معرفی سامانه نرم افزار جانمایی انواع اشکال بسته‌بندی در وسایل حمل‌ونقلی

علی شجاع سنگچولی [1*]، سید مهدی سجادی فر [2]

تاریخ دریافت مقاله: شهریور ماه ۱۳۹٤

تاریخ پذیرش مقاله: آبان ماه ۱۳۹٤

چکیده

بسته‌بندی به علت تأثیر مستقیم بر عملیات ذخیره‌سازی و آماده‌سازی یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران مربوطه محسوب می‌شود. بسته‌بندی اگرچه در نگاه اوّل سهولت حمل کالاها را برای انسان در ذهن تداعی می‌نماید؛ اما در کنکاش عمیق‌تر متوجّه خواهید شد که اهداف و مقاصد بسیاری وجود دارد که به دنبال آن جابه‌جایی راحت و حمل آسان کالا باعث خواهد شد که به کالا در حین نقل‌وانتقال، ضربات و صدمات کمتری وارد گردد. متأسفانه کشور ما از لحاظ توجّه به هزینه‌های پشتیبانی در رتبه پایینی قرار دارد. مسئله بسته‌بندی کالای ناهمگون سه بعدی کاربردهای زیادی در زنجیره تأمین کالا دارد و توجّه به آن می‌تواند در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل تأثیر قابل توجّهی داشته باشد و موجب ارتقاء جایگاه کشور در این صنعت شود. بدین منظور در این مقاله، به این مسئله و کاربردهای آن پرداخته می‌شود و روش‌های حل مسئله موجود معرفی خواهد شد. در انتهای مقاله نیز نرم‌افزار تهیه شده معرفی و تشریح خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی اقلام ناهمگون سه بعدی، لجستیک، حمل‌ونقل، بسته‌بندی

۱- مقدمه

بسته‌بندی، علم، هنر و فنّاوری محافظت از محصول برای نگهداری، انتقال، توزیع، ذخیره، فروش و استفاده از آن است. بسته‌بندی شامل مراحل طراحی، ارزیابی و تولید بسته‌ها می‌باشد. بسته‌بندی به طور بسیار جامعی بر زندگی ما سایه افکنده به طوری که ما در تمام اطراف خود آنرا مشاهده می‌نماییم. از اقلام مواد غذایی و دارویی گرفته تا کالاهای مصرفی و لوازم خانگی و کالاهای صنعتی و راهبردی مانند محصولات پتروشیمیایی همه با بسته‌بندی مرتبط هستند. رویکردهای متفاوتی نسبت به این مسئله وجود دارد. مانند روش‌های زیباسازی، برچسب‌گذاری و.... در این مقاله منظور از مسئله بسته‌بندی کالا، جنبه لجستیکی آن می‌باشد. این مسئله با نام‌های بین پکینگ[3]، کارگو لودینگ[4] و کانتینر لودینگ[5] مشهور است، از مسائل مهم در زنجیره تأمین به حساب می‌آید.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع – پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف.

(* نویسنده مسئول: Shoja.email@gmail.com)

۲- دکتری مهندسی صنایع- هیئت علمی پژوهشکده پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف (mehdi.sajadifar@gmail.com).

3- Bin-Packing
4- Cargo Loading
5- Container Loading

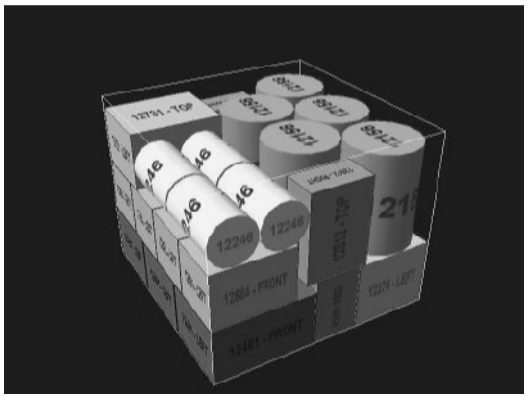
مسئله بسته‌بندی تعمیمی است از مسئله کامل بار که با عنوان نپ سک[1](کوله پشتی) مطرح می‌شود. فرض کنید مجموعه‌ای از اشیا، که هر کدام داری وزن و ارزش خاصی هستند در اختیار دارید. به هر شیء تعدادی را تخصیص دهید به طوری که وزن اشیا انتخاب شده کوچک‌تر یا مساوی حدّی از پیش تعیین شده و ارزش آن‌ها بیشینه شود. علت نامگذاری این مسئله، جهانگردی است که کوله پشتی‌ای با اندازهٔ محدود دارد و باید آن را با مفیدترین صورت ممکن از اشیا پر کند.

