بهینه‌سازی حمل‌ونقل نفت خام با الگوگیری از مساله بسته‌بندی ظرف

مقاله علمی- پژوهشی

سید مسعود طحانیان قمی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
مریم حامدی*، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
رضا توکلی‌مقدم، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hamedi@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵
صفحه ۲۶۸-۲۵۵

چکیده

در سالیان گذشته مقالات بسیاری در زمینه تفسیر و مدلسازی مسائل جدید توسط مدل‌های پایه ارایه شده است. یکی از پرکاربردترین این مدل‌های پایه، مسئله بسته‌بندی ظرف(BPP) است. هر چه زمان می‌گذرد اهمیت و قدرت این مسئله در مدل‌سازی مسائل جدید بیشتر مشخص می‌شود. در این مقاله نیز سعی شده است تا برای اولین بار یک مسئله "تصمیم‌گیری برای انتقال نفت خام توسط روش‌های مختلف حمل و نقل" توسط BPP تفسیر و مدلسازی شود. این مدل ریاضی دو هدفه، به این سوال که برای انتقال نفت خام از بین روش‌های موجود از کدام روش و یا چه ترکیبی از روش‌ها استفاده شود تا علاوه بر هزینه‌ها، میزان ریسک نیز کاهش یابد، پاسخ می‌دهد. روش‌های حمل‌ونقل براساس پنج معیار "ظرفیت"، هزینه هماهنگی"، "هزینه راه اندازی"، "هزینه حمل" و " هزینه ریسک" تعریف می‌شوند. به این دلیل که مدل ارایه شده در این مقاله ازمسایل پیچیده NP-hard است، برای حل آن از الگوریتم ژنتیک مرتب‌شده نامغلوب (NSGA-II) استفاده می‌شود که یکی از متداول‌ترین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه است. همچنین از روش برنامه‌ریزی آرمانی برای نمایش کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک استفاده می‌شود. نتایج این الگوریتم برای تعدادی از مسائل با ابعاد بزرگ نیز ارایه و سپس توسط شاخص‌های "میانگین فاصله از آرمان"، و "پراکندگی" و "زمان حل" مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: مسئله بسته‌بندی ظرف (BPP) با هزینه و اندازه متفاوت توسعه یافته، حمل و نقل نفت خام، الگوریتم ژنتیک مرتب‌شده نامغلوب (NSGA-II)

۱-مقدمه

مسأله بسته‌بندی ظرف(BPP)[1] شامل قرارگرفتن n شیء[2] در m بسته[3] است. هر شیء یک وزن و هر بسته، یک ظرفیت دارد. هدف مسأله این است که طوری شیءها به بسته‌ها تخصیص داده شود تا علاوه بر اینکه کل وزن شیءهایی که در هر کدام از بسته‌ها قرار می‌گیرد از ظرفیت آن تجاوز ننماید، تعداد بسته‌های استفاده شده نیز کمینه گردد.

از مسئله بسته‌بندی ظرف تعمیم‌های زیادی ارایه شده است (Martello and Toth,1990) که دو تا از مهمترین آنها : مسئله بسته‌بندی ظرف با اندازه متفاوت[4] (VSBPP) (Monaci, 2002) و مسئله بسته‌بندی ظرف با هزینه و اندازه متفاوت (VCSBPP)[5] (Correia et al,2008 ; 2011) است. در BPP تمام بسته‌ها ظرفیت یکسانی دارند و هدف کمینه کردن تعداد بسته انتخابی است، در VSBPP بسته‌ها ظرفیت متفاوتی دارند و هدف کمینه‌کردن اتلاف ظرفیت است و در VCSBPP بسته‌ها ظرفیت و هزینه متفاوتی دارند و هدف کمینه‌کردن هزینه است (Baldi et al,2012). مسأله

بسته‌بندی ظرف (BPP)[۶] جزء مسائل پر کاربرد بهینه‌سازی و جزء مسائل سخت[۷] به شمار است که در حوزهای مختلف قابل استفاده است (Garey and Johnson,1979). کاربرد BPP از این لحاظ است که می‌توان مسائل جدید را در قالب این مسئله مدلسازی کرد. برای این منظور باید در ابتدا مشخصه‌های مسئله جدید را در قالب مشخصه‌های BPP تفسیر نمود. BPP دارای شش مشخصه است که دو تا از آنها به نام‌های "شیء" و "بسته" جزء مشخصه‌های اصلی شمرده می‌شوند. در نتیجه برای مدلسازی یک مسئله جدید مطابق BPP، در ابتدا باید در مسئله جدید معادل این دو مشخصه اصلی را پیدا کرد. به عنوان مثال در مسائل حوزه حمل و نقل، کامیون را می‌توان به عنوان مشخصه "بسته" و قطعاتی که باید جابجا شوند به عنوان مشخصه "شیء" تفسیر نمود. مشخصه "بسته" یک نام عمومی است که می‌تواند به عنوان "ایستگاه‌کاری" در خطوط مونتاژ، یا "یک مقطعی از زمان" در مسائل زمان‌بندی و یا "یک واحد از مساحت" در صنایع فلزات و غیره تفسیر شود (Kaaouache and Bouamama, 2015). در سالیان گذشته مقالات بسیاری در زمینه تفسیر و مدلسازی مسائل مختلف توسط مدل‌های پایه ارائه شده است. یکی از پرکاربردترین این مدل‌های پایه، مسئله بسته‌بندی ظرف است. در جدول ۱ لیست مقالاتی که تنها در دو سال ۲۰۱۹ و۲۰۲۰، مسائل مختلفی را در قالب BPP مدلسازی و تفسیر کرده‌اند، نشان داده شده است. این جدول دقیقا بیانگر قدرت زیاد BPP در مدلسازی مسائل دیگر است و به همین دلیل در بین مسائل بهینه‌سازی پایه، جزء پرکاربردترین آنها به حساب می‌آید.

مساله حمل‌ونقل نفت‌خام[۸] در انتقال نفت‌خام از میدان‌های نفتی و مولد به پالایشگاه‌ها و هم چنین برای انتقال نفت‌خام بین خریدار و فروشنده استفاده می‌شود و همچنین یک عملیات اصلی بین حوزه‌های " بالا دستی[۹]" و " پایین دستی[۱۰]" است. برای حمل‌ونقل مواد خام می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد مانند: خط لوله[۱۱]، کامیون‌های نفت‌کش[۱۲]، نفت‌کش‌های ریلی[۱۳]، قایق‌های نفت‌کش[۱۴] و کشتی‌های نفت‌کش[۱۵] (شکل ۱). تعیین روش مناسب به عواملی مانند مسافت، نوع نفت، هزینه و در دسترس بودن جایگزین‌های مناسب بستگی دارد. به عنوان مثال، خطوط لوله، بسیار اقتصادی هستند و می‌توانند برای پوشش مسافت‌های طولانی مورد استفاده قرار گیرند، اما از نظر مسیر و مقصد محدود هستند و در هر کجا نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. تانکرها برای حمل حجم زیادی از نفت‌خام از طریق آب‌های بین‌المللی برای اتصال کشورهای صادرکننده و واردکننده استفاده می‌شوند. یک شرکت بزرگ نفتی، معمولاً ده‌ها پالایشگاه جهان را اداره می‌کند، که روزانه چندین میلیون بشکه نفت‌خام را پالایش می‌کنند. نفت‌خام از محل تولید به نقاط مصرفی توسط روش‌هایی که بیان شد و یا ترکیبی از آنها تحویل داده می‌شود. با توجه به هزینه حمل و نقل نفت خام به ازای هر بشکه و تعداد بشکه های ارسالی، کل هزینه حمل‌ونقل نفت‌خام سالانه در یک شرکت بزرگ نفتی رقم بسیار قابل توجهی است. با وجود پیچیدگی و هزینه بسیار زیاد، کل سیستم حمل‌ونقل عمدتاً بصورت دستی و بدون کمک ابزارهای منظم اداره می‌شود.

