکر
برای غلبه بر نقطه ضعف اصلی الگوریتم‌های ابتکاری که ضعف نهفته در ناتوانی برای فرار از بهینه محلی دارند، از راهبردهای جست‌وجوی فراابتکاری می‌توان استفاده کرد. الگوریتم‌های جست‌وجوی فراابتکاری به کمک راهبردهای ویژه مبتنی بر استفاده از نتایج موجود با الهام گرفتن از فرایندهای طبیعی یا فیزیکی قابلیت پیدا کردن چیدمان مناسب، مؤثر و کارآمد را دارند. در ادامه، برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری معرفی می‌شوند که به دفعات در حل مسائل چیدمان استفاده می‌شوند.

الگوریتم ژنتیک

از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری که در حل مسائل چیدمان بسیار مورد توجه قرار گرفته است، الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک، الگوریتمی مبتنی بر تکرار بوده و با تقلید از تعدادی از فرایندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی طراحی شده است [۲۹]. الگوریتم ژنتیک روی فرزندان



شکل ۱۰- جاگذاری قطعه‌ها با الگوریتم بهترین برازش براساس روش جاگذاری بلندترین همسایه.

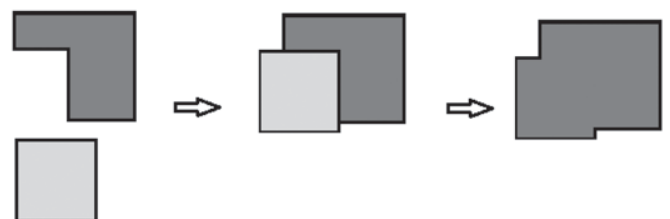
الگوریتم جاگذاری انتخاب بهترین قطعه

الگوریتم انتخاب بهترین قطعه (TOPOS) را Oliveira و همکاران [۲۷] ارائه دادند. این الگوریتم براساس روش چندضلعی‌های نامتناسب (no-fit polygon, NFP) طراحی شد. روش چندضلعی‌های نامتناسب، تمام موقعیت‌هایی را توصیف می‌کند که دو قطعه می‌توانند در کنار یکدیگر قرار گیرند. در اجرای الگوریتم انتخاب بهترین قطعه، در مرحله اول، قطعه با توجه به معیارهای مانند مساحت و طول به‌عنوان قطعه اولیه انتخاب می‌شود. در مرحله دوم، قطعه‌ای دیگر با معیار مدنظر در مرحله اول، انتخاب شده، سپس با استفاده از روش چندضلعی‌های نامتناسب، تمام موقعیت‌های ممکن برای جاگذاری دو قطعه در کنار یکدیگر بررسی می‌شود. در نهایت، به گونه‌ای که، قطعه‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی نداشته باشد، عرض کل مجموعه کمتر از عرض شیء باشد و نیز چیدمانی با کمترین طول تولید شود، موقعیتی برای جاگذاری قطعه دوم در تماس با قطعه اول انتخاب می‌شود. حال دو قطعه‌ای که در کنار یکدیگر جاگذاری شده‌اند، به‌عنوان یک قطعه شناخته می‌شوند، که قطعه بعدی باید در کنار این قطعه جاگذاری شود. تا تمام شدن همه قطعه‌های مرحله دوم الگوریتم تکرار می‌شود. در طول اجرای الگوریتم، ممکن است، موقعیت مجموعه قطعه‌های جاگذاری شده در مرحله‌های پیشین که به‌عنوان یک قطعه شناخته می‌شوند، جابه‌جا شود. شکل ۹ جاگذاری دو قطعه به روش انتخاب بهترین قطعه را نشان می‌دهد.

الگوریتم جاگذاری بهترین برازش

روش بهترین برازش (best fit) از دیگر روش‌های ابتکاری مفید، برای حل مسائل چیدمان قطعه‌های است که Burke و همکاران [۲۸] معرفی کردند. الگوریتم بهترین برازش با بررسی پایین‌ترین فضای خالی موجود در شیء و جاگذاری مناسب‌ترین قطعه‌ها در آن فضاها، چیدمانی با کیفیت خوب تولید می‌کند. برخلاف روش‌های پایین-چپ و پایین-چپ-جهشی که دنباله‌هایی از قطعه‌ها را به ترتیب روی شیء جاگذاری می‌کنند، الگوریتم بهترین برازش در هر مرحله به‌طور پویا، مناسب‌ترین قطعه را انتخاب می‌کند. جاگذاری به روش الگوریتم بهترین برازش، شامل دو مرحله اصلی است. در مرحله اول، الگوریتم پایین‌ترین تورفتگی از شیء را جست‌وجو می‌کند و در مرحله دوم برای پیدا کردن مناسب‌ترین قطعه، برای جاگذاری در تورفتگی، فهرست قطعه‌های باقی‌مانده را بررسی می‌کند.

ابتدای عمل جاگذاری، هیچ قطعه‌ای روی شیء قرار ندارد، بنابراین پایین‌ترین تورفتگی برای جاگذاری قطعه، کل عرض شیء است. در مراحل بعد به ترتیب که قطعه‌های جدید جاگذاری می‌شوند، موقعیت و عرض



شکل ۹- جاگذاری دو قطعه به روش انتخاب بهترین قطعه.

انجماد تدریجی

از دیگر روش‌های فرابیتکاری که در حل مسائل چیدمان به کار گرفته شده، الگوریتم انجماد تدریجی است. الگوریتم انجماد تدریجی را Kirkpatrick و همکاران [۴۴] در اوایل ۱۹۸۰ معرفی کردند. این الگوریتم روشی تصادفی است که از سازوکار آماری برای یافتن جواب‌های مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌کند. این الگوریتم ابتدا از یک جواب اولیه شروع می‌کند، سپس در یک حلقه تکرار به جواب‌های همسایه حرکت می‌کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم آن را به عنوان جواب فعلی قرار می‌دهد (به آن حرکت می‌کند)، در غیر این حالت، الگوریتم آن جواب را با احتمال $\exp(-\Delta T/E)$ به عنوان جواب فعلی می‌پذیرد. در این رابطه ΔE تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه است و T پارامتری به نام دماست. در هر دما، چند تکرار اجرا می‌شود، سپس دما به آرامی کاهش داده می‌شود. در گام‌های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می‌شود تا احتمال بیشتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، در گام‌های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود دارد. بنابراین، الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می‌شود [۴۵]. از پژوهشگرانی که از الگوریتم انجماد تدریجی برای حل مسائل چیدمان استفاده کرده‌اند، [۴۶] Dowsland و Lai، [۴۷] Chan، [۴۸] Faina و [۴۹] Beisiegel و همکاران هستند.