مدل بسته‌بندی، تعمیمی از مسئله کوله پشتی است. هنگامی که تعداد کانتینرها به یک محدود شده، مسئله بسته‌بندی کالا، به مسئله مشهور کوله پشتی تبدیل می‌شود. مسئله بسته‌بندی کالا سه بعدی در واقع یک مسئله تخصیص هندسی است، جایی که کالا سه بعدی کوچک باید داخل یک شیء مکعب مستطیل بزرگ‌تر چیده شوند، به طوری که یک تابع هدف داده شده بهینه شود. هنگامی که تعداد کانتینرها به یک محدود شده، مسئله بسته‌بندی کالا به مسئله مشهور کوله پشتی تبدیل می‌شود. موارد زیر مثال‌هایی از کاربرد این مسئله می‌باشند:

نحوه قرارگیری محصولات در یک پالت به چه صورت باشد، که تعداد محصولات قرار گرفته در آن بیشینه شود؟

نحوه بارگیری یک مجموعه از کالاها در کانتینرها چگونه باشد، تا تعداد کانتینرها کمینه شود؟

شکل(۱) بسته‌بندی اقلام در یک پالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱- بسته‌بندی اقلام در یک پالت

1- Knapsack

۲- بیان اهمیت مسئله

درصد بالایی از هزینه‌های زنجیره تأمین مربوط به هزینه‌های حمل‌ونقل است. بر اساس آخرین آمار منتشره(سال ۲۰۰۲) ازCASS [2](مرکزی آماری برای تخمین هزینه‌های پشتیبانی) ٦٣ درصد هزینه‌های لجستیک شامل حمل و نقل، ۳۳ درصد نگهداری و انبارداری و ٤ درصد مدیریت و کنترل است. همچنین برای آمریکا هزینه‌های پشتیبانی حدود ۸/۸ درصد تولید ناخالص ملّی بوده است. براساس اعلام بانک جهانی در سال ۲۰۱۰ سهم هزینه‌های حمل‌ونقل به طور متوسط ۷ درصد از قیمت تمام شده کالا را شامل می‌شود که در ایران این رقم حدود ۱۲ درصد است. همچنین براساس همان آمار، رتبه ایران در زمینه علم لجستیک و زنجیره تأمین در جایگاه ١٦ منطقه و ۱۰۳ در بین ۱۵۵ کشور دنیا است.

شکل ۲- اجزای تشکیل‌دهنده هزینه‌های زنجیره تأمین

توجّه به راه‌حل‌های مناسب در زمینه مسئله بسته‌بندی کالا، می‌تواند هزینه‌های حمل و نقل را کاهش داده و از این طریق تولید کشور را رقابتی سازد. به عنوان مثال یک بسته‌بندی خوب، می‌تواند تعداد بیشتری کالا در یک پالت جا دهد و همین طور تعداد بیشتری پالت در یک کانتینر بچیند و بنابراین تعداد کانتینرهای لازم برای ارسال یکسری کالا را کمینه کند. علاوه بر این، کاربردهای بسیار زیادی در دنیای واقعی برای این مسئله وجود دارد، به عنوان مثال یکی از کاربردهای مسئله یک بعدی

2- Logistics Logistics Center

تخصیص افراد به ایستگاه‌های کاری به طوری که تعداد ایستگاه‌ها حداقل بشود. کاربردهای مسئله دو بعدی شامل: برش چوب، پارچه، صفحه‌بندی روزنامه و جایابی اجزای الکترونیکی و... و کاربردهای سه بعدی مانند: بسته‌بندی محصولات در پالت‌ها، بارگذاری کامیون‌های دارای محدودیت وزن و حجم، تهیه پشتیبان از فایل‌ها، طراحی تراشه‌ها و...[۱].

