فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال یازدهم، شماره ۳۱، زمستان ۹۲
صفحات ۸۴ – ۵۵

زمان‌بندی حمل‌ونقل کامیون‌ها در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن بارانداز تقاطعی و با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

علی محتشمی * **- علی فلاحیان نجف‌آبادی** **

(تاریخ دریافت :۹۲ /۸/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۳)

چکیده

دردنیای رقابتی امروز، سازمان ها با بهره گیری از علوم مدیریت، اقدام به ایجاد مزایای رقابتی می کنند. یکی از مهمترین علوم مدیریتی که در این زمینه مباحث بسیار سودمندی را مطرح کرده است، مدیریت زنجیره تامین می باشد. مدیریت زنجیره تامین نتیجه تکاملی مدیریت انبارداری است و به عنوان یکی از مبانی زیرساختی و مهم پیاده سازی کسب و کار است که در بسیاری از آنها تلاش اساسی برای کوتاه کردن زمان بین سفارش مشتری تا تحویل واقعی کالا می باشد. بارانداز تقاطعی[1] یکی از مهمترین گزینه ها برای کاهش زمان در زنجیره تامین می باشد. هدف اصلی در این مقاله تمرکز بر بهینه سازی برنامه ریزی کامیون های ورودی و خروجی با هدف به حداقل رساندن مدل تک هدفه زمان کل عملیات داخل زنجیره تامین می باشد. زمان بندی حمل و نقل در این مقاله، زمان بین مبداها و مقصدها، زمان تخلیه و بارگیری و جابجایی محصولات را کمینه سازی می نماید. از آنجا که این مدل مقاله از نوع صفر و یک بوده و متعلق به کلاس NP-hard است زمان حل آن ها با افزایش ابعاد مسأله به شدت افزایش می یابد. بنابراین برای پیدا کردن جواب های نزدیک بهینه مساله از الگوریتم‌های ژنتیک [2] و بهینه سازی گروه ذرات[3] استفاده شده است. سپس این الگوریتم ها با معیارهایی همچون زمان اجرا و کیفیت جواب ها با یکدیگر مقایسه شده و الگوریتم برتر در هر معیار مشخص گردید.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره تامین، بارانداز تقاطعی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات

---

* استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران (نویسنده مسئول)
mohtashami@qiau.ac.ir

** کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران

1. Cross docking
2. Genetic Algorithm
3. Particle Swarm Optimization

مقدمه

امروزه زنجیره تامین به عنوان موثرترین عنصر بین بنگاه های اقتصادی و تولیدی است که دلیل شکل گیری آن نیز افزایش فشارهایی است که به دلیل خواست مشتریان بر کیفیت بالا و خدمت رسانی سریع می باشد. مدیریت زمان در زنجیره تامین باعث خدمت رسانی سریع و بالابردن سطح رضایتمندی مشتریان می‌شود که مهمترین مولفه برای مدیریت زمان کاهش زمان انتظار است. برای کاهش و کنترل زمان انتظار با توجه به هزینه‌های نگهداری ذخیره‌سازی موقت در انبارها پیشنهاد می‌شود. همچنین ذخیره سازی طولانی محصولات هزینه های نگهداری سیستم را افزایش می‌دهد.

پژوهشگران و محققان به این نتیجه رسیدند که اگر انبار موقتی وجود داشته باشد کاهش زمان انتظار اتفاق خواهد افتاد. به این صورت که کامیون های ورودی به انبار مستقیما بار خود را به کامیون های خروجی تحویل داده و هیچ ذخیره سازی صورت نگیرد و یا ذخیره سازی بسیار محدود و موقتی باشد. این مفهوم به نام بارانداز تقاطعی می باشد (Schaffer،1998). ایده کلی آن به اینصورت است که انتقال محموله ها از کامیون های ورودی به خروجی بدون هیچگونه انبارش و بطور معمول با صرف زمان کمتر از ۲۴ ساعت در بارانداز تقاطعی و گاهی اوقات کمتر از یک ساعت می باشد (Bartholdi & Gue،2004).

در این مقاله کاهش زمان عملیات در کل زنجیره تامین مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل مطرح شده در مرحله اول کامیون های ورودی پس از بارگیری محصولات از تامین‌کنندگان، مستقیما به سمت مشتریان حرکت می کنند و یا به سمت بارانداز تقاطعی حرکت می‌کنند. در مرحله دوم محصولات در بارانداز تقاطعی تخلیه می شوند و سپس در کامیون های خروجی محصولات بارگیری می شوند و در مرحله سوم محصولات به مشتریان انتقال می‌یابند. لازم به ذکر است که یک کامیون می تواند محصولات بیش از یک تامین‌کننده را بارگیری کند و همین طور یک کامیون می تواند به بیش از یک مشتری حرکت کند و محصولات را در بین آن ها تخلیه کند. برای حمل و نقل محصولات از کامیون هایی با ظرفیت های متفاوت استفاده شده است.

تحقیق پیش رو یک تحقیق نظری است. با توجه به اینکه هدف از انجام این مطالعه افزایش جنبه کاربردی مدل های بارانداز تقاطعی در زنجیره تامین می باشد، بنابراین تحقیق حاضر از حیث هدف، کاربردی است. اما با توجه به مطالعه روش های پیشین، و پیشنهاد روش مناسب تر و کاربردی تر، مطالعه حاضر از حیث روش، تحلیلی – توسعه ای است.

مروری بر مطالعات پیشین

یکی از اولین تحقیقاتی که به بررسی زمان عملیات پرداخت توسط (Peck،1983) با یک شبیه سازی توسعه یافته و با استفاده از مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای مشخص کردن هر کامیون به درب بارانداز تقاطعی که کل زمان انتقال را به حداقل می رساند، انجام گرفت.

(Tsui & Chang،1990) برای کاهش زمان،تحقیقات خود را بر روی درب ها و چیدمان آنها در بارانداز تقاطعی انجام دادند. (Yu & Egbelu،2008) هدف از تحقیق خود را پیدا کردن بهترین سکو در بارانداز‌تقاطعی یا برنامه ریزی دنباله ای برای کامیون های ورودی وخروجی برای به حداقل رساندن زمان عملیات درنظر گرفتند.

(Vahdani & Zandieh،2010) مدلی برای برنامه ریزی حمل و نقل کامیون ها پیشنهاد کردند. ایده اصلی تحقیق آنها به اینگونه بود که انتقال محموله ها بطور مستقیم از درب های ورودی به خروجی بدون هیچگونه ذخیره سازی در این بین صورت گیرد و هدف اصلی خود را پیدا کردن بهترین توالی برای کامیون های ورودی و خروجی برای به حداقل رساندن زمان کل عملیات قرار دادند و به عبارت دیگر حداکثر رساندن توان عملیاتی در سیستم بارانداز تقاطعی بود. آنها با استفاده از پنج الگوریتم فراابتکاری به حل این مدل پرداختند.

(Boysen،2010) مساله اساسی را، اهداف مختلف عملیاتی مانند زمان جریان، زمان پردازش و زمان تاخیر کامیون های خروجی می دانست که باید به حداقل برسند و برای حل این مساله، برنامه ریزی دقیق و مناسب کامیون ها را پیشنهاد کرد و روش های اکتشافی را به عنوان راه حل ارائه کرد. در ادامه می توان به تحقیقات (Boysen & Fliedner،2010) اشاره کرد که به ارائه یک طبقه بندی از روش های موجود برای برنامه ریزی کامیون ها و تنظیم آن در بار انداز تقاطعی پرداخت.