جست و جو ممنوع

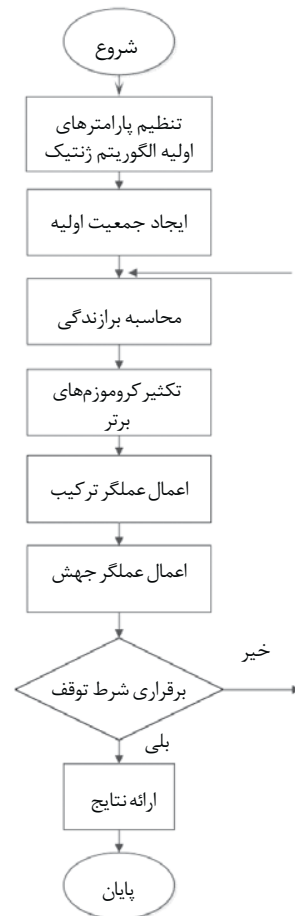
سومین الگوریتم فرابیتکاری که معمولاً در حل مسائل چیدمان از آن استفاده می‌شود، الگوریتم جست‌وجو ممنوع است. الگوریتم جست‌وجو ممنوع روشی عمومی است که Glover [۵۰] در ۱۹۸۹ پیشنهاد داده است. در این روش، عملکرد حافظه انسان شبیه‌سازی شده است. این الگوریتم از یک راه‌حل شروع کرده و در اطراف آن به جست‌وجوی همسایگی می‌پردازد و بهترین را انتخاب می‌کند. همچنین، این الگوریتم فهرستی از حرکت‌های منع شده را تنظیم می‌کند و این فهرست همواره براساس آخرین جست‌وجوها منظم می‌شود. این روش از انجام هر نوع عملیات مجدد و تکراری جلوگیری می‌کند. از جمله پژوهشگرانی که عملکرد الگوریتم جست‌وجو ممنوع را برای حل مسائل چیدمان ارزیابی کرده‌اند، عبارت از Lodi و همکاران [۵۴-۵۱]، Hopper و Turon [۳۶-۳۹]، Alvarez و همکاران [۵۵-۵۷]، Burke و همکاران [۵۸] و Pureza و Morabito [۵۹] هستند. جزئیات الگوریتم جست‌وجو ممنوع در نمودار جریان شکل ۱۲ نشان داده شده است.

مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده

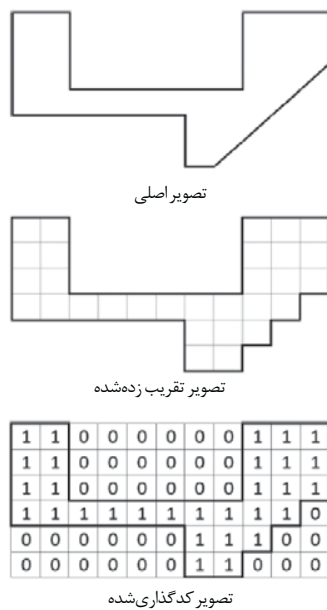
برای حل مسائل چیدمان دوبعدی نواری شکل‌های نامنظم Marques [۶۰] روشی براساس الگوریتم انجماد تدریجی را برای کاهش ضایعات برش قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم از روی صفحه‌های مستطیلی دوبعدی ارائه کرد. نتایج وی نشان داد، الگوریتم انجماد تدریجی ابزار مناسبی برای حل مسائل چیدمان است.

Fujita و همکاران [۶۱] روش ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و یک الگوریتم بهینه‌سازی محلی را برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها

یک نسل (مجموعه جواب‌های مسئله در یک مرحله)، از قوانین موجود در علم ژنتیک تقلید کرده و با به کار بردن آنها، به تولید فرزندان با ویژگی‌های بهتر (جواب‌های نزدیک‌تر به هدف مسئله) می‌پردازد. در هر نسل به کمک فرایندی انتخابی که براساس ارزش جواب‌هاست و تولید مثل فرزندان (جواب‌های) جدید، تقریباً بهتری از جواب نهایی را به دست می‌آورد (جواب‌ها). پیروزشدن فرزند شایسته‌تر (جواب بهتر) و انتخاب شدن آنها به کمک الگوریتم ژنتیک برای تولید مثل بعدی و کنار رفتن فرزندان یا همان ژن‌های مغلوب که در حقیقت جواب‌های دور از هدف مسئله هستند، روشی کارآمد است، برای حل مسائل پیچیده به‌ویژه مسائل پیچیده بهینه‌سازی که باید بهترین جواب را از میان جواب‌های قابل قبول انتخاب کرد، پژوهشگرانی مانند Falkenauer و Delchambre [۳۰، ۳۱]، Hwang و همکاران [۳۲]، Jakobs [۲۴]، Runarsson و همکاران [۳۳]، Dagli و Poshyanonda [۳۴]، Liu و Teng [۳۵]، Hopper و Turton [۳۶-۳۹]، Wang و Valenzuela [۴۰]، Bortfeldt [۴۱]، Goncalves و Resende [۴۲] و Burke و همکاران [۴۳] مطالعاتی روی الگوریتم ژنتیک، به عنوان ابزاری برای حل مسائل چیدمان انجام داده‌اند. جزئیات الگوریتم ژنتیک در نمودار جریان شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نمودار جریان الگوریتم ژنتیک.