۳- مدل ریاضی مسئله

اگر C_i را هزینه استفاده از صندوق i ام در نظر بگیریم و مقدار یک برای X_i نشان‌دهنده استفاده از آن صندوق در جواب مسئله باشد، مسئله را می‌توان به صورت زیر مدل کرد:

$$Min \sum_{i=1}^{N} c_i x_i$$

$$x_i = 0, 1$$

محدودیت‌های هندسی عدم همپوشانی

٤- مسائل بسته‌بندی

مسائل بسته‌بندی جزء مسائلی هستند که در ادبیات این نرم‌افزار بسیار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در مقاله [1] سه دلیل برای گستردگی مطالعات در این زمینه ارائه شده است:

دلیل اول اینکه این مسائل کاربرد گسترده‌ای در صنعت و دنیای واقعی دارند، کاربردها از مسائل تولید و توزیع در زنجیره تأمین(بسته‌بندی سفارشات در انبار) شروع و تا کاربردهای مختلف دیگر در زمینه‌هایی مانند علوم رایانه و مدیریت مالی(تخصیص حافظه به فرآیندها، مثال بودجه‌بندی سرمایه و ...) گسترده دارند.

دلیل دوم، این حقیقت است که اکثر این مسائل به شدّت NP-Hard[1] هستند. بنابراین توجّه محققانی که دنبال روش دقیق بوده اند، به این مسائل جذب شده است و علاوه بر این، گروه، محققانی که روش‌های ابتکاری برای مسائل پیچیده محاسباتی ارائه می‌دهند، نیز به این مسائل علاقه‌مند شده‌اند.

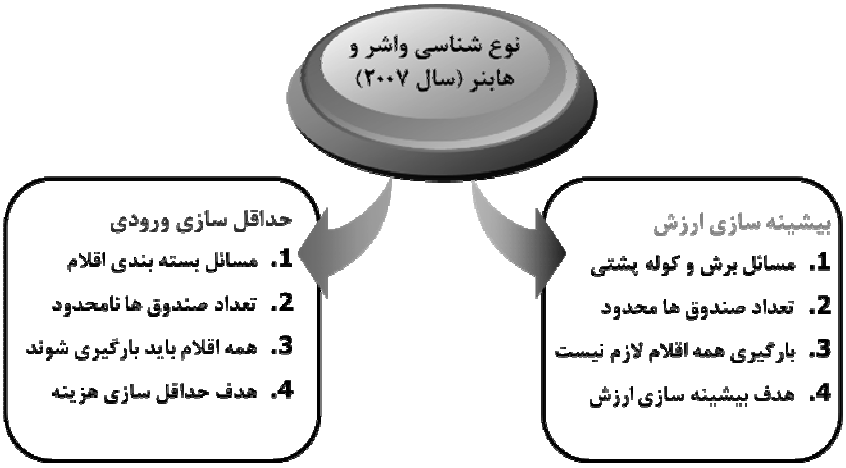
دلیل سوم اینکه، مسائل بسته‌بندی و برش در دنیای واقعی بسیار گوناگون و متفاوتند. هر تغییر کوچکی در تابع هدف و یا محدودیت‌های بسته‌بندی منجر به تعریف مسائلی با ساختار جدید می‌شود. به عنوان مثال، در مسئله بسته‌بندی حمل‌ونقلی، فضا محدود است و هدف، انتخاب با ارزش‌ترین مجموعه از اشیا کوچکی است که استفاده از فضای شئ بزرگ را بیشنه می‌سازد. در حالی که در مسئله بسته‌بندی کالا، هدف بسته‌بندی تمامی اشیاء کوچک در جعبه‌هاست، طوری که تعداد جعبه مصرف شده حداقل شود.