(Vis & Roodbergen،2011) تحقیق اصلی خود را درمورد چگونگی طراحی محل انبارش کالاها در بارانداز تقاطعی انجام دادند که باعث کاهش زمان دسترسی و کاهش زمان انتظار می شد. آنها با توجه به زمان ورود کالاها وخروج آنها قفسه ها ومحل قرارگیری کالاهای سفارش داده شده را طراحی کرده تا به راحتی و در کمترین زمان به کامیون های خروجی انتقال یابند و این را به عنوان یکی از مواردی که در کاهش زمان عملیات تاثیر دارد مورد بررسی قرار داده‌اند.

(Liao et al،2013) تحقیقات خود را برروی توالی کامیون های ورودی و خروجی در بارانداز تقاطعی با هدف به حداقل رساندن زمان کل عملیات یا به گونه ای دیگر به حداکثر رساندن توان عملیاتی در یک سیستم بارانداز تقاطعی انجام داده اند. (Boloori Arabani،2011)

یک مساله زمان بندی در بارانداز تقاطعی پیشنهاد کردند که در آن یک سکوی دریافت و یک سکوی تحویل با کامیون های ورودی و خروجی درگیر هستند. آن ها یک مساله به عنوان حداقل سازی زمانبندی عملیات حمل و نقل در نظر گرفتند و مدل را با پنج روش فرا ابتکاری توسعه و حل نمودند. (Tang & Yan،2010) تاکیدشان به کاربرد سیستم بارانداز تقاطعی با استفاده از دو روش بود: (۱) توزیع قبل از عملیات بارانداز تقاطعی، که در آن مسولیت توزیع محصولات به تولید کنندگان واگذار می شود; (۲) توزیع پس از عملیات بارانداز تقاطعی، که در آن تولیدکنندگان معمولا توزیع کالا را به بارانداز تقاطعی واگذار می کنند، به خصوص انبارهایی که به مشتریان نزدیک تر می باشند. (Chen & Song،2009) پیشنهاد یک مساله برنامه ریزی بارانداز تقاطعی دو مرحله ای را دادند که برخورد آن ها با مدل در دو فاز مختلف بود. برای مسائل کوچک، آنها یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط انتخاب وهر مساله را با روش CPLEX حل کردند. در حالی که برای مسائل متوسط و بزرگ، پیشنهاد حل آن ها با استفاده از چهار روش ابتکاری و در نهایت مقایسه این روش ها با یکدیگر بود.

(Schaffer،1998) الزامات لازم برای موفقیت بارانداز تقاطعی را تشریح کرد. او تاکید داشت که بارانداز تقاطعی می تواند کارایی را به وسیله اجرا کردن موفقیت آمیز برنامه ریزی دقیق نیازها افزایش دهد. اسچفر اشاره می کند که بیشتر عیب های بارانداز تقاطعی به واسطه این حقیقت است که درک نامناسب از الزامات مورد نیاز برای موفقیت بارانداز تقاطعی و کمبود برنامه ریزی های اجرایی وجود دارد. (Witt،1998) الزامات بارانداز تقاطعی را به ۶ گروه تقسیم کرد: ۱) همراهی با دیگر اعضای زنجیره تأمین ۲) اطمینان کامل از کیفیت و موجود بودن محصول ۳) ارتباط متقابل با اعضای زنجیره تأمین ۴) کنترل و تبادل بین عملیات بارانداز تقاطعی ۵) کارکنان، تجهیزات و تسهیلات ۶) مدیریت عملیات. با هدف اجرای موفق بارانداز تقاطعی، یک برنامه منظم باید تا تمام گروه های بالا را مدنظر قرار دهد.

به روشنی مشخص است که سیستم بارانداز تقاطعی سطح موجودی را کاهش می دهد. کاهش زمان جریان محصول بین تولید کننده و مشتری را سبب می شود و کنترل بهتری را بر عملیات توزیع ایجاد می کند. برای اجرای موفقیت آمیز تر بارانداز تقاطعی نرم افزار و سخت افزار مناسب باید تولید شود. برای مثال تعیین کردن توالی مناسب کامیون های دریافت و ارسال برای بارانداز فاکتور مهمی است.

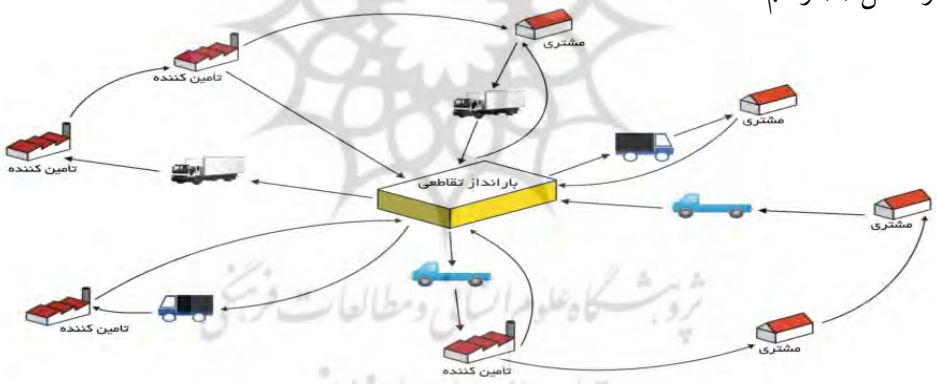
مطالعات زیادی در خصوص مدل های مختلف بارانداز تقاطعی انجام شده است اما این مطالعات بیشتر با هدف حداکثر کردن توان عملیاتی در درون بارانداز تقاطعی انجام شده است

و کمتر بحث عوامل بیرونی در بارانداز تقاطعی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در تحقیقاتی که بر روی عملیات بارانداز تقاطعی صورت پذیرفته است، هیچ یک از مدل های پیشین قابلیت درنظر گیری توابع توزیع برای تمامی پارامتر های مبتنی بر زمان مانند مدت زمان بارگیری محصولات از مبداها در کامیون ها، مدت زمان تخلیه محصولات از کامیون ها در مقصدها و مدت زمان جابجایی محصولات از ورودی بارانداز تقاطعی به خروجی بارانداز تقاطعی و همچنین مسافت جابجایی کامیون ها بین مبداها و مقصدها، تعداد و ظرفیت کامیون ها را نداشته اند. از این رو این تحقیق با ارائه یک مدل ریاضی تک هدفه با در نظرگیری حداقل‌سازی زمان حمل و نقل کل در زنجیره تامین و بارانداز تقاطعی پرداخته است.

مساله کمینه سازی زمان حمل و نقل در زنجیره تامین

تشریح مساله

در این مساله زمانبندی حمل و نقل در زنجیره تامین، N تامین کننده، M مشتری، U کامیون های ورودی و خروجی و یک بارانداز تقاطعی موجود است. جریان عملیات حمل و نقل شبکه در شکل (۱) رسم شده است.



شکل (۱): فرایند عملیات حمل و نقل در زنجیره تامین

در واقع در این مساله کامیون های ورودی پس از بارگیری محصولات از تامین کنندگان، مستقیما به سمت مشتریان حرکت می کنند و یا به سمت بارانداز تقاطعی حرکت می کنند و محصولات در بارانداز تقاطعی تخلیه می شوند و سپس در کامیون های خروجی محصولات بارگیری می شوند و به سمت مشتریان انتقال پیدا می کنند. در ضمن لازم به ذکر است که یک کامیون می‌تواند محصولات بیش از یک تامین‌کننده را بارگیری کند و همین طور یک کامیون

می تواند به بیش از یک مشتری حرکت کند و محصولات را در بین آن ها تخلیه کند. برای حمل و نقل محصولات از کامیون هایی با ظرفیت های متفاوت استفاده شده است. در نهایت کامیون های موجود در زنجیره با توجه به محدودیت ها محصولات را از مبداها به مقصد ها به روش های مختلف گفته شده انتقال می دهند. همچنین لازم به ذکر است که مسافت های میان مبداها و مقصدها، زمان های بارگیری، تخلیه و جابجایی محصولات، تعداد کامیون ها و همچنین ظرفیت مربوط به هر کدام به صورت احتمالی و طبق تابع توزیع یکنواخت برای هر مساله نمونه تولید می شوند. در جدول (۱) بازه مقادیر پارامتر های احتمالی آورده شده است.