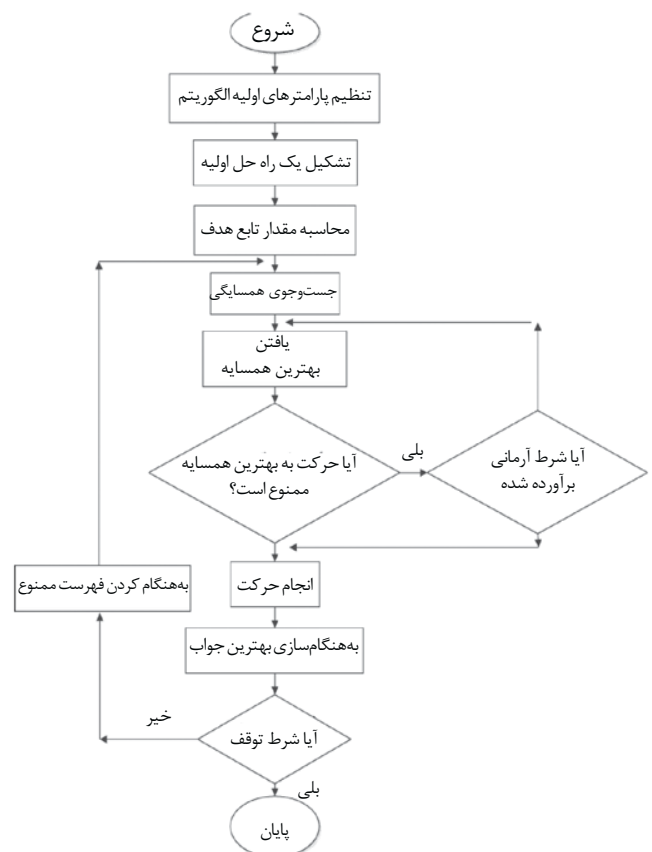


شکل ۱۳ - تقریب‌زنی یک قطعه به روش پیکسلی [۶۳].

مربعی تقریب زده می‌شود. سپس قطعه کدگذاری شده و به سلول‌های داخل و خارج از قطعه، کدهای متفاوتی اختصاص داده می‌شود. برای این مرحله معمولاً از کدگذاری دودویی (binary) استفاده می‌شود. شکل ۱۳ تقریب‌زنی یک قطعه به روش پیکسلی را نشان می‌دهد.

Jakobs [۲۴] روشی براساس الگوریتم ژنتیک را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌هایی با شکل‌های چندضلعی محدب و مقعر ارائه کرد. وی در این روش، ابتدا چندضلعی‌های نامنظم را با استفاده از مستطیل‌هایی تقریب زد و از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کاهش دهنده برای پیدا کردن چیدمانی مناسب از قطعه‌ها استفاده کرد. در این روش به این دلیل که پس از تولید هر نسل به کمک الگوریتم ژنتیک و پیش از محاسبه بازده چیدمان، الگوریتم کاهش دهنده اعمال می‌شود، در نتیجه ویژگی‌های اصلی چیدمان پس از استفاده از الگوریتم کاهش دهنده پدید می‌آید و بنابراین ویژگی‌های اصلی چیدمان قابل انتقال با الگوریتم ژنتیک به نسل‌های بعد نیست.

Burke و Kendall [۶۵] برای اولین بار از الگوریتم کلونی مورچگان برای حل این نوع مسائل استفاده کردند و آن را با روش‌هایی که براساس الگوریتم ژنتیک، جست و جو ممنوع و انجماد تدریجی بود، مقایسه کردند. Cheng و Rao [۶۶] روش ترکیبی براساس الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ابتکاری فشرده‌سازی را برای بهینه‌سازی چیدمان تعداد قطعه‌های زیاد و با محدودیت در دوران، ارائه کردند. Martins [۶۷، ۶۸] روش ترکیبی براساس الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جاگذاری پایین-چپ-جهشی و Bennell و Dowsland روش ترکیبی براساس الگوریتم جست و جو ممنوع را برای حل مسائل چیدمان دوبعدی نواری قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. Babu و Babu [۶۹] و Tay و همکاران [۷۰] و نیز Yeung و Tang [۷۱] روش‌های ترکیبی را براساس الگوریتم ژنتیک، برای حل مسائل چیدمان قطعه‌های الگو در صنعت نساجی ارائه کردند. Hifi و Hallah [۷۲] دو الگوریتم ترکیبی را براساس الگوریتم ژنتیک، برای حل



شکل ۱۲ - نمودار جریان الگوریتم جست و جو ممنوع.

با شکل‌های چندضلعی محدب، ارائه کردند. آنها در روش خود از الگوریتم ژنتیک، برای پیدا کردن مناسب‌ترین موقعیت برای جاگذاری قطعه‌ها و از الگوریتم بهینه‌سازی محلی، در مرحله جاگذاری، برای تبدیل دنباله اعداد به چیدمان استفاده کردند. الگوریتم بهینه‌سازی محلی مدنظر، با استفاده از یک روش شبه‌نیوتنی در موقعیت‌های نسبی بین قطعه‌های تغییراتی ایجاد می‌کند. نتایج نشان داده است، در این روش، مرحله ارزیابی چیدمان و محاسبه مقدار هم‌پوشانی قطعه‌ها، زمان بر است.

Blazewicz و همکاران [۶۲] روشی با استفاده از الگوریتم جست و جو ممنوع را برای حل این نوع مسائل ارائه کردند. Ferreira و Oliveira [۲۷] از الگوریتم انجماد تدریجی، در حل مسائل چیدمان استفاده کردند. آنها با الگوریتم انجماد تدریجی بهترین فاصله طولی و عرضی قطعه‌ها را از مبدأ شی و نیز بهترین زاویه دوران را برای قطعه‌ها مشخص کردند.