جدول ۱. لیست مسائل تفسیر و مدلسازی شده توسط BPP طی سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰

کاربرد	نویسنده
ارائه دهنده خدمات لجستیک	(Anand and Guericke, 2020)
برنامه ریزی تامین مواد	(Gradisar and Glavan, 2020)
مسئله بارگیری پالت	(Gzara, Elhedhli and Yildiz, 2020)
زمانبندی دسته‌ای تولید بهنگام	(Polyakovskiy and M'Hallah, 2020)
بارگیری کامیون‌ها در یک سیستم حمل و نقل مستقیم	(Hebler et al, 2020)
مسئله بارگیری کامیون‌ها	(Fan, Wang and Thürer, 2020)
مسئله زمانبندی	(Su, Xie and Yang, 2020)
رایانش ابری	(Ye, Xie and Zhang, 2020; Aydin, Muter and Birbil, 2020; Aydin, Muter and Birbil, 2019)
تحویل محموله در آخرین مرحله لجستیک	(Baldi et al, 2019)
مسیریابی	(Chernykh and Pyatkin, 2019)
برنامه‌ریزی اتاق عمل	(Wang and Mehrotra, 2019)
مراکز داده ابری	(Fatima et al, 2019)
نگهداری مواد در یخچال‌های صنعتی	(Spencer, Tsvetkov and Jarrell, 2019)
ذوب لیزری	(Griffiths et al, 2019)
زمانبندی دسته‌ای بهمراه تخصیص منابع	(Liang, 2019)

حمل‌ونقل دریایی، نقش مهمی در انتقال نفت خام دارد. چین یکی از پرمصرف‌ترین کشورها در حوزه نفت خام است. برای تامین نفت خام از خاورمیانه یا آمریکا از حمل و نقل دریایی استفاده می‌کند. طبق اعلام اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده (EIA)، چین در سال ۲۰۱۷ به عنوان بزرگترین واردکننده نفت خام جهان از ایالات متحده پیشی گرفت و بیش از ۹۰٪ از نفت‌خام وارداتی با حمل‌ونقل دریایی انجام می‌شود (Wang, Lu and jiang, 2020). نفت‌خام از اهمیت استراتژیک در همه کشورها برخوردار است و اغلب برای اقتصاد ملی واردکننده نفت خام بسیار مهم است. هر کشور وارداتی می‌خواهد دسترسی بی‌وقفه به نفت خام را با قیمت مناسب تأمین کند. اما بسیاری از صادرکنندگان نفت‌خام، به ویژه آنهایی که در خاورمیانه، آفریقا و آمریکای لاتین واقع شده‌اند، از بی‌ثباتی سیاسی رنج می‌برند یا پتانسیل بالایی در بی‌ثباتی دارند (Li et al, 2009). به عنوان مثال، در صورت بروز جنگ در هر یکی از این مناطق، اختلال در عرضه منجر به عدم تعادل بین عرضه و تقاضا در بازار بین المللی نفت خام خواهد شد و قیمت جهانی نفت‌خام نوسان خواهد کرد. از آنجا که بازار جهانی نفت‌خام کاملاً یکپارچه است، قیمت نفت‌خام سایر صادرکنندگان نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. علاوه بر خطرات سیاسی و نوسانات قیمت نفت‌خام صادرکنندگان، خطرات حمل‌ونقل نیز وجود دارد. بیشتر نفت‌خام با کشتی حمل می‌شود اما تنگه‌ها و کانال‌های موجود در شبکه حمل‌ونقل دریایی به دلیل بی ثباتی سیاسی در کشورهای همسایه و همچنین تروریسم، دزدی دریایی، درگیری و سایر حوادث شدید در معرض خطراتی قرار دارند (Emmerson and Stevens, 2012). به عنوان مثال، بی‌ثباتی سیاسی در خاورمیانه، امنیت تنگه باب المندب و کانال سوئز را تهدید می‌کند. در صورت بسته شدن تنگه‌ها یا کانال‌های خاص، انتقال نفت‌خام تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. با توجه به خطرات سیاسی صادرکنندگان، خطرات حمل‌ونقل تنگه‌ها و کانال‌ها و عدم اطمینان قیمت نفت، واردات نفت‌خام برای واردکنندگان که می‌خواهند خطرات مالی را کنترل کنند بسیار چالش برانگیز است. به دلیل عواملی مانند عرضه، تقاضا، قیمت و سایر عدم قطعیت‌ها، تجزیه‌وتحلیل و مدیریت ریسک توجه بسیاری را در زمینه‌های لجستیک و مدیریت عملیات در حوزه نفت خام جلب کرده است از نظر خرید نفت، به دلیل نوسانات

شکل ۱. پنج تا از مهمترین روش‌های حمل‌ونقل نفت خام

زیاد قیمت نفت خام، یک واردکننده نفت خام با خطرات مالی زیادی روبرو است (Gavriilidis, Kambouroudis and Tsakou, 2018; Balliauw, Kort and Zhang, 2019; Canbolat and Rothblum, 2019; Wang and Yao, 2019; Wang et al, 2019; Wen et al, 2019; Liu and Wang, 2019; Almasi, Khoshfetrat and Galankashi, 2019).

در این مقاله، مسئله انتقال نفت خام بین یک مبدا و مقصد توسط روش‌های حمل‌ونقل مختلف مطرح می‌شود و سعی می‌شود تا این مسئله توسط م BPP تفسیر و مدلسازی شود. در این مسئله مشخصه "بسته" به عنوان " یک گالن نفت خام" همچنین "نفت خام" به عنوان مشخصه "شیء" تفسیر شده است. تا این زمان در هیچ مقاله‌ای برای "تخصیص انتقال نفت خام توسط روش‌های مختلف حمل و نقل" از مسئله بسته‌بندی ظرف الگوگیری نشده است. در این مقاله سعی شده است تا این مسئله توسط BPP مدلسازی و تفسیر شود.

در ادامه، ابتدا مدل‌های ریاضی BPP و VSCBPP ارایه می‌شود سپس مدل VSCBPP توسعه‌یافته، توضیح داده می‌شود. در ادامه به تعریف مسأله و مدل‌ریاضی پیشنهادی مقاله پرداخته می‌شود و نحوه تفسیر مسئله حمل و نقل نفت خام در VSCBPP توضیح داده می‌شود. سپس به منظور حل مدل پیشنهادی، الگوریتم NSGA-II ارایه می‌شود و به منظور کارایی الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک، از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است و نتایج بررسی و مقایسه

می‌شود. در آخر، مسائلی با ابعاد بزرگ توسط الگوریتم NSGA-II حل می‌شوند و توسط شاخص‌های "میانگین فاصله از آرمان (MID)[16]" و "معیار پراکندگی(DM)[17]" و "زمان حل" ارزیابی می‌شود.

۲- تعریف مسأله و مدل ریاضی پیشنهادی مسأله

در این قسمت، ابتدا مدل‌های ریاضی BPP و VSCBPP ارایه می‌شود سپس مدل VSCBPP توسعه‌یافته توضیح داده می‌شود در ادامه به تعریف مسأله و مدل‌ریاضی پیشنهادی مقاله پرداخته می‌شود و نحوه تفسیر مسئله حمل و نقل نفت خام در یک مسئله VSCBPP توضیح داده می‌شود.