این چنین ادبیات وسیعی نیاز به نوع‌شناسی دقیق و مناسب دارد. دو نوع‌شناسی مشهور در این ادبیات وجود دارد. اولین مقاله نوع‌شناسی در زمینه مسائل بسته‌بندی توسط دایخوف[2] در سال ۱۹۹۰ ارائه شده است[۲]. واشر و هابنر در سال ۲۰۰۷ به بعضی از نقاط ضعف این نوع‌شناسی اشاره و اصلاحیات خود را در این زمینه ارائه دادند[۳]. در این مقاله، تمامی مسائل بسته‌بندی به دو نوع کلی بیشینه‌سازی ارزش خروجی(مسائل بسته‌بندی حمل‌ونقلی) و حداقل‌سازی ورودی(مسائل‌بندی اقلام) تقسیم شدند. ویژگی‌های هر کدام از این دسته‌ها در (شکل۳) آمده است:

سپس هر کدام از این دسته‌های کلی به هفت نوع دیگر تقسیم شده‌اند. خلاصه دسته‌بندی‌های این مقاله در (جداول ۱، ۲ و ۳) آمده است:

1- Strongly NP-Hard

2- Dykhof



شکل ۳- تقسیم‌بندی کلی مسائل بسته‌بندی

جدول ۱- طبقه‌بندی مسائل بسته‌بندی

تابع هدف	کانتینر	اقلام	مسائل حداقل‌سازی ورودی
حداقل‌سازی تعداد کانتینر	یکسان	کمی ناهمگون	Single Stock-Size Cutting Stock Problem (SSSCSP)
″	کمی ناهمگون	″	Multiple Stock-Size Cutting Stock Problem (MSSCSP)
″	به شدّت ناهمگون	″	Residual Cutting Stock Problem (RCSP)
″	یکسان	به شدّت ناهمگون	Single Bin-Size Bin Packing Problem (SBSBPP)
″	کمی ناهمگون	″	Multiple Bin-Size Bin Packing Problem (MBSBPP)
″	به شدّت ناهمگون	″	Residual Bin Packing Problem (RBPP)
حداقل‌سازی حجم کانتینر	یک کانتینر با یک بعد باز	----	Open Dimension Problem (ODP)
تابع هدف	کانتینر	اقلام	مسائل ماکزیمم ارزش خروجی
بیشینه‌سازی ارزش	یک کانتینر	یکسان	Identical Item Packing Problem (IIPP)
″	″	کمی ناهمگون	Single Large Object Placement Problem (SLOPP)
″	کانتینرهای مساوی	″	Multiple Identical Large Object Placement Problem (MILOPP)
″	کانتینرهای ناهمگون (کمی یا به شدّت)	″	Multiple Heterogeneous Large Object Placement Problem (MHLOPP)
″	یک کانتینر	به شدّت ناهمگون	Single Knapsack Problem (SKP)
″	کانتینرهای مساوی	″	Multiple Identical Knapsack Problem (MIKP)
″	کانتینرهای ناهمگون (کمی یا به شدّت)	″	Multiple Heterogeneous Knapsack Problem (MHKP)

۵- مسائل بسته‌بندی به صورت سه بعدی

تا سال ۲۰۰۰ میلادی بیشتر مطالعات در زمینه بسته‌بندی اقلام، بر روی مسائل یک بعدی، و در نهایت دو بعدی متمرکز شده است. بیشتر روش‌هایی که برای مسائل یک بعدی و دو بعدی توسعه داده شده است، به راحتی نمی‌تواند به فضای سه بعدی گسترش داده شود، در بهترین حالت، ممکن است جوابی غیرکارا (بیشتر فضاهای صندوق خالی باقی بماند.)

برای مسئله به دست آید. بنابرین بایستی روش‌هایی که مخصوص مسائل سه بعدی طراحی شده است، درنظر گرفته شود[٤].