Hon و Ismail [۶۳، ۶۴] روش‌هایی را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌هایی با شکل‌های چندضلعی محدب و مقعر ارائه کردند. آنها در پژوهشی، قطعه‌ها با شکل‌های محدب و مقعر یکسان را دوبه‌دو خوشه‌بندی و در روش خوشه‌بندی خود از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. همچنین، آنها در پژوهشی از الگوریتم ژنتیک برای چیدمان مجموعه‌ای از قطعه‌ها با شکل‌های چندضلعی استفاده کردند. در هر دو پژوهش از روش پیکسلی برای تقریب‌زنی قطعه‌ها با شکل‌های چندضلعی استفاده شد. در روش پیکسلی، ابتدا شکل هندسی یک قطعه از مجموعه‌ای از سلول‌های

در این روش، برای رهایی از بهینه محلی الگوریتم فراابتکاری ای با نام الگوریتم جست و جوی محلی هدایت شده به کار گرفته می‌شود.

Selow و همکاران [۸۰] چند روش را براساس الگوریتم ژنتیک و روش‌های ابتکاری جاگذاری، برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. Lee و همکاران [۸۱] الگوریتم جدیدی با نام مکان‌یابی سریع و حرکت را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم و پیچیدگی زیاد، پیشنهاد دادند. آنها در روش خود ابتدا قطعه‌ها، با شکل‌های نامنظم را با چندضلعی‌هایی محصور کرده و سپس از الگوریتم مکان‌یابی سریع و حرکت، برای چیدمان گام‌به‌گام این چندضلعی‌ها استفاده کردند. Lee و همکاران در نهایت این روش را بررسی کرده و نتایج حاصل از آن را با روش‌های ارائه شده توسط سایر نویسندگان مقایسه کردند. مشخص شد، الگوریتم مکان‌یابی سریع و حرکت، در مقایسه با سایر روش‌ها، زمان محاسبات کمتر و نیز بازده بیشتری دارد. Liu و He [۸۲] روشی را براساس ترکیب الگوریتم ژنتیک و نوعی الگوریتم ابتکاری جاگذاری، برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم در صنعت کفش ارائه کردند. نتایج نشان داد، روش جدید این قابلیت را دارد که چیدمانی با بازده بیشتر و در زمان کمتر، نسبت به سایر روش‌های استفاده شده در صنعت کفش ارائه دهد.

Umetani و همکاران [۸۳] روش ابتکاری را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه دادند. آنها ابتدا الگوریتم ابتکاری ای طراحی کردند که قابلیت جست‌وجوی مکانی با کمترین هم‌پوشانی را برای جاگذاری هر قطعه دارند، سپس آن را با نوعی الگوریتم جست‌وجوی محلی هدایت شده ترکیب کردند. Martins و Tsuzuki [۸۴] چند روشی ترکیبی براساس الگوریتم انجماد تدریجی، برای حل این نوع مسائل ارائه و آنها را با هم مقایسه کردند. آنها در روش خود از الگوریتم انجماد تدریجی برای پیدا کردن بهترین زاویه چرخش استفاده کردند و برای جاگذاری قطعه‌ها از الگوریتم پایین - چپ استفاده کردند. همچنین آنها از سه نوع الگوریتم ابتکاری مرتب‌سازی قطعه‌ها، برای بهبود عملکرد الگوریتم پایین - چپ استفاده کردند. نتایج نشان داد، روشی که در آن از ترکیب الگوریتم ابتکاری مرتب‌سازی قطعه‌ها براساس مساحت با الگوریتم ابتکاری پایین - چپ استفاده شده است، نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌ها تولید کرده است. Imamichi و همکاران [۸۵] روش دیگری را برای حل این نوع مسائل ارائه کردند. آنها الگوریتمی را براساس برنامه‌ریزی غیرخطی طراحی کردند که قابلیت جداسازی قطعه‌هایی را دارد که روی شیء با یکدیگر تداخل دارند. همچنین، آنها از الگوریتم دیگری برای تعویض موقعیت دو به دو قطعه‌ها با یکدیگر، برای پیدا کردن موقعیت جدید با تداخل کمتر برای هر قطعه استفاده کردند. Imamichi و همکاران برای حل مسائل چیدمان دو بعدی نواری شکل‌های نامنظم، این دو الگوریتم را با یک الگوریتم جست‌وجوی محلی ترکیب کردند.

Martins و Tsuzuki [۸۴] روشی را براساس الگوریتم فراابتکاری انجماد تدریجی، برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. آنها نیز در روش خود از الگوریتم انجماد تدریجی برای پیدا کردن بهترین موقعیت و زاویه برای جاگذاری قطعه‌ها، استفاده کردند. نتایج نشان داده است الگوریتم پیشنهادی برای چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های مقعر مناسب

مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های منظم و نامنظم ارائه کردند. نتایج نشان داد، این دو روش پیشنهادی قابلیت تولید پاسخ مناسب در زمان قابل قبول را دارند.

Takahara و همکاران [۷۳] روشی را براساس الگوریتم انجماد تدریجی، برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. آنها در روش خود از گروه‌بندی قطعه‌ها استفاده کردند و باعث بهبود عملکرد الگوریتم فراابتکاری شدند. نتایج پژوهش نشان داد، این روش در مقایسه با روش‌هایی که در آن‌ها از الگوریتم‌های فراابتکاری بدون گروه‌بندی استفاده شده است، عملکرد بهتری دارد. Poshyanonda و Dagli [۷۴] از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبکه‌های عصبی، برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم استفاده کردند. در این روش از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن بهترین ترتیب از چیدمان قطعه‌ها استفاده می‌شود. همچنین، آنها الگوریتم جاگذاری را براساس روش لغزشی، از ترکیب با الگوریتم شبکه‌های عصبی طراحی و استفاده کردند. روش پیشنهادی Poshyanonda و Dagli این قابلیت را دارد که چیدمانی با بازده ۸۰٪ تا ۹۵٪ تولید کند. Fischer و Dagli [۷۵] روش ترکیبی براساس الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جاگذاری پایین - چپ را برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. آنها در روش خود از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن بهترین ترتیب و زاویه برای جاگذاری قطعه‌ها استفاده کردند. Crispin و همکاران [۷۶] روشی براساس الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم پیشنهاد کردند. Burke و همکاران [۷۷] الگوریتم ابتکاری جاگذاری جدیدی با نام الگوریتم ابتکاری پایین - چپ - جهشی، را برای چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم و منظم ارائه کردند. Oliveira و Gomes [۷۸] الگوریتم ترکیبی نوینی را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. آنها در مطالعه خود از ترکیب الگوریتم انجماد تدریجی با مدل‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده کردند. مدل‌های برنامه‌ریزی خطی استفاده شده شامل دو الگوریتم جداسازی و فشرده‌سازی بود. الگوریتم فشرده‌سازی، با اعمال مجموعه‌ای از حرکت‌های هماهنگ و مداوم به قطعه‌ها، چیدمانی با بهینه محلی تولید می‌کند. الگوریتم جداسازی، با اعمال حرکت‌هایی به قطعه‌هایی که هم‌پوشانی دارند، هر نوع هم‌پوشانی را برطرف می‌کند. آنان از الگوریتم انجماد تدریجی، برای راهنمایی عمل جست‌وجو در فضای راه حل و به‌دست آوردن بهینه جهانی استفاده کردند. نتایج مطالعه Oliveira و Gomes نشان داد، روش آنها در مقایسه با سایر روش‌ها، زمان محاسبات طولانی دارد، به‌ویژه زمانی که از قطعه‌های بزرگ صنعت پوشاک استفاده می‌شود.