۲-۱- مدل‌های ریاضی مسأله بسته‌بندی ظرف

فرمول ریاضی BPP که توسط (Martello and Toth, 1990) ارایه شده است در ادامه آورده شده است. پارامتر c بیانگر ظرفیت بسته است و Wi بیانگر وزن شی i است. متغیر تصمیم Xij برابر مقدار یک است اگر شی i داخل بسته j قرار گیرد و Yj برابر یک است اگر از بسته j استفاده شود.

$$Min \quad \sum_{j=1}^{m} Y_j$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{n} w_i . X_{ij} \le c . Y_j \quad for \quad j = 1,2,..., m$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} = 1 \quad for \quad i = 1,2,....n$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

$$Y_j \in \{0,1\}$$

فرمول ریاضی VCSBPP توسط (Crainic et al, 2011) ارائه شده است و بصورت زیر است. پارامتر Vj ظرفیت‌بسته از نوع j است و vi بیانگر وزن شی i است و Cj بیانگر هزینه استفاده از بسته نوع j است. متغیر تصمیم xij برابر مقدار یک است اگر شی i داخل بسته j قرار گیرد و Yj برابر یک است، اگر از بسته j استفاده شود. تابع هدف کمینه‌کردن هزینه بسته‌های استفاده شده است. محدودیت اول بیانگر تضمین رعایت ظرفیت وزنی هر بسته است و محدودیت دو بیانگر این است که هر شیء فقط باید به یک بسته تخصیص داده شود.

$$Min \quad \sum_{j=1}^{m} C_j . Y_j$$

s.t: $$\sum_{i=1}^{n} v_i . X_{ij} \le V_j . Y_j \quad for \quad j = 1,2,..., m$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} = 1 \quad for \quad i = 1,2,....n$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

$$Y_j \in \{0,1\}$$

فرمول ریاضی VCSBPP توسعه‌یافته، بصورت زیر است. پارامتر W_k بیانگر ظرفیت‌بسته از نوع k است و w_i بیانگر وزن شی i است و C_k بیانگر هزینه استفاده از بسته نوع k است. متغیر تصمیم x_{ij} برابر مقدار یک است اگر شی i داخل بسته j قرار گیرد و y_{jk} برابر یک است، اگر بسته j از نوع k باشد.

$$Min \quad \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} c_k \, y_{jk}$$

s.t

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad for \quad i = 1,2,....n$$

$$\sum_{k=1}^{m} y_{jk} \le 1 \qquad for \quad j = 1,2,...,n$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i . x_{ij} \le \sum_{k=1}^{m} W_k . y_{jk} \quad for \quad j = 1,2,...,n$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad for \quad i,j = 1,2,...,n$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad for \quad j = 1,2,...,n \quad and \quad k = 1,2,...,m$$

تابع هدف کمینه‌کردن هزینه بسته‌های استفاده شده است. محدودیت اول بیانگر این است که هر شیء فقط باید به یک بسته تخصیص داده شود. محدودیت دوم بیانگر این است هر بسته حداکثر می‌تواند از یک نوع باشد و محدودیت سوم بیانگر تضمین رعایت ظرفیت وزنی هر بسته است.

۲-۲-مدل ریاضی پیشنهادی مسأله

مسئله پیشنهادی در این مقاله شامل انتقال نفت‌خام بین یک مبدا (فروشنده) و یک مقصد (خریدار) است. میزان تقاضا احتمالی است. برای این انتقال می‌توان از چندین روش حمل‌ونقل مختلف استفاده نمود. این روش‌های حمل‌ونقل می‌توانند شامل خط لوله، کامیون‌های نفت‌کش، نفت‌کش‌های ریلی، قایق‌های نفت‌کش و کشتی‌های نفت‌کش و غیره باشند. این مسئله دارای دو تابع هدف است که در تابع هدف اول هزینه‌های حمل‌ونقل، هماهنگی و راه‌اندازی کمینه می‌شود و در تابع هدف دوم مجموع هزینه‌های ریسک کمینه می‌شود. برای مدل‌سازی این مسئله پیشنهادی از مدل بسته‌بندی ظرف الگوگیری شده است.

پارامترها و متغیرهای تصمیم

n: تعداد دفعات (گالن) مجاز برای انتقال کل تقاضای نفت خام

m: تعداد روش‌های حمل‌ونقل

C_j: هزینه حمل یک گالن از نفت‌خام توسط روش حمل‌ونقل j

R_j: هزینه ریسک مورد انتظار برای انتقال یک گالن نفت‌خام توسط روش حمل‌ونقل j

S_j: هزینه راه اندازی روش حمل‌ونقل j

A_j: هزینه هماهنگی برای اجرای روش حمل‌ونقل j در هر بار استفاده از این روش

D: متوسط تقاضای سالیانه

W_j: ظرفیت گالن به ازای روش حمل‌ونقل j

X_i: مقداری از نفت‌خام که توسط گالن i حمل می‌شود.

Y_{ij}: یک متغیر صفر و یک است و زمانی یک است که گالن i توسط روش حمل‌ونقل j منتقل شود.

مدل ریاضی مسأله پیشنهادی در زیر آورده شده است:

معادله (۱) کل هزینه‌های مورد انتظار سالیانه را کمینه می‌کند که شامل هزینه‌های حمل‌ونقل، هماهنگی و راه اندازی است. معادله (۲) هزینه‌های ریسک را کمینه می‌کند. معادله (۳) محدودیتی است که تضمین می‌کند هر گالن حداکثر توسط یک نوع روش حمل‌ونقل انتقال یابد. معادله (٤) محدودیتی است که تضمین می‌کند مقدار نفت خامی که توسط هر گالن انتقال می یابد دقیقا برابر با گنجایش روش حمل‌ونقل j باشد. معادلات (۵) نیز نشان می‌دهد که نفت‌خام انتقال یافته توسط تمام گالن‌ها حداقل برابر با متوسط تقاضای سالیانه باشد. معادله (٦ و۷) نیز نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۲-۳- الگوگیری از مسأله بسته‌بندی ظرف در مسئله پیشنهادی مقاله

BPP دارای شش مشخصه است که در جدول ۲ آورده شده است. بمنظور تفسیر و مدلسازی یک مسئله جدید توسط BPP ابتدا باید معادل این شش مشخصه در مسئله جدید پیدا شود. در بین این شش مشخصه دو مشخصه "شیء" و "بسته" جز مشخصات اصلی بحساب می‌آیند. بمنظور تفسیر مسئله پیشنهادی توسط BPP "نفت خام" به عنوان مشخصه "شیء" و " یک گالن نفت خام" به عنوان مشخصه "بسته" تفسیر شده است. در BPP تمرکز اصلی بر روی مشخصه "بسته" است همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود سه مشخصه بعدی مربوط به ویژگی‌های "بسته" هستند(مشخصه ۳و٤و۵). سومین مشخصه مربوط به "ظرفیت بسته" است. در BPP کلاسیک تمام بسته‌ها دارای ظرفیت یکسان هستند. اما، در VCSBPP توسعه‌یافته که در بخش قبلی توضیح داده شده هر بسته می‌تواند ظرفیت متفاوتی داشته باشد. در مسئله پیشنهادی همانطور که گفته شد "یک گالن نفت خام" به عنوان مشخصه " بسته" تفسیر شد اما به ازای هر روش حمل و نقل، ظرفیت متفاوتی برای هر گالن لحاظ شده است. به عنوان، مثال ظرفیت گالن به ازای کامیون‌های نفت‌کش، به اندازه گنجایش کامیون لحاظ شده است. به عبارت دیگر اگر از کامیون های نفت کش برای حمل نفت خام استفاده شود آنگاه ظرفیت بسته(گالن) به اندازه گنجایش کامیون لحاظ می‌شود. مشخصه شماره چهار، مشخصه" هزینه بسته" است که در صورتی که از هر کدام از بسته‌ها استفاده شود باید هزینه آن بسته کامل پرداخت شود حتی اگر تنها از بخشی از ظرفیت بسته استفاده شود. مشخصه بعدی "متغیرات بسته" است منظور از این مشخصه، تفاوت‌های بسته‌ها با همدیگر است. در مدل مطرح شده در این مقاله، m روش حمل‌ونقل مختلف در نظر گرفته شده است که به ازای هر کدام از آنها پنج پارامتر ظرفیت و هزینه‌های حمل، ریسک، هماهنگی و راه اندازی متفاوتی تعریف می‌شود. به طور مثال، این پنج پارامتر برای انتقال یک گالن نفت خام توسط روش خط لوله متفاوت از روش کامیون‌های نفت‌کش است. مشخصه آخر در مورد محدودیت‌هایی است که از مدل ناشی می‌شود به طور مثال، در این مسئله چون در حوزه مسائل حمل و نقل و ریسک است تمام محدودیت‌هایی که در این نوع مسائل است در مسئله پیشنهادی نیز لحاظ می‌شود. به منظور نتیجه گیری از تفسیر بالا، در این مسئله، منظور از مشخصه شیء، نفت خام و منظور از مشخصه بسته، یک گالن نفت خام شد. در این مدل n گالن و m روش حمل مختلف لحاظ شد. برای انتقال کل نفت خام، m روش حمل باید به n گالن تخصیص داده شوند. نیازی به استفاده از تمام گالن‌ها نیست همچنین می‌توان چند گالن را به یک روش حمل تخصیص داد. کل پنج