مسئله مورد مطالعه در این مقاله، طبق این نوع‌شناسی "بسته‌بندی کالا به شدّت غیرهمگون در کانتینرهای کمی غیرهمگون" و به صورت مخفف[1](3D-MBSBPP) می‌باشد. براساس مقاله[٣] تا سال ٢٠٠٤ هیچ مقاله‌ای در این زمینه انتشار پیدا نکرده است. فقط از ٤١٣ منبع بررسی شده در این مقاله، ٤ مقاله درباره[2](MBSBPP) می‌باشد که سه عدد از آن‌ها مسئله را به صورت یک بعدی و دیگری دو بعدی درنظر گرفته‌اند. در بررسی جدیدتر توسط برتفلت[3] و واشر تعداد مقالات تا سال ۲۰۱۲ به صورت(جدول ۲) آمده است[٥].

جدول ۲- تعداد و نوع مقالات بسته‌بندی تا سال ۲۰۱۲[٥]

			ابعاد کالا	
			کمی ناهمگون	به شدّت ناهمگون
ابعاد کانتینر	ابعاد ثابت	ابعاد یکسان	SSSCSP ۱۹	SBSBPP ۳۶
		کمی ناهمگون	MSSSCP ۸	MBSBPP ۱۲
		بشدت ناهمگون	RCSP ۱	RBPP ۷
	یک کانتینر بزرگ با ابعاد متغیر		ODP/W ۳	ODP/S ۲۷

1- 3D Multiple Bin-Size Bin Packing Problem
2- Multiple Bin-Size Bin Packing Problem
3- Bortfeldt

مشاهده می‌شود که تنها ۱۲ مقاله در این زمینه چاپ شده است. مقالاتی که سه بعدی می‌باشند در بخش بعدی مرور خواهد شد. همچنین در زمینه (MHKP)[4] تنها سه مقاله انتشار پیدا کرده است.

جدول ۳- تعداد و نوع مقالات تا سال ۲۰۱۲[٥]

		ابعاد کالا		
		ابعاد یکسان	کمی ناهمگون	به شدّت ناهمگون
ابعاد کانتینر	یک کانتینر	IPP ۱۰	SLOPP ۲۷	SKP ۵۷
	ابعاد یکسان	--	MLOPP ۱	MIKP ۲
	ابعاد متفاوت	--	MHLOPP ۴	MHKP ۳

در سال ۲۰۰۵ برونتا و گرگوایر[5] یک مسئله واقعی در یک کارخانه بیسکوییت را با استفاده از یک فرآیند جستجوی درخت حل کردند[٦]. در این مسئله ۱۵ جعبه بیسکوییت با اندازه‌های متفاوت بایستی داخل تعدادی جعبه بزرگ‌تر با اندازه‌های متفاوت، قرار می‌گرفتند. تابع هدف بیشینه‌سازی، استفاده از حجم جعبه‌های بزرگ‌تر بود. این مسئله با استفاده از تعاریف موجود در طبقه مسائل 3D-MHLOPP قرار می‌گیرد.

ارتک و کیلیک[6] اولین مقاله‌ای که مستقیماً به حل و آنالیز[7] مسئله 3D-MBSBPP می‌پردازد، را در سال ۲۰۰٦ ارائه دادند[٧]. آن‌ها به این موضوع اشاره کردند که یکی از دلایل افزایش تحقیقات در مسائل بسته‌بندی کالا، پیشرفت‌ها در زیرساخت‌های (IT)[8] و (RFID)[9] است. چون با استفاده از این شاخص‌ها، محققان داده‌های لازم برای کاهش هزینه‌های بسته‌بندی کالا را دارند. این مقاله حاصل تحقیقات نویسندگان در بخش توزیع یک شرکت

4- Multiple Heterogeneous Knapsack Problem
5- Brunetta and Grégoire
6- Ertek & Kelic
7- Analysis
8- Information Technology
9- Radio Frequency Identification

قطعات یدکی اتومبیل در کشور ترکیه بوده است. نویسندگان سه روش ارائه داده‌اند که اولی یک فرآیند ابتکاری حریصانه[1]، دومی یک روش جستجوی شعاعی[2] و آخرین روش یک روش جستجوی درختی بود. در هر روز بیش از ۸۰ نمایندگی درخواست‌هایشان را به روز[3] ارسال می‌کنند و سفارشات تا ۳ بعد از ظهر وارد سامانه اطّلاعاتی شرکت می‌شود. کارکنان باتجربه اندازه و تعداد صندوق‌های لازم برای هر سفارش را حدس می‌زنند و برطبق آن، کارگران شروع به بسته‌بندی می‌کنند و ساعت ۵ بعد از ظهر کامیون‌های شرکت پیمانکار برای تحویل سفارشات می‌رسند.