Nielsen و Egeblad [۷۹] روش ترکیبی دیگری را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های چندضلعی ارائه کردند. در این روش راه حل اولیه با روش‌های ساده‌ای همچون الگوریتم پایین - چپ تولید می‌شود. سپس طول چیدمان، با الگوریتم ابتکاری فشرده‌سازی کاهش می‌یابد. فشرده‌سازی چیدمان باعث ایجاد هم‌پوشانی بین قطعه‌ها می‌شود. سپس از الگوریتم جست‌وجوی محلی برای اعمال حرکت‌هایی در جهت‌های مختلف به قطعه‌ها، برای رفع هم‌پوشانی استفاده می‌شود.

کوچک در آن‌ها نیز وجود دارد و راه‌حلی پیشنهاد دادند. روش پیشنهادی آنها شامل دو مرحله است در مرحله اول قطعه‌ها در فضاهای مستطیلی کوچک‌تر دسته‌بندی و سپس این مستطیل‌ها به‌عنوان قطعه‌های جدید به روش‌های ابتکاری روی شئی چیده می‌شوند. نتایج نشان داد، این روش می‌تواند چیدمان‌هایی با بازده ۹۰٪ در زمان قابل‌قبولی تولید کند. Kashkoush و Shalaby [۹۳] روش ترکیبی جدیدی را برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم پیشنهاد کردند. روش پیشنهادی آنها، شامل دو مرحله بهینه‌سازی و جاگذاری بود. در مرحله بهینه‌سازی، از الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات، برای پیدا کردن دنباله‌ای بهینه از قطعه‌ها استفاده می‌شود. برای مرحله جاگذاری، الگوریتم جاگذاری ابتکاری جدید توسعه داده شده است که شامل دو روش پردازش هندسی (تقسیم مثلثاتی و روش پیکسلی) است. الگوریتم جاگذاری ابتکاری شامل دو مرحله جاگذاری اولیه و جاگذاری اصلاحی است. از روش پیکسلی در مرحله اول الگوریتم جاگذاری و از روش تقسیم مثلثاتی در مرحله دوم الگوریتم جاگذاری، برای فشرده‌سازی استفاده می‌شود. آنها در روش خود از روش پیکسلی برای تقریب شکل قطعه‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد الگوریتم پیشنهادی Shalaby و Kashkoush، می‌تواند الگوریتم مناسبی برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم و پیچیدگی هندسی کم باشد.

نتیجه‌گیری

مسائل چیدمان دوبعدی نواری قطعه‌های نامنظم، مسائل بهینه‌سازی هستند که به پیدا کردن آرایش خوبی از چیدمان قطعه‌های متعدد دوبعدی با شکل‌های نامنظم روی سطحی دوبعدی نواری شکل مربوط می‌شوند. بسیاری از صنایع از جمله صنعت نساجی و پوشاک با این نوع مسئله چیدمان در مرحله برش و تهیه الگوی قطعه‌های درگیرند. هدف رایج در مسائل چیدمان، به حداکثر رساندن بهره‌برداری است. مسائل چیدمان از جمله مسائلی هستند که حل دقیق آن‌ها دشوار و در برخی مواقع ناممکن است. پژوهشگران راه‌حل‌های مختلف زیادی را براساس روش‌های ابتکاری، فراابتکاری و ترکیبی برای حل تقریبی این نوع مسائل، ارائه کرده‌اند. با وجود این، به دلیل گستردگی این نوع مسائل، انجام پژوهش‌های بیشتری در این زمینه همچنان ادامه دارد.

مراجع

- Liu H. and Hu Y., Algorithm for 2D irregular-shaped nesting problem based on the NFP algorithm and lowest-gravity-center principle, *J. Zhejiang Univ. Sci.*, 7, 570-576, 2005.
- پیوندی پ، امانی تهران م، لطیفی م، بهینه‌سازی روش جاگذاری الگوها با در نظر گرفتن چندین دسته الگو و چرخش قطعه‌های، پنجمین کنفرانس ملی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.
- Sedgewick R., *Algorithms in C++*, Vol. III, Part 5, Addison-Wesley Longman, Inc., Boston, 2002.
- Dantzig G.B., *Maximisation of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities*, Activity analysis of production allocation, Cowles Commission Monograph, No. 13, John Wiley and Sons Inc., New York, 339-347, 1951.