جدول (۱): بازه داده های تصادفی برای مساله

پارامتر	کمترین مقدار	بیشترین مقدار
تعداد کامیون	۳	۱۵
ظرفیت کامیون	۵۰	۲۰۰
مسافت	۲۰	۴۰۰
زمان بارگیری	۱۰	۳۰
زمان تخلیه	۲۰	۴۰
زمان جابجایی	۵	۲۰

برای درک بهتر مساله مفروضات در نظر گرفته شده برای این مدل عبارتند از :

تقاضای مشتریان مشخص و ثابت است.

تعداد تامین کنندگان، مشتریان و بارانداز تقاطعی مشخص و ثابت است.

تمامی کامیون ها در زمان صفر در دسترس می باشند.

کامیون های ورودی می توانند در نقش کامیون های خروجی ظاهر شوند.

همه محصولات در بارانداز تقاطعی باید انتقال داده شوند و مدت زمان ذخیره طولانی مجاز نیست.

ظرفیت بارانداز تقاطعی نامحدود است.

۳-۲ . نمادها

N = تعداد تامین کنندگان

M = تعداد مشتریان

R = تعداد کامیون های ورودی (دریافت)

H = تعداد کامیون های خروجی (ارسال)

K = تعداد حالت های بارگیری و تخلیه محصولات

Q = ظرفیت کامیون ها

$P_{c\alpha}$ = تعداد واحد محصولات حالت (α) که مشتری (c) نیاز دارد.

$P_{s\alpha}$ = تعداد واحد محصولات حالت (α) که تامین کننده (s) تولید می کند.

$T^{g}_{c_n cd\alpha}$ = زمانی که آخرین کامیون ورودی یا خروجی g از آخرین مشتری مقصد (c_n) به بارانداز تقاطعی (cd) رسیده باشد در حالی که سفارش نوع (α) را تخلیه کرده باشد.

متغیرهای عدد صحیح

$q_{\alpha s}$ = تعداد واحد محصولات حالت (α) که از تامین کنندگان در کامیون ورودی i بارگیری می شوند.

$q_{\alpha cd}$ = تعداد واحد محصولات حالت (α) که از بارانداز تقاطعی (cd) در کامیون خروجی j بارگیری می شوند.

متغیر پیوسته

T= زمان حمل و نقل

متغیرهای صفر و یک

$$X^{i}_{cds\alpha}\begin{cases}1 & \text{اگر کامیون ورودی i از بارانداز تقاطعی (cd) به سمت تامین کننده (s) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (} \alpha \text{) را بارگیری می کند.}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

$$X^{i}_{s_m s_n \alpha}\begin{cases}1 & \text{اگر کامیون ورودی i از تامین کننده مبدا (} s_m \text{) به سمت تامین کننده مقصد (} s_n \text{) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (} \alpha \text{) را بارگیری کرده باشد.}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

$$X^{i}_{scd\alpha}\begin{cases}1 & \text{اگر کامیون ورودی i از تامین کننده (s) به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (} \alpha \text{) را بارگیری کرده است.}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

اگر کامیون ورودی i از تامین کننده (s) به سمت مشتری (c) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (α) را بارگیری کرده است.

در غیر اینصورت

$$\left.\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\right\}=X^{i}_{sc\alpha}$$

اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدا (c_m) به سمت مشتری مقصد (c_n) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (α) را بارگیری کرده باشد.

در غیر اینصورت

$$\left.\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\right\}=X^{i}_{c_mc_n\alpha}$$

اگر کامیون خروجی jاز مشتری مبدا (c_m) به سمت مشتری مقصد (c_n) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (α) را بارگیری کرده باشد.

در غیر اینصورت

$$\left.\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\right\}=X^{j}_{c_mc_n\alpha}$$

اگر کامیون خروجی j از بارانداز تقاطعی (cd) به سمت مشتری (c) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (α) را بارگیری کرده است.

در غیر اینصورت

$$\left.\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\right\}=X^{j}_{cdc\alpha}$$

اگر کامیون ورودی i از مشتری (c) به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (α) را تخلیه کرده است.

در غیر اینصورت

$$\left.\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\right\}=X^{i}_{cdl\alpha}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اگر کامیون خروجی j از مشتری (c) به سمت بارانداز تقاطعی (cd) حرکت کند در حالی که سفارش نوع (α) را تخلیه کرده است.

در غیر اینصورت

$$\left.\begin{matrix}1\\0\end{matrix}\right\}=X^{j}_{cdl\alpha}$$

مدل ریاضی

$$Min \quad T$$

s.t:

$$T \geq T^{g}_{c_n cd\alpha} * X^{g}_{ccd\alpha} \qquad \forall g \;\&\; g \in \{i \; or \; j\} \qquad (۱)$$

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N} q_{\alpha s} * X^{i}_{cds\alpha} = P_{s\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall c \in M$$

(۲)

$$\sum_{j=1}^{H}\sum_{c=1}^{M} q_{\alpha cd} * X^{j}_{cdc\alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N}\sum_{c=1}^{M} q_{\alpha s} * X^{i}_{sc\alpha} = P_{c\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall s \in N$$

(۳)

$$X^{i}_{cds\alpha} = \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N} X^{i}_{s_m s_n \alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N} X^{i}_{scd\alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N}\sum_{c=1}^{M} X^{i}_{sc\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall i \in R \qquad (۴)$$

$$X^{i}_{s_m s_n \alpha} = \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N} X^{i}_{s_n s_k \alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N} X^{i}_{s_n cd\alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N}\sum_{c=1}^{M} X^{i}_{sc\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall i \in R$$

(۵)

$$X^{j}_{cdc\alpha} = \sum_{j=1}^{H}\sum_{c=1}^{M} X^{j}_{c_m c_n \alpha} + \sum_{j=1}^{H}\sum_{c=1}^{M} X^{j}_{ccd\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall j \in H$$

(۶)

$$X^{i}_{c_m c_n \alpha} = \sum_{i=1}^{R}\sum_{c=1}^{M} X^{i}_{c_n c_k \alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{c=1}^{M} X^{i}_{ccd\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall i \in R$$

(۷)

$$X^{j}_{c_m c_n \alpha} = \sum_{j=1}^{H}\sum_{c=1}^{M} X^{j}_{c_n c_k \alpha} + \sum_{j=1}^{H}\sum_{c=1}^{M} X^{j}_{ccd\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall j \in H$$

(۸)

$$X^{i}_{sc\alpha} = \sum_{i=1}^{R}\sum_{c=1}^{M} X^{i}_{c_m c_n \alpha} + \sum_{i=1}^{R}\sum_{c=1}^{M} X^{i}_{ccd\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \;\&\; \forall i \in R$$

(۹)

$$\sum_{i=1}^{R}\sum_{s=1}^{N} q_{\alpha s} * X^{i}_{scd\alpha} = \sum_{j=1}^{H}\sum_{c=1}^{M} q_{\alpha cd} * X^{j}_{cdc\alpha} \qquad \forall \alpha \in K \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{s=1}^{N} X^{i}_{cds\alpha} * q_{\alpha s} \le Q^{i} \qquad \forall \alpha \in K \ \& \ \forall i \in R$$