$$\min Z_1 = \frac{D}{\sum_{i=1}^{n} x_i} \times \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} C_j \times W_j \times Y_{ij} + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} A_j \times Y_{ij} \right) + \sum_{j=1}^{m} S_j \times \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^{n} y_{ij}}{1 + \sum_{i=1}^{n} y_{ij}} \right\rceil \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \frac{D}{\sum_{i=1}^{n} x_i} \times \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} R_j \times W_j \times Y_{ij} \right) \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{m} Y_{ij} \leq 1 \qquad \text{for } i=1,2,\ldots n \quad (3)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^{m} w_j Y_{ij} \qquad \text{for } i=1,2,\ldots n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i \geq D \quad (5)$$

$$x_i \geq 0 \qquad \text{for } i=1,2,\ldots n \quad (6)$$

$$Y_{ij} \in \{0.1\} \qquad \text{for } i=1,2,\ldots n \text{ and } j=1,2,\ldots,m \quad (7)$$

پارامتر ظرفیت و هزینه‌های حمل، ریسک، هماهنگی و راه اندازی گالن مدنظر متناسب با روش حمل تخصیص یافته، تعیین می شود. در نهایت یک مدل انتقال نفت خام بوسیله روش‌های حمل مختلف در یک مدل بسته بندی ظرف تفسیر گردید.

جدول ۲. الگوگیری از مسئله بسته‌بندی ظرف

مقاله حاضر	BPP
نفت خام	شیء
انتقال یک گالن نفت خام توسط هر یک از روش های حمل و نقل	بسته‌ها
یک واحد از ظرفیت هر یک از روش‌های حمل‌ونقل	ظرفیت بسته[18]
هزینه حمل یک واحد از ظرفیت هر یک از روش‌های حمل‌ونقل	هزینه بسته[19]
ظرفیت و هزینه‌های حمل، ریسک، هماهنگی و راه اندازی انتقال یک گالن توسط هر یک از روش‌های حمل‌ونقل	متغیرات بسته[20]
محدودیت‌های حمل و نقل و ریسک	محدودیت‌ها[21]

۳- روش حل

مدل حمل‌ونقلِ نفت‌خام ارائه شده در این مقاله شامل دو تابع هدف کمینه‌سازی است. با توجه به اینکه این مدل چند هدفی است و شامل متغیرهای صفر-یک است و همچنین در ابعاد بزرگ، به زمان حل زیادی نیاز دارد، برای حل این مدل از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. یکی از الگوریتم‌های بسیار پرکاربرد و انعطاف‌پذیر در بحث چندهدفه که عملکرد بسیار خوبی نیز در تولید جواب‌های پارتو دارد الگوریتم NSGA-II است که توسط (Deb, Pratap and Agarwal, 2002) ارایه شده است. یکی از ویژگی‌های الگوریتم‌های فراابتکاری جستجوی فضای بسیار بزرگی از جواب‌های کاندید است. اما با وجود این ویژگی هیچ تضمینی برای یافتن جواب‌بهینه وجود ندارد. به همین منظور معمولاً برای تایید جواب‌های پارتوی به دست‌آمده توسط این الگوریتم، مدل در ابعاد کوچک توسط یک روش قطعی نیز حل می‌شود. در این مقاله ما از روش برنامه‌ریزی آرمانی برای رسیدن به این هدف استفاده کرده‌ایم. در نهایت برای بررسی کیفیت جواب‌های تولید شده از سه شاخص میانگین فاصله از آرمان(MID) و معیار پراکندگی(DM) و زمان حل استفاده شده است.

۳-۱- الگوریتم NSGA-II

شبه کد الگوریتم NSGA-II در مقاله (Deb, Pratap and Agarwal, 2002) ارایه شده است.

۳-۱-۱-ساختار کروموزوم

کروموزوم دارای n ژن است که هر ژن بیانگر یک گالن برای حمل و نقل نفت خام است و عددی که در داخل هر ژن قرار می‌گیرد بیانگر نوع روش انتخابی برای حمل و نقل نفت خام به اندازه ظرفیت یک واحد از این روش است. اعداد داخل هر ژن می‌تواند عددی بین ۰ تا m باشد. زمانی‌که یک ژن مقدار صفر می‌گیرد بیانگر این است که به ازای این ژن هیچ مقدار نفت خامی حمل نشده است. در شکل ۲ نحوه نمایش یک کروموزوم با مقادیر n=6 و m=3 نشان داده شده است. به عبارتی شش گالن و سه روش مختلف برای حمل و نقل نفت خام در نظر گرفته شده است. عدد ۳ در ژن اول بیانگر این است که از روش ۳ برای حمل نفت خام به اندازه ظرفیت

نوع روش حمل و نقل به ازای گالن شش	نوع روش حمل و نقل به ازای گالن پنج	نوع روش حمل و نقل به ازای گالن چهار	نوع روش حمل و نقل به ازای گالن سه	نوع روش حمل و نقل به ازای گالن دو	نوع روش حمل و نقل به ازای گالن یک
۲	۳	۰	۱	۰	۳

شکل ۲. ساختار کروموزوم

ازای این ژن هیچ مقدار نفت خامی حمل نشده است.

ژن‌های ۱ تا n با تولید عدد صحیح تصادفی در بازه $[0, m]$ بدست می‌آیند. در واقع خانه‌های ۱ تا n کروموزوم بیانگر متغیرهای y_{ij} هستند. وقتی مقدار اولین ژن در شکل ۲ برابر با ۳ شده است یعنی مقادیر $y_{11}=0, y_{12}=0, y_{13}=1, y_{14}=0, y_{15}=0$ هستند. این نوع کروموزوم باعث می‌شود که هیچگاه معادله (۳) نقض نشود. مقادیر x_i با توجه با

معادله (٤) محاسبه می‌شوند که برابر اندازه ظرفیت یک واحد روش حمل و نقل انتخابی‌است.

برای کروموزوم واقع در شکل ۲، تعداد ۱۸ متغیر y_{ij}وجود دارد که تنها چهارتای آنها مقدار یک می‌گیرند و بقیه مقدار صفر می‌گیرند $(y_{13}=1,\ y_{31}=1,\ y_{53}=1,\ y_{62}=1)$

۳-۱-۲- عملگرهای NSGA-II

روش‌های زیادی برای عمل تقاطع مانند روش تک‌نقطه‌ای، دونقطه‌ای، یکنواخت و غیره وجود دارد. در این مسأله از روش یکنواخت استفاده شده است. عملگر تقاطع یکنواخت، یک عملگر ترکیبی است که شامل سه مرحله است ابتدا دو کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند سپس به ازای هر ژن یک عدد تصادفی به مقادیر صفر یا یک انتخاب می‌شود. فرزند یک، اینگونه ساخته می شود که اگر مقدار عدد تصادفی صفر شود از ژن والد دوم استفاده می‌شود و اگر یک شود از ژن والد اول و همانطور برای فرزند دوم اگر مقدار عدد تصادفی صفر شود از ژن والد اول استفاده می‌کند و اگر یک شود از ژن والد دوم. در شکل ۳ نحوه کار عمگر تقاطع یکنواخت نشان داده شده‌است.