است. Bennell و Song [۸۶] راه‌حلی را با استفاده از روش جست‌وجوی بیم ارائه کردند. الگوریتم جست‌وجوی بیم، الگوریتم فراابتکاری است که براساس پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین دو رأس از یک نمودار طراحی شده است. آنها [۸۶] اساس کار خود را الگوریتم ابتکاری ارائه شده توسط Oliveira و همکاران [۸۷] قرار دادند که اصطلاحاً الگوریتم انتخاب بهترین قطعه نام دارد. Bennell و Song روش قطعه‌های نامتناسب استفاده شده در الگوریتم ابتکاری انتخاب بهترین قطعه را ارتقا دادند، تابع ارزیابی الگوریتم را بهبود بخشید و زمان محاسبات الگوریتم را کاهش دادند. آنها در روش خود از روش جست‌وجوی بیم، برای پیدا کردن بهترین ترتیب از جاگذاری قطعه‌ها استفاده کردند. از مقایسه نتایج الگوریتم ارائه شده در مقاله Bennell و Song با نتایج مسائل معیار، مشخص شد که این الگوریتم برای حل مسائل چیدمان در زمان کم بسیار کارآمد و مفید است. Leung و همکاران [۸۸] الگوریتم جست‌وجوی محلی را برای حل مسائل چیدمان قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم، توسعه دادند. آنها در روش خود از الگوریتم جست‌وجوی محلی و مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای کاهش مقدار هم‌پوشانی بین قطعه‌ها، در طول فرایند جست‌وجو، استفاده کردند. برای جلوگیری از همگرا شدن الگوریتم به بهینه محلی، آن را با الگوریتم فراابتکاری جست‌وجو ممنوع ترکیب کردند. نتایج نشان داد، الگوریتم پیشنهادی آنها قدرت کافی را برای رقابت با الگوریتم‌های استاندارد در این زمینه ندارد. Junior و همکاران [۸۹] الگوریتم ترکیبی دیگری براساس الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جاگذاری ابتکاری پایین-چپ، را برای حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. آنها در روش خود از روش قطعه‌های نامتناسب نیز برای پیدا کردن بهینه محلی استفاده کردند.

Abeysooriya و Fernando [۹۰، ۹۱] روشی را براساس الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل چیدمان در صنعت پوشاک ارائه کردند. نتایج نشان داد، این روش می‌تواند در حل مسائل چیدمان مفید و کارآمد باشد. آنها [۳۳] روشی ترکیبی دیگری را براساس الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌کردن طرح برش قطعه‌ها با شکل‌های نامنظم ارائه کردند. در این روش از ترکیب نوعی الگوریتم جست‌وجو با الگوریتم ژنتیک، برای کاهش زمان اجرای الگوریتم ژنتیک استفاده شد. نتایج نشان داد، الگوریتم پیشنهادی قابلیت تولید پاسخ‌های مناسب را در زمان کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد. Valle و همکاران [۹۲] حل مسائل چیدمان دوبعدی قطعه‌ها با شکل‌های چندضلعی ساده را بررسی کردند که امکان وجود حفره‌های

5. Roos C., Terlaky T., and Vial J., *Interior Point Methods for Linear Optimization*, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 439-452, 2006.
6. Kantorovich L. and Zagaller V.A., Optimal calculation for subdivision in the material industry, *J. Manuf. Sci. Eng.*, 118, 281-288, 1951.
7. Gilmore P.C. and Gomory R.E., A linear programming approach to the cutting stock problem, *J. Oper. Res.*, 9, 849-859, 1992.
8. Christofides N. and Hadjiconstantinou E., An exact algorithm for orthogonal 2D cutting problems using guillotine cuts, *Eur. J. Oper. Res.*, 83, 21-38, 1995.
9. Haims M.J. and Freeman H., A multistage solution of the template-layout problem, *J. IEEE. Trans. Syst. Sci. Cybern.*, 6, 145-151, 1970.
10. Gilmore P.C. and Gomory R.E., Multistage cutting stock problems of two and more dimensions, *J. Oper. Res.*, 13, 94-120, 1965.
11. Martello S., Monaci M., and Vigo D., An exact approach to the strip-packing problem, *Inf. J. Comput.*, 15, 310-319, 2003.
12. Martello S., Pisinger D., and Vigo D., The three-dimensional bin packing problem, *J. Oper. Res.*, 48, 256-267, 2000.
13. Martello S. and Vigo D., Exact solution of the two-dimensional unite bin packing problem, *J. Manag. Sci.*, 44, 388-399, 1998.
14. Dyckhoff H., Typology of cutting and packing problems, *Eur. J. Oper. Res.*, 44, 145-159, 1990.
15. Hopper E., Two-dimensional packing utilizing evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods, PhD Dissertation, University of Wales, Cardi, 2000.
16. Lins L., Lins S., and Morabito R., An L-approach for packing (l, w) rectangles into rectangular and L-shaped pieces, *J. Oper. Res. Soc.*, 54, 777-789, 2003.
17. Lodi A., Martello S., and Monaci M., Two-dimensional packing problems: A survey, *Eur. J. Oper. Res.*, 141, 241-252, 2002.
18. Catastini A., Cavagna C., Cugini U., and Moro P., A computer-aided design system for pattern grading and marker making in the garment industry, Second International Conference on Computers in Engineering and Building Design, Imperial College London, 1976.
19. Qian J., Hasselknippe B., and Lillehagen F., An interactive computer graphics approach to the problem of nesting of plane parts on a raw steel format, Second International Conference on Computers in Engineering and Building Design, Imperial College London, 1976.
20. Runarsson T.P., Jonsson M.T., and Jensson P., Dynamic dual bin packing using fuzzy objectives, International Conference on Evolutionary Computation, Japan, 1996.
21. Beasley J.E., Algorithms for unconstrained two-dimensional guillotine cutting, *J. Oper. Res. Soc.*, 36, 297-306, 1985.
22. Ortmann F., Heuristics for online rectangular packing problems, PhD Dissertation, Stellenbosch University, 2010.
23. Baker J.E., Adaptive selection methods for genetic algorithms, Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms, 101-111, 1985.
24. Jakobs S., On genetic algorithms for the packing of polygons, *Eur. J. Oper. Res.*, 88, 165-181, 1996.
25. Liu D. and Teng H., An improved BL-algorithm for genetic algorithm of the orthogonal packing of rectangles, *Eur. J. Oper. Res.*, 112, 413-419, 1999.
26. Chazelle B., The bottom-left bin-packing heuristic: An efficient implementation, *J. IEEE. T. Comput.*, 32, 697-707, 1983.
27. Oliveira J.F. and Ferreira J.S., Algorithms for nesting problems, *J. Intell. Manuf.*, 39, 255-276, 1993.
28. Burke E.K., Kendall G., and Whitwell G., A new placement heuristic for the orthogonal stock-cutting problem, *J. Oper. Res.*, 52, 655-671, 2004.
29. Goldberg D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Longman, Boston, USA, 194-201, 1989.
30. Falkenauer E., A hybrid grouping genetic algorithm for bin packing, *J. Heuristic.*, 2, 1381-1231, 1996.
31. Falkenauer E. and Delchambre A., A genetic algorithm for bin-packing and line balancing, *J. IEEE. T. Comput.*, 42, 1186-1192, 1992.
32. Hwang S.M., Cheng Y.K., and Hornig J.T., On solving rectangle bin packing problems using genetic algorithms, *J. IEEE. T. Comput.*, 49, 1583-1590, 1994.
33. Runarsson T.P., Jonsson M.T., and Jensson P., Dynamic dual bin packing using fuzzy objectives, 8th IEEE International Conference on Collaborative, Nagoya, 219-222, 1996.
34. Dagli C.H. and Poshyanonda P., New approaches to nesting rectangular patterns, *J. Intell. Manuf.*, 8, 177-190, 1997.
35. Liu D. and Teng H., An improved BL-algorithm for genetic algorithms of the orthogonal packing of rectangles, *Eur. J. Oper. Res.*, 112, 413-419, 1999.
36. Hopper E. and Turton B.C.H., A genetic algorithm for a 2D industrial packing problem, *J. Comput. Indust. Eng.*, 37, 375-