(۱۱)

$$\sum_{c=1}^{M} X^{j}_{cdc\alpha} * q_{\alpha cd} \le Q^{j} \qquad \forall \alpha \in K \ \& \ \forall j \in H \qquad (۱۲)$$

$$(X^{i}_{cds\alpha}, X^{i}_{s_m s_n \alpha}, X^{i}_{scd\alpha}, X^{i}_{sc\alpha}, X^{i}_{c_m c_n \alpha}, X^{j}_{cdc\alpha}, X^{j}_{c_m c_n \alpha}, X^{i}_{ccd\alpha}, X^{j}_{cdc\alpha}) \in \{0 \ or \ 1\} \quad (۱)$$

$i = 1,2,3,...,R$, $j = 1,2,3,...,H$, $s = 1,2,3,...,N$, $c = 1,2,3,...,M$, $\alpha = 1,2,3,...,\alpha$

$All \ \text{variables} \ge 0$, $\forall i, j, s, c \ \& \ \alpha$

مدل ریاضی تک هدفه پیشنهادی به صورت زیر ارائه می شود :

تابع هدف مدل زمان حمل و نقل در کل سیستم را کمینه می کند. محدودیت (۱) تضمین می کند که زمان حمل و نقل کل، باید بزرگ تر یا مساوی از زمانی که آخرین کامیون ورودی یا خروجی زمان بندی شده از مشتری به بار انداز تقاطعی می رسد، باشد. محدودیت (۲) برای تضمین این است که مجموع سفارش هایی که در کامیون های i بارگیری می شوند دقیقاً برابر با نیازهای مشتری (c) است. محدودیت (۳) تضمین می کند که مجموع سفارش های مشتری (c) دقیقا برابر با مجموع سفارش هایی است که تامین کننده (s) تولید می کند.

محدودیت (۴) برای تضمین این است که اگر کامیون ورودی i به سمت تامین کننده (S) حرکت کند، یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تامین کننده انتخاب می کند. محدودیت (۵) بدین صورت است که اگر کامیون ورودی i از تامین کننده مبدا (s_m) به تامین کننده مقصد (s_n) حرکت کند یکی از سه حالت را برای خارج شدن از تامین کننده (s_n) انتخاب می کند. محدودیت (۶) تضمین می کند که اگر کامیون خروجی j به سمت مشتری (c) حرکت کند دو حالت را برای خارج شدن از مشتری (c) انتخاب می کند.

محدودیت (۷) برای تضمین این است که اگر کامیون ورودی i از مشتری مبدا (c_m) به مشتری مقصد (c_n) حرکت کند یکی از دو حالت را برای خروج از مشتری مقصد (c_n) انتخاب می‌کند. محدودیت (۸) مشابه محدودیت (۷) می باشد و تنها تفاوتی که در این دو محدودیت می باشد این است که در محدودیت(۸) کامیون خروجی j در محدودیت مورد بررسی قرار می گیرد. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که اگر کامیون ورودی i از تامین کننده (S) به سمت مشتری (c) حرکت کند یکی از این دو حالت را برای خارج شدن از مشتری (c) انتخاب می کند.

محدودیت (۱۰) تضمین می کند تعداد واحد محصولاتی که کامیون ورودی i در بارانداز تقاطعی (cd) تخلیه می کند دقیقا برابر است با تعداد واحد محصولاتی که در کامیون خروجی j برای مشتری (c) بارگیری می شود. محدودیت (۱۱) و (۱۲) مربوط به ظرفیت کامیون های ورودی و خروجی می باشد و تضمین می کند که کامیون ها بیش از ظرفیت خود محصولات را بارگیری نکنند.

۴. روش حل

۴-۱. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش کارا برای حل مسائل بهینه سازی شناخته شده که به نوعی اکثر روش های فراابتکاری جدیدتر که به روشهای تکاملی معروفند، شکل توسعه یافته این الگوریتم به شمار می آیند. در شکل (۲) کد مجازی برنامه الگوریتم ژنتیک مساله آورده شده است و در ادامه به تشریح جزئیات الگوریتم ژنتیک ارائه شده پرداخته می شود :

```
BIGIN
    T=0;
Initialize P(t);                          {جمعیت اولیه ایجاد شود}
Evaluate P(t);                {عناصر P(t) توسط مقادیر برازندگی نشاندار می شوند}
WHILE  شرایط خاتمه ارضا نشده  DO
 BIGEN
  t=t+1
select p(t) from (t-1);          {اجرای عملگر انتخاب و لیست والدین فراهم می شود}
  Crossover P(t);                {اجرای عملگر کروسور و لیست فرزندان فراهم می شود}
  Mutation P(t);          {اجرای عملگر جهش ولیست جمعیت جدید حاصل می شود}
  Evaluate P(t);          {عناصر P(t) توسط مقادیر برازندگی نشاندار می شوند}
```

شکل(۲): شبه کد الگوریتم ژنتیک

۴-۱-۱. ساختار کروموزم

کروموزوم ها از سه جز مشخص تعیین شده اند. در واقع کروموزم مساله سه بعدی می باشد. این موضوع در ادامه با یک مثال ارائه می گردد. فرض کنید ۲ تامین کننده،۲ مشتری،۱بارانداز تقاطعی و ۴ نوع محصول داریم.

جزء اول کروموزم

در جدول (۲) حالت های حرکت کامیون میان مبداها مشخص شده است. طبق جدول (۲) اگر کامیون به تامین کننده یا بارانداز تقاطعی حرکت کند عدد ۱، و در غیر اینصورت عدد ۰ را به خود اختصاص می دهد. به اختصار در جدول زیر S1 : تامین کننده ۱ و S2 : تامین کننده ۲ و CD : بارانداز تقاطعی نامیده می‌شوند.

جدول (۲): ماتریس حرکت کامیون در مبدأها

مبدا	S1	S2	CD	S1S2	S1CD	S2CD	S1S2CD
S1	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱
S2	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱
CD	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱

جزء دوم کروموزم

در جدول (۳) حالت های حرکت کامیون میان مقصدها مشخص شده است. طبق جدول(۳) اگر کامیون به مشتری یا بارانداز تقاطعی حرکت کند عدد ۱، و در غیر اینصورت عدد ۰ را به خود اختصاص می دهد. به اختصار در جدول زیر C1 : مشتری ۱ و C2 : مشتری ۲ و CD : بارانداز تقاطعی نامیده می شوند .

جدول (۳): ماتریس حرکت کامیون در مقصدها

مقصد	C1	C2	CD	C1C2	C1CD	C2CD	C1C2CD
C1	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱
C2	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱
CD	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱

جز سوم کروموزوم

چهار نوع محصول توسط تامین کنندگان تولید، و بوسیله کامیون ها به مشتری ها انتقال داده می شوند. در جدول (۴) حالت های مختلف بارگیری محصولات از تامین کنندگان در کامیون ها می باشد در واقع یک کامیون می تواند حالت هایی از محصولات مختلف را در کامیون خود بارگیری کند. طبق جدول (۴) اگر کامیون یکی از حالت های سفارش محصولات را بارگیری کند عدد ۱ و در غیر اینصورت عدد ۰ را به خود اختصاص می دهد.

جدول (۴): ماتریس حالت های سفارش محصولات

حالت سفارش	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD	ABCD
A	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱
B	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱
C	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱
D	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱

کروموزوم مساله

کروموزوم مساله از سه جز بالا تشکیل شده است. این سه جزء شامل حرکت کامیون بین مبداها و مقصدها و حالات بارگیری سفارش محصولات می باشد. در این کروموزم حالت های مختلف از بین این سه جزء در سه سطر آمده است و هر کروموزوم از اعداد مربوط به سطر خودش کامل شده است. قسمتی از کروموزوم مساله در شکل (۳) آورده شده است.

مبدا	۱	۵	۶	۴	۶	۲	۵	۱	...
مقصد	۳	۴	۱	۲	۵	۱	۴	۵	...
حالت سفارش	۱۴	۱	۴	۲	۷	۶	۹	۳	....