والد ۱	۲	۰	۱	۳	۰	۱
والد ۲	۱	۳	۰	۰	۲	۲
عدد تصادفی	۰	۱	۱	۱	۰	۱
فرزند ۱	۱	۰	۱	۳	۲	۱
فرزند ۲	۲	۳	۰	۰	۰	۲

شکل ۳. مثال از عملگر تقاطع یکنواخت

عملگر جهش در این مسأله بدین گونه است که برای ژن‌های ۱ تا n ابتدا یک عدد تصادفی بین (1 و n) تولید می‌شود که بیانگر ژن انتخابی است سپس یک عدد تصادفی بین (۰ و m) تولید می‌شود (البته بغیر از عددی که در ژن انتخابی است) و جایگزین ژن انتخابی قبلی می‌شود. شکل ٤ نحوه کار عملگر جهش نشان داده شده است.

کروموزوم	۲	۰	۱	۳	۰	۱
تولید یک عدد تصادفی بین (٦ و ۱)			۳			
تولید یک عدد تصادفی بین (۳ و ۰)			۲			
فرزند	۲	۰	۲	۳	۰	۱

شکل ٤. یک مثال از عملگر جهش

۳-۱-۳-تعیین پارامترها

الف-تعیین پارامترهای الگوریتم NSGA-II

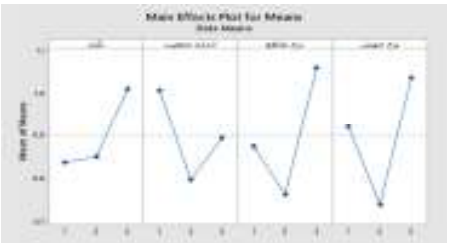
الگوریتم NSGA-II دارای پارامترهایی مانند نرخ‌تقاطع، نرخ‌جهش، اندازه جمعیت اولیه، تعداد تکرار هستند که تغییر هر کدام از آنها روی سرعت رسیدن به جواب‌ها و کیفیت آنها تاثیرگذار است. در جدول ۳ تعداد و مقدار سطوح در نظرگرفته‌شده برای هر کدام از پارامترها آورده شده است. با مراجعه به جدول استاندارد آرایه‌های متعامد در روش تاگوچی، با نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۹، با تعداد سطح ۳ و عامل ٤ آرایه‌های متعامد $L_9(3^4)$ و $L_{27}(3^4)$، به‌عنوان مناسب‌ترین طرح‌ها پیشنهاد می‌شود که در این مقاله از L9(34) استفاده می‌کنیم. نتایج آزمایشات به طور کامل در جدول ٤ آورده شده‌است و مقادیر حاصل برای پارامترهای الگوریتم NSGA-II همانطور که در شکل ۵ واضح است برابر است با: تعداد تکرار ۲۰، اندازه جمعیت اولیه ٤۰، نرخ تقاطع ٦۵/. و نرخ جهش ۰/۳۵.

ب- تعیین پارامترهای مدل پیشنهادی مسأله

در مسئله پیشنهادی پنج روش حمل و نقل برای انتقال نفت خام در نظر گرفته شده است که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۳. معرفی پارامترهای *NSGA-II* در روش تاگوچی

پارامترها	Low ۱	Medium ۲	High ۳
MaxIt	۲۰	٤۰	٦۰
Npop	۲۰	٤۰	٦۰
Pc	۰,۵	۰,٦۵	۰,۸
Pm	۰,۳	۰,۳۵	۰,٤



شکل ۵. مقادیر سطوح مختلف پارامترهای الگوریتم در نسبت *RPD*

جدول۵ . اطلاعات انواع روش‌های حمل

روش حمل	Wj	Aj	Sj	C_j	R_j
۱	۲۰۰	۵۰۰	۹۰۰	۱	۱
۲	۲۰۰	۲۰۰	۸۰۰	۱	۱/۳
۳	۵۰	٤۰	۱۰۰	۲	۱/۸
٤	٤۰	۳۰	۱۵۰	۲/۳	۱/۸
۵	٤۰	٤۰	۱۳۰	۲/٤	۱/۷

۳-۲- روش برنامه‌ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی از کاربردی‌ترین تکنیک‌های تحقیق در عملیات است که برای اولین بار توسط (Charnes and cooper,1961) ارایه گردید. در برنامه ریزی آرمانی راه حرکت همزمان به سوی چندین هدف (حتی متضاد با هم) مهیا می‌گردد.

٤- نتایج محاسباتی

در این قسمت، ابتدا مسئله در ابعاد کوچک با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و الگوریتم NSGA-II حل می‌شود و نتایج به دست آمده از دو روش با هم مقایسه می‌شوند. در ادامه ٦ مسئله مختلف با پارامترهای متفاوت ارایه می‌شود و این ٦ مسئله با الگوریتم NSGA-II حل می‌شوند و کیفیت جواب‌ها با معیارهای میانگین فاصله از آرمان (MID) و معیار پراکندگی(DM) و زمان حل ارزیابی می‌شوند.

٤-۱- بررسی نتایج برای مسأله با ابعاد کوچک (روش Goal Programing)

در این بخش مسئله در ابعاد کوچک توسط روش برنامه‌ریزی آرمانی حل می‌شود و جواب به دست آمده توسط این روش با جواب به دست آمده توسط الگوریتم NSGA-II مقایسه می‌شود. در این مسئله برای انتقال نفت خام، ٤ گالن و ۲ نوع روش حمل مختلف (روش‌های نوع ۱ و ۲) از جدول ۵ در نظر گرفته شده‌است. به ازای هر کدام از توابع هدف، مسئله در نرم افزار Lingo حل شده است و مقادیر آرمانی برای توابع هدف به ترتیب ۱٤۰۰ و ۳۰۰ به دست آمده است. به ازای این مقادیر آرمانی، مدل موردنظر توسط روش برنامه‌ریزی آرمانی در محیط Lingo حل شد و این نتایج به همراه نتایج به دست آمده توسط روش NSGA-II در جدول ٦ آورده شده است. پنج جواب نامغلوب توسط روش NSGA-II بدست آمد که یکی از آنها دقیقاً برابر با جواب به دست آمده از روش برنامه‌ریزی آرمانی است که در جدول ٦ آورده شده است که بیانگر کیفیت بالای الگوریتم نوشته شده است.

٤-۲- بررسی نتایج برای مسأله با ابعاد بزرگ

٤-۲-۱-شاخص‌های ارزیابی الگوریتم

در این مقاله برای ارزیابی کیفیت جواب‌های الگوریتم NSGA-II از سه شاخص "میانگین فاصله از آرمان (MID)" و "معیار پراکندگی(DM)" و "زمان حل" استفاده شده است. در ادامه این شاخص‌ها توضیح داده خواهند شد برای آشنایی بیشتر با شاخص‌های ارزیابی الگوریتم‌های تکاملی به مقالات (Deb, 2011; Tavakkoli-Moghaddam, Amiri and Azizmohammadi, 2013) مراجعه شود.

-شاخص میانگین فاصله از آرمان (MID)

از این شاخص به منظور اندازه گیری نزدیکی بین جواب‌های پارتو و نقطه ایده آل (۰و۰) استفاده می‌شود. فرمول ریاضی شاخص MID در معادله (۸) آورده شده است. کاملاً واضح است که مقدار عددی این شاخص هر چقدر کمتر باشد بهتر است. در این معادله n بیانگر تعداد جواب‌های نامغلوب در خط پارتو است و f_{1i} و f_{2i} بیانگر مقدار تابع هدف اول و دوم برای جواب نامغلوب iام است.