برای انتخاب صندوق و کارتن مناسب، دو کارمند باتجربه حدود ۲۰ دقیقه را پشت رایانه می‌گذرانند و برای هر سفارش و اندازه جعبه لازم، تصمیم می‌گیرند. هدف این مقاله این است که کار اضافی ناشی از تخمین اشتباه و تخصیص مجدّد جعبه‌ها را به حداقل برساند. مراحل روش حل ارائه شده به صورت ذیل است:

۱- حل یک مسئله (SKP)[4] برای هر یک از انواع صندوق‌ها با استفاده از روش[۸]

۲- محاسبه شاخص کارایی

$$p_{j,l}=\frac{C_j}{\sum_{i=1}^{n}(V_i\times X_{i,j,l})} \qquad q_{j,l}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(V_i\times X_{i,j,l})}{V_j}$$

۳- انتخاب صندوق با شاخص کمتر و حذف جعبه‌های بارگذاری شده

۴- ادامه مراحل ۱ تا ۳ برای بارگذاری همه جعبه‌ها

هوانگ[5] و همکاران روش تولید ستون را با تابع هدف حداقل سازی هزینه‌های بارگیری برای یک کانتینر ارائه دادند[۹]. ابتدا مسئله به مسئله گسترش یافته با پوشش مجموعه[6] تبدیل شده و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح الگو می‌شود و سپس در ادامه الگو با استفاده از یک روش ابتکاری تولید ستون[7] حل می‌شود.

هوانگ و همکاران با استفاده از یک راهکار نمونه تولید ستون این مسئله را حل کردند[۱۰]. آن‌ها به این نکته اشاره کردند هرچند این مسئله با مسئله پوشش مجموعه، فرمول‌بندی شده و توسط روش‌های تولید ستون حل شده بود، ولی کاربرد مستقیم تولید ستون در این مسئله، زیاد مفید نیست زیرا این روش به جواب‌های شدنی برای زیر مسئله قیمت‌گذاری و همچنین ستون‌های واقعی، نیاز دارد. برای بسیاری از مسائل دنیای واقعی، زیر مسئله قیمت‌گذاری، NP-hard[8] است. اگر نمونه تولید ستون مناسب بتواند به خوبی جواب‌های شدنی را تخمین بزند، این راهکار می‌تواند این فرآیندها را سرعت بخشد.

آلوارز- والدز[9] و همکاران فرآیندی با استفاده از (GRASP)[10] و پت رلینک[11] برای حل مسئله (MBSBPP) دو بعدی و سه بعدی پیشنهاد دادند[۱۱]. در ابتدا با استفاده از یک فرآیند سازنده، جوابی برای مسئله به دست می‌آید. در این روش جعبه‌ها مرتّب می‌شوند و سپس درون صندوق‌هایی با کمترین هزینه قرار داده می‌شوند.

در ابتدا با استفاده از یک فرآیند سازنده، جوابی برای مسئله به دست می‌آید. در این روش، جعبه‌ها مرتّب می‌شوند و سپس درون صندوق‌هایی با کمترین هزینه قرار داده می‌شوند. هر تکرار گرسپ شامل یک فاز سازنده و یک فاز بهبوددهنده است. برای تولید جواب‌های اولیه مختلف از راهکارهای تصادفی‌سازی استفاده می‌شود. مثلاً ترتیبی تصادفی برای ورود جعبه‌ها در نظر گرفته می‌شود و... در فاز بهبود نیز سه عمل انجام می‌شود:

۱- سعی می‌شود محتویات دو تا از صندوق‌ها در یک صندوق بزرگ‌تر قرار گیرد.