شکل (۳): نمایش کروموزوم ها

به فرض مثال در شکل (۳) کروموزوم اول که شامل اعداد (۱۴،۳،۱) است در واقع بیان کننده این است که کامیون از تامین کننده ۱ به بارانداز تقاطعی حرکت می کند در حالی که سفارش محصولات (B,C,D) را بارگیری کرده است. سایر کروموزوم ها به همین روش تعریف می شوند . در واقع کروموزوم مبدا، مقصد و حالت سفارش خود را مشخص می کند.

ساختار روش تقاطع

در عمل تقاطع با استفاده از مکانیزم انتخاب دو کروموزوم انتخاب می شوند سپس عمل تقاطع برای هر قسمت جداگانه صورت می گیرد. در مورد هر قسمت، یک عدد در بازه صفر و یک تولید شده و اگربالاتر از ۰,۵ بود مقدار ژن کروموزوم اول خوانده می شود و در غیراینصورت، مقدار ژن از کروموزوم دوم انتخاب می‌گردد. در شکل (۴) ژن های اول و سوم در دو کروموزوم والد جابجا شده اند و کروموزوم فرزندان را بوجود آورده اند.

شکل (۴): نحوه عمل تقاطع

ساختار روش جهش

ابتدا به کمک مکانیزم انتخاب، یک کروموزوم انتخاب شده وسپس در هر قسمت عمل جهش جداگانه صورت می گیرد. به این صورت که برای هر جز در کروموزوم عمل جهش صورت می گیرد و بر اساس بازه های هر جز جهش به صورت جداگانه انجام می شود. در شکل (۵) هر سه ژن کروموزوم تحت عمل جهش قرار گرفته است.

شکل (۵): نحوه عمل جهش

الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات

الگوریتم PSO توسط (Kennedy & Eberhart،1995) در طی دو مقاله برای دسته مسائل بهینه سازی که ماهیت پیوسته بر جواب های آن ها حاکی است ارائه شد. در الگوریتم PSO، جمعیت جواب‌ها، گروه[1] نامیده می‌شود و هر جواب مانند یک پرنده در گروهی از پرندگان است و ذره[2] نام دارد و شبیه کروموزوم در الگوریتم ژنتیک است. تمامی ذرات دارای مقدار شایستگی[3] هستند که با استفاده از تابع شایستگی[4] محاسبه می گردند و تابع شایستگی ذرات باید بهینه گردد. جهت حرکت هر ذره توسط بردار سرعت[5] آن ذره معین می‌شود. الگوریتم PSO با گروهی از جواب‌های (ذرات) تصادفی آغاز و سپس با به هنگام‌سازی ذرات در هر تکرار به دنبال جواب بهینه می گردد (Hu et al،2004). اگر متغیرهای تصمیم و به نوبه آن موقعیت ذرات،

1. Swarm
2. Particle
3. Fitness value
4. Fitness function
5. Velocity

از نوع صفر و یک باشند؛ بردارهای سرعت و موقعیت هریک از ذرات در هر تکرار الگوریتم، طبق روابط (۱۳) الی (۱۶) محاسبه می‌شوند (Engelbrecht،2005):

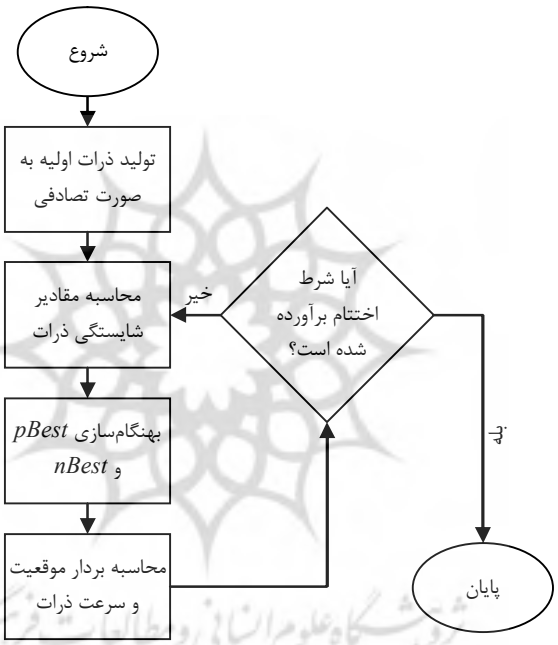
$$V_{it} = w.V_{it-1} + c_1.r_1.(pBest_i - x_{it}) + c_2.r_2.(nBest_i - x_{it}) \quad (۱۳)$$

$$-V_{max} \leq V_{it} \leq V_{max} \quad (۱۴)$$

$$s_i = 1/1 + e^{V_{it}} \quad (۱۵)$$

$$x_{it} = \begin{cases} 1 & \rho \leq s_i \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۱۶)$$

ساختار کلی الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل (۶): ساختار الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات

طبق رابطه (۱۳) بردار سرعت جدید هر ذره بر اساس سرعت قبلی خود ذره ($V_{i(t-1)}$)، بهترین موقعیتی که ذره تاکنون به آن دست یافته است ($pBest_i$) و موقعیت بهترین ذره در همسایگی ذره که تابحال بدست آمده است ($nBest_i$)، محاسبه می‌گردد. در صورتی که همسایگی هر ذره شامل تمام ذرات گروه باشد، آنگاه $nBest_i$ بیانگر موقعیت بهترین ذره در میان گروه است که با gBest به آن اشاره می‌شود. r_1 و r_2 دو عدد تصادفی (با توزیع یکنواخت بین [0,1]) هستند که مستقل از یکدیگر تولید می‌شوند. c_1 و c_2 که با نام ضرایب یادگیری به آنان اشاره شده است، تأثیر pBest و nBest را بر

فرآیند جستجو کنترل می‌نمایند. w بیانگر ضریب وزنی اینرسی است. بردار سرعت ذرات با مقدار V_{max} محدود شده است. V_{max} به عنوان محدودیتی است که قابلیت جستجوی جهانی گروه ذرات را کنترل می‌کند. با استفاده از رابطه (۱۵) بردار سرعت هریک از ذرات به بردار احتمال تغییر، تبدیل می‌شود. در رابطه فوق، s_i بیانگر احتمال آن است که x_{it} برابر با ۱ شود. سپس با استفاده از رابطه (۱۶) بردار موقعیت هریک از ذرات بهنگام می‌گردد. در رابطه فوق، ρ عددی تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک است.

اعتبار سنجی مدل ارائه شده

اگر چه مقالات زیادی مساله زمانبندی کامیون ها و کمینه کردن زمان حمل و نقل در بارانداز تقاطعی را مورد مطالعه قرار داده اند ولی، مساله کمینه سازی زمان (حمل و نقل، بارگیری، تخلیه و جابجایی) در کل زنجیره تامین، با در نظر گرفتن روابط و مفروضات مطرح شده تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته است و این مقاله می تواند شروعی جدید برای کارهای بعدی در این حوزه باشد. از این رو چون امکان مقایسه نتایج با دیگر مقالات موجود فراهم نمی‌باشد یک مثال عددی در قسمت بعدی مطرح می شود و جواب های مساله به کمک دو الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی گروه ذرات مورد مقایسه قرار می گیرند.