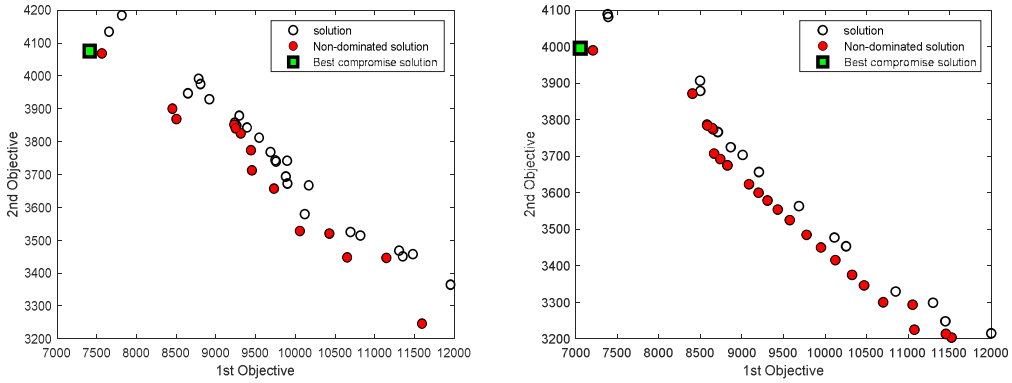
$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{f_{1i}^2 + f_{2i}^2}}{n} \qquad (۸)$$

- معیار پراکندگی(DM)

معیار پراکندگی بیانگر وسعت گسترش و پراکندگی مجموعه جواب‌های نامغلوب در خط پارتو است و فرمول ریاضی آن در معادله (۹) آورده شده است.

جدول ٤. نتایج کامل آزمایشات به روش تاگوچی برای پارامترهای الگوریتم NSGA-II

آزمایش	آرایه های متعامد با استفاده از روش تاگوچی $L_{27}(3^4)$				نتایج آزمایشات		RPD		نرمال شده RPD		جمع مقادیر نرمال شده
					تعداد جواب نامغلوب	زمان حل (ثانیه)	تعداد جواب نامغلوب	زمان حل (ثانیه)	تعداد جواب نامغلوب	زمان حل (ثانیه)	
۱	۱	۱	۱	۱	۱۷	۰/٤۹	۰/٦٤	۰	۰/۹٤	۰	۰/۹٤
۲	۱	۲	۲	۲	۳۹	۲/۸۹	۰/۱۷	٤/۹	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/٤٤
۳	۱	۳	۳	۳	٤۳	۱۲/۸۷	۰/۰۹	۲۵/۲۷	۰/۱۳	۱	۱/۱۳
٤	۲	۱	۲	۳	۱۸	۱/۱٦	۰/٦۲	۱/۳۷	۰/۹۱	۰/۵	۰/۹٦
۵	۲	۲	۳	۱	۲۷	٤/۲۹	۰/٤۳	۷/۷٦	۰/٦۳	۰/۳۱	۰/۹۳
٦	۲	۳	۱	۲	٤۳	۷/۱۱	۰/۰۹	۱۳/۵۱	۰/۱۳	۰/۵۳	۰/٦٦
۷	۳	۱	۳	۲	۱۵	۱/۹۲	۰/٦۸	۲/۹۲	۱	۰/۱۲	۱/۱۲
۸	۳	۲	۱	۳	۲۸	۵/۱۸	۰/٤	۱۰/۸٦	۰/۵۹	۰/٤۳	۱/۰۲
۹	۳	۳	۲	۱	٤۷	۱۱/۵۵	۰	۲۲/۵۷	۰	۰/۸۹	۰/۸۹



شکل ٦. خط پارتو الگوریتم NSGA-II با اندازه جمعیت ٤۰-سمت چپ: ۵ تکرار و سمت راست:۲۰ تکرار

جدول ٦. جواب روش برنامه‌ریزی آرمانی و الگوریتم NSGA-II

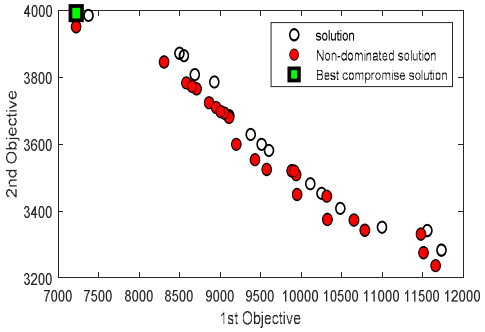
تفاضل مقدار آرمانی و تابع هدف ۲	تفاضل مقدار آرمانی و تابع هدف ۱	مقدار تابع هدف دو	مقدار تابع هدف یک	نوع روش برای گالن چهار	نوع روش برای گالن سه	نوع روش برای گالن دو	نوع روش برای گالن یک
جواب بهینه روش برنامه‌ریزی آرمانی							
۹۰	۰	۳۹۰	۱٤۰۰	۲	۲	۰	۰
نزدیک‌ترین جواب الگوریتم NSGA-II به جواب برنامه‌ریزی آرمانی							
–	–	۳۹۰	۱٤۰۰	۲	۲	۰	۰

$$DM = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \max(\|x^i - y^i\|)} \qquad (۹)$$

در این معادله N بیانگر تعداد اهداف است و $\|x^i - y^i\|$ بیانگر فاصله اقلیدسی بین جواب نامغلوب x^i و جواب نامغلوب y^i است. کاملاً واضح است که مقدار عددی این شاخص هر چقدر بیشتر باشد بهتر است.

- زمان حل

یکی دیگر از معیارهای ارزیابی کیفیت جواب‌های الگوریتم‌های تکاملی زمان حل است. کاملا مشخص است که هر چقدر زمان حل کمتر باشد بیانگر کیفیت بهتر الگوریتم



شکل ۷. نمودار پارتویی جواب‌های نامغلوب NSGA-II

است. در شکل ٦ خط پارتو الگوریتم NSGA-II را برای دو تکرار مشاهده می کنید و جوابی که کمترین مقدار MID را دارد توسط مربع نشان داده شده است. اندازه جمعیت ٤٠ در نظر گرفته شده است و شکل سمت چپ نمودار پارتو با ٥ تکرار و شکل سمت راست نمودار پارتو با ٢٠ تکرار را نشان می دهد. پراکندگی جواب‌ها به خوبی قابل مشاهده است که بیانگر کیفیت بالای این الگوریتم است. کل جوابها با دایره نشان داده شده‌اند و جواب‌های نامغلوب با دایره‌های قرمز مشخص شده‌اند و بهترین جواب توافقی از بین جواب‌های نامغلوب با رنگ سبز مشخص شده است. چون هر دو تابع هدف کمینه سازی است نقطه ایده آل (۰و۰) لحاظ می‌شود و جواب نامغلوبی که کمترین فاصله را با این نقطه داشته باشد را می‌توان به عنوان بهترین جواب توافقی لحاظ کرد. تمام محاسبات توسط کامپیوتر با Intel Core CPU 3.40 GHz i3-4130 و RAM 4GB حل شده است.