۲- جابه‌جایی محتویات به یک صندوق ارزان‌تر.

1- Greedy Heuristic
2- Beam Search
3- On line
4- Single Knapsack Problem
5- Hovang
6- Extended Set Cover Problem
7- Generate Columns
8- Non-Deterministic Polynomial-Time Hard
9- Alvarez & Valdez
10- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
11- Path Relink

۳- حذف K% از غیرکاراترین صندوق‌ها و استفاده مجدّد از فرآیند، ابتکاری برای چیدن آن‌ها.

در حین تولید جواب‌های تصادفی، یک مجموعه خبره تشکیل می‌شود و دو ملاک برای وارد شدن به مجموعه خبره وجود دارد:

۱- امتیاز خوب

۲- حداکثر تفاوت با بقیه جواب‌ها

فرآیند پت ریلینک در این مقاله به صورت زیر عمل می‌کند:

۱- دو جواب A و B از مجموعه جواب‌های خبره را درنظر بگیرید.

۲- ابتدا یک صندوق از B، وارد جواب A می‌شود، تمامی جعبه‌های تکراری حذف و صندوق‌های‌شان باز شده و طبق فرآیند ابتکاری دوباره بسته‌بندی می‌شوند.

۳- در مرحله بعد دو صندوق از B وارد جواب A می‌شود، و یک همسایگی جدید به دست می‌آید. افزودن صندوق‌ها آنقدر انجام می‌شود تا جواب B توسط A دوباره تولید شود. همچنین همین نویسندگان یک حد پایین برای جواب این مسائل ارائه کردند[۱۲]. این حد پایین براساس فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مسئله آزادسازی شده[1] به دست می‌آید که با یکسری ملاحظات منطقی، این حد بهبود می‌یابد.

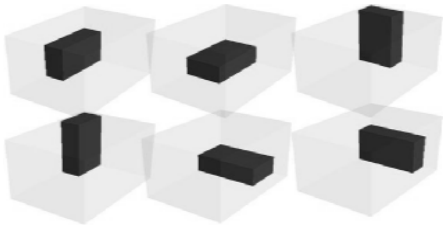
٦- نرم‌افزار پیاده‌سازی شده

با توجّه به موجود نبودن نرم‌افزاری در زمینه بسته‌بندی اقلام و نیاز صنعت کشور به این نرم افزار، نویسندگان با استفاده از یک روش ابتکاری، نرم‌افزاری برای حل مسئله بسته‌بندی کالای ناهمگون سه بعدی ارائه داده‌اند. این نرم‌افزار موارد زیر را به عنوان ورودی دریافت می‌کند:

ابعاد کالا، ابعاد کانتینرهای موجود، هزینه هر نوع از کانتینرها و تعداد موجود از هر کانتینر.

خروجی نرم‌افزار به نحوی است که هزینه کانتینرهای بارگیری شده را حداقل می‌کند. این خروجی به صورت مختصات(طول و عرض و ارتفاع نقطه قرارگیری) هر کدام از اقلام در درون کانتینر مربوطه می‌باشد. همچنین این نرم‌افزار قابلیت‌های ذیل را دارد:

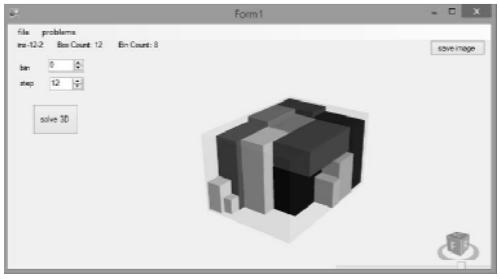
- قابلیت چرخش کالا درون کانتینر(شکل٤)



شکل ٤- شش حالت چرخش یک کالا درون کانتینر

- امکان به دست آوردن جواب برای حالت یک بعدی
- نمایش سه بعدی حل مسئله به صورت چیدن مرحله به مرحله
- ذخیره حل مسئله به صورت تصویر
- ذخیره و باز کردن فایل‌ها
- تغییر و تنظیم جواب نهایی به صورت دستی