مثال عددی

سعی شده است که مثال عددی در ابعاد بزرگ آورده شود تا تمام حالاتی که در مدل مد نظر بود رعایت شود به همین علت در این مساله زنجیره تامین شامل ۴ تامین کننده و ۵ مشتری و یک بارانداز تقاطعی و ۱۰ نوع محصول مختلف می باشد. در راستای مقایسه دو الگوریتم ۲۰ مساله نمونه به صورت تصادفی تولید شده است و برای هر مساله نمونه مسافت بین مبداها و مقصدها، زمان بارگیری، تخلیه و جابجایی، تعداد کامیون ها و همچنین ظرفیت مربوط به کامیون ها با استفاده از تابع توزیع یکنواخت تولید شده اند. بازه های مربوط به هر کدام از پارامترهای تصادفی مساله در جدول ۱ آورده شده است. در جدول (۵) تعداد تولید محصولات توسط هر یک از تامین کنندگان و در جدول (۶) تعداد تقاضای محصولات مشتریان آورده شده است. حل مدل با استفاده از الگوریتم های مطرح شده با رایانه شخصی به مشخصات Intel ® Core™ DUE CPU processor Ram 4 GB توسط برنامه MATLAB 7.12.0 (R2011a) بدست می آید.

جدول (۵): عرضه تامین کنندگان

تأمین‌کننده / عرضه	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
تامین کننده ۱	۲۰۰	۰	۳۰۰	۰	۴۰۰	۵۰	۰	۰	۳۵۰	۰
تامین کننده ۲	۰	۳۰۰	۰	۲۰۰	۰	۱۵۰	۰	۲۰۰	۰	۳۰۰
تامین کننده ۳	۰	۵۰	۱۵۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۰	۰	۵۰
تامین کننده ۴	۱۵۰	۰	۰	۲۰۰	۰	۳۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰

جدول (۶): تقاضای مشتریان

تقاضا / مشتری	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
مشتری ۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۰	۰	۰	۰	۰
مشتری ۲	۵۰	۰	۱۰۰	۰	۲۵۰	۱۵۰	۰	۰	۱۵۰	۰
مشتری ۳	۰	۲۰۰	۵۰	۰	۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۰	۰	۳۵۰
مشتری ۴	۲۰۰	۰	۳۰۰	۰	۲۵۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۰	۰
مشتری ۵	۱۰۰	۱۵۰	۰	۴۰۰	۰	۱۵۰	۳۰۰	۰	۲۰۰	۰

پارامترهای الگوریتم‌ها

در حل این مساله از دو الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی گروه ذرات استفاده شده است. و همچنین جهت تنظیم پارامتر ها از مقالات مطرح در این حوزه و روش آزمون و خطا استفاده شده است. در مورد الگوریتم ژنتیک اندازه جمعیت برابر ۱۰۰ و در هر بار اجرا تعداد تکرار ۲۰۰ بار در نظر گرفته شده است. همچنین احتمال تقاطع ۰,۹ و احتمال جهش ۰,۰۵ انتخاب شده اند. در مورد الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات اندازه جمعیت برابر ۱۰۰ و در هر بار اجرا تعداد تکرار ۲۰۰ بار در نظر گرفته شده است و مقادیر c1 ، c2 و w برا اساس استانداردهای الگوریتم به ترتیب ۱,۴۹۴،۱,۴۹۴ و ۰,۷۲۹ می باشد.

نتایج محاسباتی

در ابتدا برای ۲۰ مساله نمونه بر اساس تابع توزیع یکنواخت برای پارامترهای (مسافت،تعداد و ظرفیت کامیون و زمان های تخلیه و بارگیری و جایجایی) مقادیر تصادفی تولید شده است. در جدول (۷) بر اساس تعداد کامیون های هر مساله، ظرفیت مربوط به آن ها به صورت

تصادفی تولید می گردد. مثلا برای مساله نمونه ۱۰،۴ کامیون انتخاب شده است و ظرفیت مربوط به هر کدام از کامیون ها به ترتیب برابر با ۱۳۶، ۱۲۴، ۱۱۰ و ۵۴ می باشد.

جدول (۷): مقادیر تصادفی برای تعداد و ظرفیت کامیون ها برای ۲۰ مساله نمونه

مساله نمونه	تعداد کامیون	ظرفیت کامیون ها														
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	۱۳	۱۸۶	۶۹	۱۸۷	۱۴۵	۶۵	۹۲	۱۳۲	۱۹۴	۱۹۵	۷۴	۱۹۶	۱۹۴	۱۲۳	-	-
۲	۱۰	۱۳۵	۱۳۲	۱۴۵	۲۰۰	۶۹	۶۷	۷۶	۱۲۲	۱۷۹	۶۱	-	-	-	-	-
۳	۳	۱۴۸	۱۳۵	۱۰۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۴	۹	۱۶۷	۱۴۹	۱۴۴	۶۶	۷۱	۱۳۱	۱۳۸	۱۸۹	۷۰	-	-	-	-	-	-
۵	۱۱	۹۲	۱۳۳	۱۰۹	۱۷۵	۱۸۰	۱۶۶	۷۹	۵۸	۷۲	۸۲	۷۸	-	-	-	-
۶	۹	۹۳	۱۵۰	۱۶۶	۱۴۸	۱۳۴	۱۶۳	۱۵۰	۹۳	۶۳	-	-	-	-	-	-
۷	۷	۹۱	۶۸	۱۵۸	۱۸۳	۱۰۱	۱۷۳	۶۵	۱۱۱	-	-	-	-	-	-	-
۸	۱۱	۹۴	۱۲۹	۱۲۹	۱۱۹	۶۳	۶۰	۱۳۷	۸۳	۱۴۹	۱۲۷	۱۴۹	-	-	-	-
۹	۶	۵۴	۵۸	۱۶۹	۱۴۰	۶۸	۱۳۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۰	۴	۱۳۶	۱۲۴	۱۱۰	۵۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

۱۱	۵	۱۸۰	۱۵۸	۱۰۱	۱۶۳	۹۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۲	۱۰	۸۴	۹۸	۱۸۵	۸۷	۹۱	۱۲۸	۵۶	۱۹۲	۱۸۴	۸۵	-	-	-	-	-	-
۱۳	۳	۱۸۲	۱۵۰	۱۱۷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۴	۱۱	۶۳	۱۹۴	۵۷	۵۵	۱۵۶	۱۰۰	۱۴۲	۹۹	۱۸۰	۱۵۹	۸۱	-	-	-	-	-
۱۵	۵	۱۷۶	۱۱۶	۱۵۷	۱۷۷	۹۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۶	۱۲	۱۶۶	۱۳۵	۶۶	۷۰	۷۱	۵۳	۱۹۴	۹۸	۱۰۰	۱۱۹	۱۵۴	۱۴۵	-	-	-	-
۱۷	۶	۱۲۳	۱۱۹	۱۳۴	۱۱۳	۱۴۲	۱۶۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱۸	۱۰	۱۸۹	۱۳۸	۱۸۷	۱۱۵	۱۸۴	۱۵۷	۱۷۱	۱۱۷	۱۱۱	۱۸۴	-	-	-	-	-	-
۱۹	۱۵	۱۸۳	۱۹۵	۷۵	۱۹۳	۱۳۰	۱۲۲	۱۲۴	۷۸	۱۳۷	۱۴۱	۱۶۹	۱۶۶	۱۰۵	۸۴	۱۴۲	
۲۰	۱۳	۶۱	۵۱	۱۶۲	۱۸۳	۵۵	۱۵۳	۱۰۲	۱۸۰	۱۶۶	۱۸۷	۱۸۸	۱۳۱	۱۲۷	-	-	