- 378, 1999.
37. Hopper E. and Turton B.C.H., An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 128, 34-57, 2001.
 38. Hopper E. and Turton B.C.H., A review of the application of meta-heuristic algorithms to 2D strip packing problems, *J. Artif. Intell. Rev.*, 16, 257-300, 2001.
 39. Hopper E. and Turton B.C.H., Problem generators for rectangular packing problems, *J. Studia Inf. Uni.*, 2, 123-136, 2002.
 40. Valenzuela C.L. and Wang P.Y., Heuristics for large strip packing problems with guillotine patterns: An empirical study, Metaheuristic International Conference 2001, Porto, 2001.
 41. Bortfeldt A., A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces, *Eur. J. Oper. Res.*, 172, 814-837, 2006.
 42. Goncalves J.F. and Resende M.G.C., A hybrid heuristic for the constrained two dimensional non-guillotine orthogonal cutting problem, *Inf. J. Comput.*, 123, 102-108, 1998.
 43. Burke E.K., Kendall G., and Whitwell G., A new placement heuristic for the orthogonal stock-cutting problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 52, 655-671, 2006.
 44. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., and Vecchi M.P., Optimization by simulated annealing, *J. Sci.*, 220, 671-680, 1980.
 45. Cerny V., A thermodynamically approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm, *J. Optimiz. Theory. Appl.*, 45, 41-51, 1985.
 46. Dowland K.A., Some experiments with simulated annealing techniques for packing problems, *Eur. J. Oper. Res.*, 68, 389-399, 1993.
 47. Lai K.K. and Chan J.W.M., Developing a simulated annealing algorithm for the cutting stock problem, *Comput. Indus. Eng.*, 32, 115-127, 1997.
 48. Faina L., An application of simulated annealing to the cutting stock problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 114, 542-556, 1999.
 49. Beisiegel B., Kallrath J., Kochetov Y., and Rudnev A., Simulated annealing based algorithm for the 2D bin packing problem with impurities, International Conference of the German Operations Research Society (GOR), Bremen, 2005.
 50. Glover F., Future paths for integer programming and links to artificial intelligence, *J. Comput. Oper. Res.*, 13, 533-549, 1986.
 51. Lodi A., Algorithms for two-dimensional bin packing and assignment problems, PhD Dissertation, University di Bologna, Bologna, 1999.
 52. Lodi A., Martello S., and Vigo D., Approximation algorithms for the oriented two dimensional bin packing problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 112, 158-166, 1999.
 53. Lodi A., Martello S., and Vigo D., Heuristic and met heuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems, *Inform. J. Comput.*, 11, 345-357, 1999.
 54. Lodi A., Martello S., and Vigo D., TS pack: A united taboo search code for multidimensional bin packing problems, *Ann. Oper. Res.*, 131, 203-213, 2004.
 55. Alvarez V.R., Parajon A., and Tamarit J.M., A computational study of LP-based heuristic algorithms for two-dimensional guillotine cutting stock problems, *OR. Spektrum*, 24, 179-192, 2002.
 56. Alvarez V.R., Parajon A., and Tamarit J.M., A tabu search algorithm for large-scale guillotine (un)constrained two-dimensional cutting problems, *J. Comput. Oper. Res.*, 29, 925-947, 2002.
 57. Alvarez V.R., Parreno F., and Tamarit J.M., A Tabo search algorithm for a two-dimensional non-guillotine cutting problem, *Eur. J. Oper. Res.*, 183, 1167-1182, 2007.
 58. Burke E.K., Kendall G., and Whitwell G., A new placement heuristic for the orthogonal stock-cutting problem, *J. Oper. Res.*, 52, 655-671, 2006.
 59. Pureza V. and Morabito R., Some experiments with a simple tabu search algorithm for the manufacturer's pallet loading problem, *J. Comput. Oper. Res.*, 33, 804-819, 2006.
 60. Marques V., Bispo C., and Sentieiro G., A system for the compaction of two dimensional irregular shapes based on simulated annealing, International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1991.
 61. Fujita K., Akagji S., and Kirokawa N., Hybrid approach for optimal nesting using a genetic algorithm and a local minimisation algorithm, *Design Eng. Division.*, 65, 477-484, 1993.
 62. Blazewicz J., Hawryluk P., and Walkowiak R., Using a tabu search approach for solving the two-dimensional irregular cutting problem, *J. Ann. Oper. Res.*, 41, 313-325, 1993.
 63. Ismail H.S. and Hon K.K.B., New approaches for the nesting of two-dimensional shapes for press tool design, *Int. J. Prod. Res.*, 30, 825-837, 1992.
 64. Ismail H.S. and Hon K.K.B., Nesting of two-dimensional shapes using genetic algorithms, *J. Eng. Manuf.*, 209, 115-124, 1995.
 65. Burk E.K. and Kendall G., Applying ant algorithms and the no fit polygon to the nesting problem, 12th Australian Joint