شکل(۵) محیط نرم افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۵- محیط نرم افزار

۷- نتیجه گیری

پس از بررسی ادبیات مسئله، می‌توان روش‌های حل مسائل بسته‌بندی را به دو دسته کلی ذیل تقسیم کرد:

۷-۱- فرآیندهای دقیق و تقریبی

مسائل بسته‌بندی NP-hard[2] (نوع قوی) می‌باشند. در این نوع مسائل، ارائه راه‌حل دقیق حتّی برای ساده‌ترین مسئله (به عنوان مثال: مسئله‌ای با یک عدد واحد بار کامل که یک بعدی نیز می‌باشد!) نیز بسیار مشکل است و

1- Relaxations of the Original Problem

2- C&P Problems

راه‌حل‌های کمی در این حوزه وجود دارد. بدیهی است که برای مسئله چندین صندوق غیرهمگون و تعدادی جعبه بسیار متفاوت، ارائه راه‌حل دقیق و یا تقریبی بسیار سخت‌تر می‌شود.

۷-۲- روش‌های ابتکاری و فرا- ابتکاری

اگرچه پیشرفت‌های قابل توجّهی در توسعه روش‌های دقیق و تقریبی در طول سال‌های اخیر ایجاد شده، ولی می‌توان گفت روش‌های ابتکاری و به طور ویژه روش‌های فرا- ابتکاری، پراهمیت‌ترین نوع روش‌های حل مسائل عملی بارگیری کانتینر در سال‌های آینده باقی خواهند ماند. به طوری که همه روش‌های بررسی شده برای حل مسئله سه بعدی، که توسط نویسندگان در این مقاله بررسی شد، ابتکاری و فرا ابتکاری می‌باشند. بنابراین برای مسائلی در اندازه‌های واقعی و با محدودیت‌های مختلف، فقط فرآیندهای ابتکاری قادر به ارائه راه‌حل‌های با کیفیت، در زمان قابل قبول خواهند بود.

۸- منابع

1. Bischoff, E. and G. Wäscher (1995). **"Cutting and packing."** European Journal of operational research84(3): 503-505.
2. Dyckhoff, H. (1990). **"A typology of cutting and packing problems."** European Journal of operational research44(2): 145-159.
3. Wäscher, G., et al. (2007). **"An improved typology of cutting and packing problems."** European journal of operational research183(3): 1109-1130.
4. CRAINIC, T. G., et al. (2009). **"TS2PACK: A two-level tabu search for the three-dimensional bin packing problem."** European journal of operational research195(3) 760-744.
5. Bortfeldt, A. and G. Wäscher (2012). **"Constraints in container loading–A state-of-the-art review."** European journal of operational research.
6. Brunetta, L. and P. Grégoire (2005). **"A general purpose algorithm for three-dimensional packing."** Informs journal on Computing**17**(3): 328-338.
7. Ertek, G. and K. Kilic (2006). **"Decision support for packing in warehouses".** Computer and information sciences–ISCIS 2006 , springer**:** 115-124.
8. Pisinger, D. (1999). **"A tree search heuristic for the container loading problem."** Ricerca Operativa(Vol. 28): 31-48.
9. Che, C. H., et al. (2011). **"The multiple containerloading cost minimization problem."** European journal of operational research214(3): 501-511.
10. Zhu, W., et al. (2012). **"A prototype column generation strategy for the multiple container loading problem."** European journal of operational research223(1): 27-39.
11. Alvarez-Valdes, R., et al. (2012). **"A GRASP/Path Relinking algorithm for two-and three-dimensional multiple bin-size bin packing problems."** Computers & operations research
12. Alvarez-Valdes, R., et al. (2013). **"Lower bounds for three-dimensional multiple-bin-size bin packing problems."** OR Spectrum: 1-26.

آدرس نویسنده

تهران – ضلع شمالی دانشگاه صنعتی شریف- پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی شریف- گروه مهندسی صنایع.