جدول (۸): نتایج GA و PSO برای ۲۰ مساله نمونه

مساله نمونه	تعداد کامیون	GA			PSO		
		بهترین جواب	میانگین جواب	بدترین جواب	بهترین جواب	میانگین جواب	بدترین جواب
۱	۱۳	۲۰۲۵۶,۸۸۳	۲۱۳۲۳,۳۱۹	۲۶۳۳۸,۸۸۷	۲۳۹۶۰,۹۱۹	۳۰۶۹۵,۷۵۰	۳۷۴۲۵,۹۷۱
۲	۱۰	۲۹۴۶۹,۸۸۰	۳۲۵۹۲,۳۳۸	۴۱۵۴۹,۵۴۸	۳۰۳۷۹,۷۰۰	۳۲۲۹۳,۶۷۰	۴۳۷۹۱,۶۳۶
۳	۳	۶۲۵۰۲,۲۹۱	۶۴۶۰۴,۶۲۲	۷۲۱۱۶,۶۰۴	۶۱۵۴۳,۱۴۴	۶۱۵۴۳,۱۴۴	۸۹۹۸۴,۵۰۲
۴	۹	۲۲۸۶۵,۳۴۸	۲۴۰۶۳,۸۹۵	۲۸۹۳۲,۲۰۲	۲۳۸۳۷,۴۹۱	۲۹۲۳۱,۶۵۱	۴۱۲۹۲,۵۷۶
۵	۱۱	۲۸۹۰۰,۸۶۱	۳۰۵۱۸,۸۵۴	۳۸۵۴۳,۱۰۷	۳۱۳۳۰,۷۹۴	۳۳۷۷۵,۴۵۹	۴۷۴۵۴,۷۱۶
۶	۹	۲۷۷۲۰,۳۶۵	۲۸۶۲۰,۹۱۱	۲۹۱۴۳,۵۲۱	۲۷۸۴۷,۶۷۷	۳۰۴۰۵,۷۹۲	۴۵۷۱۱,۰۷۶
۷	۷	۳۴۲۴۸,۱۰۰	۳۶۰۹۹,۷۹۳	۴۱۵۲۲,۸۹۴	۳۳۵۳۲,۲۹۶	۳۵۳۹۷,۱۲۳	۵۷۱۹۳,۳۵۴
۸	۱۱	۲۶۶۷۷,۴۰۷	۲۸۰۴۹,۷۵۴	۳۱۲۰۱,۳۱۱	۲۷۸۲۶,۵۹۹	۳۰۴۲۴,۲۱۶	۴۷۲۹۱,۵۶۸

۹	۶	۵۶۶۲۹,۷۵۲	۴۹۸۵۰,۰۳۳	۴۶۴۲۵,۱۲۹	۶۶۶۷۰,۹۴۰	۴۳۵۱۷,۰۵۱	۴۰۴۸۹,۹۹۷
۱۰	۴	۵۵۱۹۵,۳۸۳	۴۸۸۶۳,۴۵۵	۴۶۷۵۰,۸۴۳	۷۲۰۵۸,۲۳۹	۵۰۱۰۳,۴۶۴	۴۸۰۷۸,۸۳۰
۱۱	۵	۵۳۳۰۷,۸۹۸	۴۹۲۷۲,۹۴۰	۴۶۷۸۷,۹۵۶	۷۰۷۸۷,۹۵۶	۴۵۷۸۳,۷۷۵	۴۲۳۰۸,۵۶۲
۱۲	۱۰	۳۰۶۴۶,۴۹۴	۲۷۳۰۱,۸۰۲	۲۴۹۹۶,۴۲۵	۳۷۴۷۲,۲۷۶	۲۷۲۴۷,۷۸۶	۲۴۲۰۳,۵۱۶
۱۳	۳	۶۵۲۲۳,۰۸۸	۵۴۱۷۱,۶۲۸	۵۰۵۲۰,۶۷۴	۸۲۹۴۳,۴۲	۵۴۰۶۹,۴۲۲	۵۱۷۸۵,۸۵۹
۱۴	۱۱	۴۰۷۹۸,۸۳۶	۳۴۳۴۸,۹۸۸	۳۲۷۹۹,۹۸۳	۵۴۴۵۶,۹۰۱	۳۰۴۷۵۹,۹۴۲	۳۲۹۰۳,۹۴۹
۱۵	۵	۴۵۴۳۴,۵۲۳	۴۱۱۵۷,۹۰۵	۳۸۰۷۵,۷۲۶	۶۲۴۰۹,۴۲۱	۳۸۸۰۳,۸۹۳	۳۶۷۹۶,۸۸۹
۱۶	۱۲	۴۴۱۲۰,۵۳۲	۳۷۲۶۷,۳۱۱	۳۵۱۲۹,۳۸۱	۵۱۵۹۷,۶۳۵	۳۵۵۰۰,۴۶۱	۳۲۵۹۲,۳۹۷
۱۷	۶	۴۷۷۱۹,۸۶۳	۴۲۸۹۰,۴۹۰	۴۰۶۳۸,۹۶۴	۵۵۷۵۷,۵۰۸	۳۹۷۷۱,۲۳۴	۳۶۹۸۶,۸۵۳
۱۸	۱۰	۲۷۵۱۰,۰۶۱	۲۴۹۳۷,۳۸۰	۲۴۳۴۲,۹۹۶	۳۸۴۱۸,۰۰۵	۲۵۳۶۰,۹۷۵	۲۴۰۲۳,۳۸۲

۱۹	۱۵	۱۷۲۷۷,۵۲۷	۱۵۲۹۶,۷۴۸	۱۴۴۲۴,۹۵۹	۲۷۷۱۰,۷۰۲	۱۸۲۵۲,۰۷۴	۱۶۷۶۱,۸۱۹
۲۰	۱۳	۳۸۲۹۶,۱۰۸	۳۱۷۳۶,۲۷۸	۳۰۴۸۵,۰۶۰	۴۲۸۰۸,۰۸۷	۲۸۹۸۱,۸۷۳	۲۶۳۵۸,۶۲۳

پس از کد کردن مدل ریاضی توسط نرم افزار متلب نتایج در سه حالت بهترین ،میانگین و بدترین جواب برای هر الگوریتم محاسبه شده است. در جدول (۸) برای ۲۰ مساله نمونه این نتایج از الگوریتم های GA و PSO آورده شده است.

در مساله فرض بر این بود که کامیون ها، پس از بارگیری محصولات از تامین کنندگان به سمت مشتریان یا بارانداز تقاطعی حرکت می کردند و محصولات بارگیری شده را تخلیه می‌کردند. برای درک بهتر نحوه عملکرد دو الگوریتم جزئیات حل مسأله نمونه ۴، که تقریبا ساده ترین مسأله نمونه است نشان داده شده است. بر این اساس توالی عملیات حمل و نقل کامیون ها درمساله نمونه ۴ برای هر دو الگوریتم به عنوان تحلیل خروجی متغیرها طبق جداول زیر آورده شده است.

مساله نمونه ۴ شامل ۹ کامیون با ظرفیت های (۱۶۷،۱۴۹،۱۴۴،۶۶،۷۱،۱۳۱،۱۳۸،۱۸۹،۷۰) می باشد. در جداول (۹) و (۱۰) توالی حمل و نقل کامیون های ۱ و ۲ در مساله نمونه ۴ با روش حل الگوریتم GA و در جداول (۱۱) و (۱۲) توالی حمل و نقل کامیون های ۱ و ۲ در مساله نمونه ۴ با روش حل PSO آورده شده است. به عنوان مثال طبق جدول (۹) کامیون ۱ دارای ۵ توالی حمل و نقل می باشد و در هر توالی از حمل و نقل نوع و تعداد محصولات و همچنین مکان های بارگیری و تخلیه محصولات مشخص شده است. برای توالی اول کامیون ۱ در جدول (۹) محصولات G و H به تعداد برابر از تامین کننده ۲ و تامین کننده ۳ بارگیری شده اند و محصول G برای مشتری ۵ و محصول H برای مشتری ۳ فرستاده شده است. به همین ترتیب برای کامیون های دیگر این توالی ادامه پیدا می کند تا بعد از پیدا کردن بهترین توالی مقدار تابع هدف که برابر با کمینه سازی زمان عملیات است، برای الگوریتم GA برابر با ۲۲۸۶۵,۳۴۸ و برای الگوریتم PSO برابر با ۲۳۸۳۷,۴۹۱ می باشد.