- Conference on Artificial Intelligence,, Australia, 2000.
66. Cheng S.K. and Rao K.P., Large-scale nesting of irregular patterns using compact neighborhood algorithm, *J. Mater. Process. Tech.*, 103, 135-140, 2000.
 67. Martins T.C., Two-dimensional packing utilizing evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods, PhD Thesis, University of Wales, 2000.
 68. Bennell J.A. and Dowsland K.A., Hybridizing tabu search with optimization techniques for irregular stock cutting, *J. Manage. Sci.*, 47, 1160-1172, 2001.
 69. Babu A.R. and Babu N.R., A generic approach for nesting of 2-D parts in 2-D sheets using genetic and heuristic algorithms, *Comput. Aided Design*, 33, 879-891, 2001.
 70. Tay F.E.H., Chong T.Y., and Lee F.C., Pattern nesting on irregular-shaped stock using genetic algorithms, *J. Eng. Appl. Artif. Int.*, 15, 551-558, 2002.
 71. Yeung L.H.W. and Tang W.K.S., A hybrid genetic approach for garment cutting in the clothing industry, *J. IEEE. T. Ind. Elecron.*, 50, 449-455, 2003.
 72. Hifi M. and Hallah R.M., Hybrid algorithm for the two dimensional layout problem: The cases of regular and irregular shapes, *J. Int. Trans. Oper. Res.*, 10, 195-216, 2003.
 73. Takahara S., Kusumoto Y., and Miyamoto S., Solution for textile nesting problems using adaptive metaheuristics and grouping, *Int. J. Soft. Comput.*, 7, 154-159, 2003.
 74. Poshyanonda P. and Dagli C.H., Genetic neuro-neste, *J. Intell. Manuf.*, 15, 201-218, 2004.
 75. Fischer A.D. and Dagli C.H., Employing subgroup evolution for irregular-shape nesting, *J. Intell. Manuf.*, 15, 187-199, 2004.
 76. Crispin A., Clay P., Taylor G., Bayes T., and Reedman D., Genetic algorithm coding methods for leather nesting, *J. Appl. Intell.*, 23, 9-20, 2005.
 77. Burke E.K., Hellier R., Kendall G., and Whitwell G., A new bottom- left-fill heuristic algorithm for the 2D irregular packing problem, *J. Oper. Res.*, 54, 587-601, 2006.
 78. Gomes A.M. and Oliveira J.F., Solving irregular strip packing problems by hybridizing simulated annealing and linear programming, *J. Oper. Res.*, 171, 811-829, 2006.
 79. Egeblad J., Nielsen B.K., and Odgaard A., fast neighborhood search for two and three-dimensional nesting problems, *Eur. J. Oper. Res.*, 183, 49-66, 2007.
 80. Selow R. and Heitor S. L., Genetic algorithms for the nesting problem in the packing industry, International Conference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, 2008,
 81. Lee W.C., Ma H., and Cheng W.B., A heuristic for nesting problems of irregular shapes, *Comput. Aided. Design*, 40, 625-633, 2008.
 82. Liu H. and He Y., One genetic algorithms for shoe making nesting - A Taiwan case, *J. Expert Syst. Appl.*, 36, 1134-1141, 2009.
 83. Umetani S., Yagiura M., Imahori S., Imamichi T., Nonobe K., and Ibaraki T., Solving the irregular strip packing problem via guided local search for overlap minimization, *J. Int. Trans. Oper. Res.*, 16, 661-683, 2009.
 84. Martins T.C. and Tsuzuki M., Simulated annealing applied to the irregular rotational placement of shapes over containers with fixed dimensions, *J. Expert Syst. Appl.*, 37, 1955-1972, 2010.
 85. Imamichi T., Yagiura M., and Nagamochi H., An iterated local search algorithm based on nonlinear programming for the irregular strip packing problem, *Discrete. Optim.*, 6, 345-361, 2009.
 86. Bennell J.A. and Song, X., A beam search implementation for the irregular shape packing problem, *J. Heuristic.*, 16, 167-188, 2010.
 87. Oliveira J.F., Gomes A.M., and Ferreira J.S., TOPOS - A new constructive algorithm for nesting problems, *OR Spektrum.*, 22, 263-284, 2000.
 88. Leung S.C. H., Lin Y., and Zhang D., extended local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem, *J. Comput. Oper. Res.*, 39, 678-686, 2012.
 89. Junior B., Pinheiro P., and Saraiva, R., A hybrid methodology for nesting irregular shapes: Case study on a textile industry, 6th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, Fortaleza, 2013.
 90. Abeysooriya R.P. and Fernando T.G., Hybrid approach to optimize cut order plan solutions in apparel manufacturing, *Int. J. Inform. Technol. Commun. Res.*, 2, 2012.
 91. Valle M.D., Queiroz D., Miyazawa F., and Xavier E., Heuristics for two-dimensional knapsack and cutting stock problems with items of irregular shape, *J. Expert Syst. Appl.*, 39, 12589-12598, 2012.
 92. Abeysooriya R.P. and Fernando T.G., Canonical genetic algorithm to optimize cut order plan solutions in apparel manufacturing, *J. Emerg. Trend. Comput. Inform. Sci.*, 3, 2012.
 93. Shalaby M. and kashkoush M., A particle swarm optimization algorithm for a 2D irregular strip packing problem, *Am. J. Oper. Res.*, 3, 268-278, 2013.