٤-٢-٢- محاسبات الگوریتم در ابعاد بزرگ

برای بررسی کیفیت جواب‌های الگوریتم پیشنهادی در ابعاد بزرگ، ٦ مساله توسط الگوریتم، حل و بررسی شده‌است. برای بررسی کیفیت جواب‌های حاصل از الگوریتم NSGA-II از MID و DM و زمان حل در ابعاد بزرگ استفاده می‌شود. حال با ترکیب پنج روش حمل ارایه شده در جدول ٥ و تغییر در پارامترهای تقاضا، تعداد گالن و تعداد روش‌های حمل شش مسئله تولید شده است و هر کدام از آنها توسط الگوریتم NSGA-II حل شده است. نتایج محاسباتی الگوریتم NSGA-II برای شش مسأله در جدول ۷ آورده شده‌است. ستون دوم این جدول بیانگر مقدار تقاضای سالیانه است. ستون سوم این جدول بیانگر تعداد گالن‌های موجود است، ستون چهارم، تعداد روش‌های حمل را نشان می‌دهد، ستون پنجم بیانگر این است که از پنج روش حمل لحاظ شده در جدول ٥، کدامیک در مدل استفاده شده‌اند. در ستون ششم تا هشتم، هر مسأله توسط الگوریتم NSGA-II با ٢٠ تکرارحل شده است و میانگین فاصله از آرمان (MID) در ستون ششم، معیار پراکندگی (DM) در ستون هفتم و زمان حل در ستون هشتم قرار داده شده‌است در ادامه شاخصها برای ٤٠و ٦٠ تکرار ثبت شده است. همانطور که شماهده می شود نتایج بیانگر کیفیت بالای الگوریتم نوشته شده استچون هر چه تکرار بیشترمی‌شود میانگی فاصله ایده آل کمتر وشاخص پراکندگی بیشتر می‌شود زمان حل هم به علت بالا رفتن تکرار افزایش می‌یابد. شکل ۷ نمودار پارتویی جواب‌های نامغلوب مسأله شماره شش را به ازای ٢٠ تکرار نشان می‌دهد.

٥- نتیجه‌گیری

در سالیان گذشته مقالات بسیاری در زمینه تفسیر و مدلسازی مسائل جدید توسط مدل‌های پایه ارایه شده است. یکی از پرکاربردترین این مدل‌های پایه، مسئله بسته‌بندی ظرف است. در این مقاله نیز سعی شد تا برای اولین بار یک مسئله "انتقال نفت خام با روش‌های حمل و نقل مختلف" توسط BPP تفسیر و مدلسازی شود. مسئله پیشنهادی در این مقاله، یک

جدول ۷. نتایج محاسباتی الگوریتم NSGA-II برای ٦ مسأله

مسأله	تقاضا (D)	تعداد گالن (*n*)	تعداد روش حمل (*m*)	روش های حمل لحاظ شده	NSGA-II با ٢٠ تکرار			NSGA-II با ٤٠ تکرار			NSGA-II با ٦٠ تکرار		
					زمان حل (ثانیه)	*DM* ($\times 10^{\cdot}$)	*MID* ($\times 10^{3}$)	زمان حل (ثانیه)	*DM* ($\times 10^{5}$)	*MID* ($\times 10^{3}$)	زمان حل (ثانیه)	*DM* ($\times 10^{5}$)	*MID* ($\times 10^{3}$)
١	٣٠٠٠	٨	٣	١و٣و٥	٢/٥٤	١/٢٦	١/٧٦	٤/٩٨	١/٣٢	١/٦٤	٨/١٠	١/٤٠	١/٥٩
٢	٣٠٠٠	١٠	٤	١-٤	٢/٧٣	١/٢٣	١/٧٣	٥/١٠	١/٢٤	١/٦١	٩/٢٥	١/٣٥	١/٥٥
٣	٣٠٠٠	٨	٣	٣-٥	٢/٥٧	١/١٦	٢/٠٥	٤/٩٧	١/٢٥	١/٩٨	٨/٨٣	١/٣٢	١/٧٥
٤	٣٠٠٠	١٢	٥	١-٥	٢/٦٤	١/٢٤	١/٩٧	٤/٨٥	١/٣٣	١/٩٠	٨/٩١	١/٤٥	٢/٥٥
٥	٨٠٠٠	٢٠	٥	١-٥	٢/٦٦	٢/٩٧	٤/٨٦	٥/٢٠	٣/٢٠	٤/٧٩	٩/٩٩	٣/٢٢	٢/٦٠
٦	١٢٠٠٠	٢٥	٥	١-٥	٢/٩٣	٦/٨٢	٤/٠١	٥/٣٥	٨/٠٢	٣/٩٥	١٠/١٠	٨/٢٠	٢/٩٠

مدل حمل‌ونقل نفت خام دو هدفه بود که تابع هدف اول آن کمینه‌کردن هزینه‌های هماهنگی، حمل و نقل و ساخت و تابع هدف دوم بیانگر کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های ریسک بود. به منظور تفسیر این مسئله توسط BPP" یک گالن نفت خام" به عنوان مشخصه "بسته" و "نفت خام" به عنوان مشخصه "شیء" تفسیر شد. در این مدل n گالن و m روش حمل مختلف لحاظ شد. برای انتقال کل نفت خام، m روش حمل باید به n گالن تخصیص داده شوند. نیازی به استفاده از تمام گالن‌ها نیست و می‌توان چند گالن را به یک روش حمل تخصیص داد. کل پنج پارامتر ظرفیت و هزینه‌های حمل، ریسک، هماهنگی و راه اندازیِ گالن مدنظر متناسب با روش حمل تخصیص یافته، تعیین شد. در نهایت یک مدل انتقال نفت خام بوسیله روش‌های حمل مختلف در یک مدل بسته‌بندی ظرف تفسیر گردید. تا این زمان در هیچ مقاله‌ای برای "تخصیص انتقال نفت خام توسط روش‌های مختلف حمل و نقل" از مسئله بسته‌بندی ظرف الگوگیری نشده بود. مسأله توسط الگوریتم NSGA-II حل شد همچنین برای بررسی نتایج در ابعاد کوچک این مسئله توسط روش برنامه ریزی آرمانی نیز حل و نتایج بررسی شد. برای ابعاد بزرگ نیز، شش مسأله با ابعاد بزرگ توسط الگوریتم NSGA-II حل و نتایج محاسباتی توسط سه شاخص میانگین فاصله از آرمان (MID) و معیار پراکندگی (DM) و زمان حل ارزیابی شد و نتایج بیانگرکیفیت بالای الگوریتم در حل مدل مقاله بود.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Bin Packing Problem
2 . Item
3 . Bin
4. Variable Size Bin Packing Problem
5. Variable Cost And Size Bin Packing Problem
6. Bin Packing Problem
7. Np-Hard
8. Crude Oil Transportation
9. Upstream
10. Downstream
11. Pipeline
12. Tank Tracks
13. Railroad Tank Cars
14. Barges Or Tank Barges
15. Tankers
16. Mean Ideal Distance
17. Diver Sinification Metric
18 . Bin Capacity
19 . Bin Cost
20. Bin Variability
21 . Restrictions On Item Ordering

۷- مراجع

-Almasi, M., Khoshfetrat, S. and Galankashi, M.R., (2019), "Sustainable supplier selection and order allocation under risk and inflation condition", IEEE Transactions on Engineering Management, pp.1-15.

-Anand, S. and Guericke, S., (2020), "A Bin Packing Problem with Mixing Constraints for Containerizing Items for Logistics Service Providers", In International Conference on Computational Logistics, Springer, Cham. pp. 342-355.

-Aydin, N., Muter, I. and Birbil, S. I., (2019), "Bin Packing Problem with Time Dimension: An Application in Cloud Computing, Preprint".

-Aydin, N., Muter, I. and Birbil, S. I., (2020), "Multi-objective temporal bin packing problem: An application in cloud computing", Computers and Operations Research, pp.104959.

-Baldi, M. M., Crainic, T. G., Perboli, G. and Tadei, R., (2012), "The generalized bin packing problem", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol.48, No.6, pp. 1205-1220.

-Baldi, M. M., Manerba, D., Perboli, G. and Tadei, R., (2019), "A generalized bin packing problem for parcel delivery in last-mile logistics", European Journal of Operational Research, Vol. 274, No.3, pp.990-999.

-Balliauw, M., Kort, P.M. and Zhang, A.M. (2019), "Capacity investment decisions of two competing ports under uncertainty: a strategic real options approach", Transportation research part B: Methodological, Vol. 122, pp.249–264.

-Canbolat, P.G., Rothblum, U.G., (2019), "Constant risk aversion in stochastic contests with exponential completion times", Naval Research Logistics, Vol., 66. No.1, pp.4–14.

-Charnes, A., Cooper, WW. (1961), "Management Models and the Industrial Applications of Linear Programming", Wiley, New York.

-Cheng, L., Duran, M. A., (2004), "Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control", Computers and chemical engineering, Vol. 28, No.6-7, pp.897-911.

-Chernykh, I. and Pyatkin, A., (2019), "Irreducible bin packing: complexity, solvability and application to the routing open shop". In International Conference on Learning and Intelligent Optimization, Springer, Cham., pp. 106-120.

-Correia, I., Gouveia, L., Saldanha-da-Gama, F., (2008), "Solving the variable size bin packing problem with discretized formulations", Computers and Operations Research, Vol.35, No.6, pp. 2103–2113.

-Crainic, T. G., Perboli, G., Rei, W. and Tadei, R., (2011), "Efficient lower bounds and heuristics for the variable cost and size bin packing problem", Computers and Operations Research, Vol.38, No. 11, pp.1474-1482.

-Deb, K., (2011), "Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction. In Multi-objective evolutionary optimisation for product design and manufacturing", London: Springer.

-Deb, K., Pratap, A. and Agarwal, S., (2002), "A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II", IEEE transactions on evolutionary computation, Vol.2, pp. 182-97.

-Emmerson, C., Stevens, P., (2012), "Maritime Choke Points and the Global Energy System", Charting a Way Forward, Chatham House Briefing Paper, London, Vol. 4.

-Fan, J., Wang, G. and Thürer, M., (2020), "Approximation algorithms for a new truck loading problem in urban freight transportation", Transportation Science, Vol. 54, No.3, pp. 690-702.

-Fatima, A., Javaid, N., Sultana, T., Aalsalem, M. Y. and Shabbir, S., (2019), "An efficient virtual machine placement via bin packing in cloud data centers", In International Conference on Advanced Information Networking and Applications, pp. 977-987, Springer, Cham.

-Garey, M. R., Johnson, D., (1979), "A Guide to the Theory of NP-Completeness", Freeman, San Francisco, Computers and Intractability, Vol.26, pp.618–630.

-Gavriilidis, K., Kambouroudis, D.S. and Tsakou, K., (2018), "Volatility forecasting across tanker freight rates: the role of oil price shocks", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.Vol.118. pp.376-391.

-Gradisar, D. and Glavan, M., (2020), "Material Requirements Planning Using Variable-Sized Bin-Packing Problem Formulation with Due Date and Grouping Constraints", Processes, Vol.8, No.10.

-Griffiths, V., Scanlan, J. P., Eres, M. H., Martinez-Sykora, A. and Chinchapatnam, P., (2019), "Cost-driven build orientation and bin packing of parts in Selective Laser Melting (SLM)", European Journal of Operational Research, Vol.273, No.1, pp. 334-352.

-Gzara, F., Elhedhli, S. and Yildiz, B. C., (2020), "The Pallet Loading Problem: Three-dimensional Bin Packing with Practical Constraints", European Journal of Operational Research.

-Hebler, K., Irnich, S., Kreiter, T. and Pferschy, U., (2020), "Lexicographic Bin-Packing Optimization for Loading Trucks in a Direct-Shipping System", No. 2009.

-Kaaouache, M., Bouamama, S., (2015), "Solving bin packing problem with a hybrid genetic algorithm for VM placement in cloud". Procedia Computer Science, Vol.60, pp.1061-1069.

-Li, J.P., Sun, X.L., He, W., Tang, L. and Xu, W.X., (2009), "Modeling dynamic correlations and spillover effects of country risk: evidence from Russia and Kazakhstan", International Journal of Information Technology and Decision Making. Vol.8, No.4, pp.803–818.

-Liang, X., Zhou, S., Chen, H. and Xu, R. (2019), "Pseudo transformation mechanism between resource allocation and bin-packing in batching environments", Future Generation Computer Systems, Vol.95, pp.79-88.

-Liu, Z.G., Wang, J., (2019), "Supply chain network equilibrium with strategic financial hedging using futures", European Journal of Operational Research, Vol. 272, No. 3, pp. 962–978.

-Martello, S., Toth, P., (1990), "Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations", New York,Wiley.

-Monaci, M., (2002), "Algorithms for Packing and Scheduling Problems", PhD Thesis, University di Bologna, Bologna, Italy.

-Polyakovskiy, S. and M'Hallah, R., (2020), "Just-in-time two-dimensional bin packing", Omega, pp.102311.
-Spencer, K. Y., Tsvetkov, P. V. and Jarrell, J. J., (2019), "A greedy memetic algorithm for a multi objective dynamic bin packing problem for storing cooling objects", Journal of Heuristics, Vol.25, No.1, pp.1-45.
-Su, B., Xie, N. and Yang, Y., (2020), "Hybrid genetic algorithm based on bin packing strategy for the unrelated parallel workgroup scheduling problem", Journal of Intelligent Manufacturing, pp.1-13.
-Tavakkoli-Moghaddam, R., Amiri, M. and Azizmohammadi, R., (2013), "Solving a redundancy allocation problem by a hybrid multi-objective imperialist competitive algorithm", International Journal of Engineering, Vol.9, No.26, pp.1031-1042.
-Wang, F., Yang, X., Zhuo, X.P. and Xiong, M.H., (2019), "Joint logistics and financial services by a 3PL firm: effects of risk preference and demand volatility". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol.130, pp.312–328.
-Wang, L., Yao, D.D., (2019), "Risk hedging for production planning", Production and Operations Management.
-Wang, S., Li, J. and Mehrotra, S., (2019), "Chance-Constrained Bin Packing Problem with an Application to Operating Room Planning".
-Wang, S., Lu, J. and Jiang, L., (2020), "Time Reliability of the Maritime Transportation Network for China's Crude Oil Imports", Sustainability, Vol.12, No.1, pp.198-209.
-Wen, X., Xu, X.Y., Choi, T.M. and Chung, S.H., (2019), "Optimal pricing decisions of competing air-cargo-carrier systems-impacts of risk aversion, demand, and cost uncertainties". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, pp.1–15.
-Ye, D., Xie, F. and Zhang, G., (2020), "Truthful mechanism design for bin packing with applications on cloud computing".

Optimization of Crude Oil Transportation by Using the Bin Packing Problem

Seyed Masoud Tahanian Gomi, Ph.D., Student, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
Maryam Hamedi, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
Reza Tavakkoli-Moghaddam, Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: marhamedi@pnu.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

In recent years, many papers have been presented on the interpretation and modeling of new problems by basic models. One of the most widely used of these basic models is the Bin packing problem. As time goes on, the importance and power of this issue in modeling new problems becomes clearer. This paper also attempts to interpret and model for the first time a “multi-mode Crude oil transportation problem" by the bin packing problem. This bi-objective model answers the question of which method or combination of methods is used to transfer crude oil in order to reduce the risk and costs. transportation methods are defined based on five criteria: "capacity", "coordination cost", "setup cost", "transportation cost" and "risk cost". Because the presented model is a bi-objective nonlinear programming type and NP-hard one to be solved in a reasonable time, a well-known multi-objective evolutionary algorithm, namely a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II), is proposed. To verify the obtained solution and evaluate the performance of the NSGA-II, the goal programing method is developed in solving small-sized problems. In large-sized problems, the test problems are solved by the proposed NSGA-II. Then, the Pareto-optimal solutions are evaluated by mean ideal distance, diversification, and time metrics.

Keywords: Bin packing problem, Crude oil transportation, Developed Variable Cost and Size Bin Packing Problem, Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)