جدول (۹): توالی حمل و نقل کامیون ۱ با الگوریتم GA برای مساله نمونه ۴

مقصد	مبدا	تعداد محصول	نوع محصول	توالی حمل‌ونقل
مشتری ۵	تامین کننده ۳	۸۳	G	۱
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۸۳	H	
مشتری ۴	تامین کننده ۱	۴	A	۲
مشتری ۴	تامین کننده ۳	۲	E	
مشتری ۴	تامین کننده ۳	۱۸	F	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۱	۲۸	A	۳
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۳	۱۸	B	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۲۸	D	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۲۸	J	
مشتری ۵	تامین کننده ۳	۲۸	F	۴
مشتری ۵	تامین کننده ۳	۸۳	G	
مشتری ۳	تامین کننده ۳	۳۲	B	۵
مشتری ۳	تامین کننده ۳	۳۴	C	
مشتری ۴	تامین کننده ۳	۳۴	E	
مشتری ۴	تامین کننده ۳	۳۴	F	
مشتری ۳	تامین کننده ۳	۲۲	H	

جدول (۱۰): توالی حمل و نقل کامیون ۲ با الگوریتم GA برای مساله نمونه ۴

مقصد	مبدا	تعداد محصول	نوع محصول	توالی حمل و نقل
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۴	۱۴۹	F	۱
مشتری ۴	بارانداز تقاطعی	۲۸	A	۲
مشتری ۵	بارانداز تقاطعی	۲۸	D	
مشتری ۵	تامین کننده ۱	۷۴	A	۳
مشتری ۵	تامین کننده ۴	۷۴	D	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۷۵	B	۴
مشتری ۴	تامین کننده ۱	۷۴	C	۵
مشتری ۴	تامین کننده ۱	۷۴	E	

جدول (۱۱): توالی حمل و نقل کامیون ۱ با الگوریتم PSO برای مساله نمونه ۴

مقصد	مبدا	تعداد محصول	نوع محصول	توالی حمل و نقل
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۱	۳۴	A	۱
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۳	۳۴	F	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۳۴	J	
مشتری ۵	تامین کننده ۲	۸۴	D	۲
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۲۰	J	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۴	۱۶۷	F	۳
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۱۷	B	۴
مشتری ۳	تامین کننده ۱	۱۷	C	
مشتری ۵	تامین کننده ۲	۱۷	D	
مشتری ۵	تامین کننده ۲	۱۵	F	
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۱۶	H	
مشتری ۳	تامین کننده ۳	۱۶	J	
مشتری ۵	تامین کننده ۲	۳۹	B	۵

جدول (۱۲): توالی حمل و نقل کامیون ۲ با الگوریتم PSO برای مساله نمونه ۴

مقصد	مبدا	تعداد محصول	نوع محصول	توالی حمل و نقل
مشتری ۳	تامین کننده ۳	۱۰	B	۱
مشتری ۴	تامین کننده ۳	۱۰	C	
مشتری ۵	تامین کننده ۲	۱۰	D	
مشتری ۵	تامین کننده ۲	۱۱	F	
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۱۱	H	
مشتری ۳	تامین کننده ۳	۱۱	J	
مشتری ۴	بارانداز تقاطعی	۲۰	A	۲
مشتری ۲	بارانداز تقاطعی	۸۰	F	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۱	۱۷	A	۳
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۱۷	B	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۱	۱۶	C	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۱۷	D	

بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۱۵	F	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۳	۱۷	G	
مشتری ۱	تامین کننده ۲	۴۰	F	۴
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۵۰	H	
مشتری ۳	تامین کننده ۲	۵۰	J	
مشتری ۵	تامین کننده ۴	۳۷	D	۵
مشتری ۱	تامین کننده ۴	۳۸	F	
مشتری ۲	تامین کننده ۱	۳۸	I	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۲	۳۸	B	۶
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۱	۴۹	E	
بارانداز تقاطعی	تامین کننده ۴	۴۹	F	
مشتری ۲	تامین کننده ۱	۶۱	E	۷
مشتری ۲	تامین کننده ۴	۷۴	F	

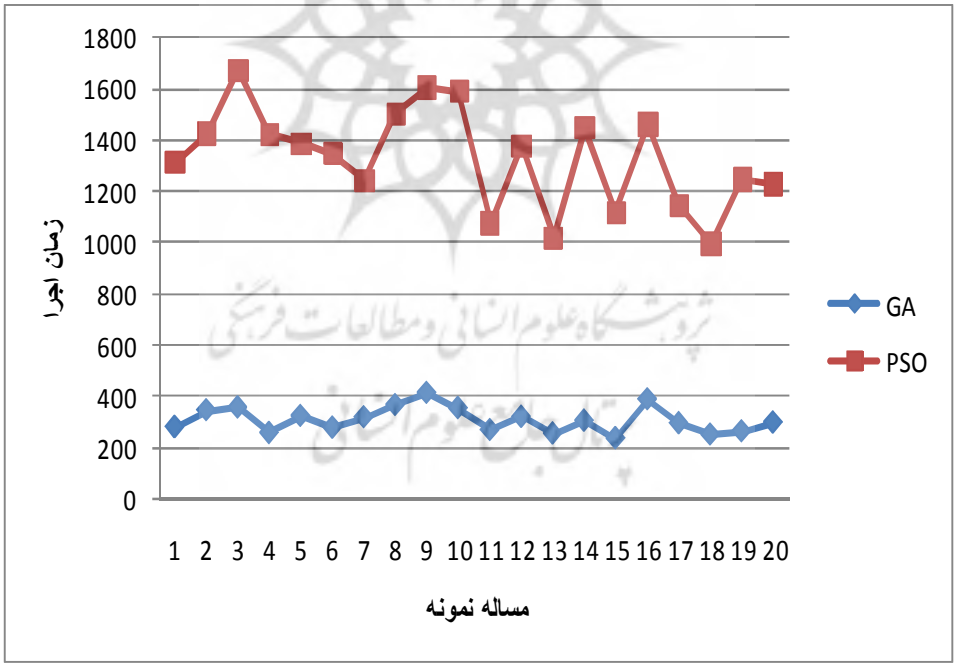
مقایسه الگوریتم GA و PSO از نظر زمان اجرا

یکی از معیارهای مهم برای سنجش کیفیت عملکرد یک الگوریتم، مدت زمان اجرای آن است که در برخی مقالات از آن به عنوان سرعت اجرا نیز یاد می شود. این معیار وقتی اهمیت بیشتری پیدا می کند که ابعاد و پیچیدگی مسأله افزایش یابد. اطلاعات مربوط به زمان اجرای این دو روش در جدول (۱۳) و شکل (۷) آورده شده.طبق شکل (۷) زمان اجرای الگوریتم GA از زمان اجرای الگوریتم PSO کمتر است . همچنین نوسانات زمان اجرا در الگوریتم GA از الگوریتم PSO کمتر است و به این دو دلیل الگوریتم GA از الگوریتم PSO از نظر زمان اجرا بهینه تر می باشد.

جدول (۱۳):زمان اجرای الگوریتم های GA و PSO

مساله نمونه	زمان اجرا(GA)	زمان اجرا(PSO)
۱	۲۷۸,۲۵۶	۱۳۱۳,۲۷۵
۲	۳۴۴,۲۳۶	۱۴۲۶,۰۸۶
۳	۳۵۴,۹۳۹	۱۶۷۵,۱۱۴
۴	۲۵۴,۵۴۹	۱۴۲۳,۶۶۸
۵	۳۲۱,۳۸۲	۱۳۸۶,۰۸۴۱
۶	۲۷۵,۶۲۷	۱۳۴۹,۰۱

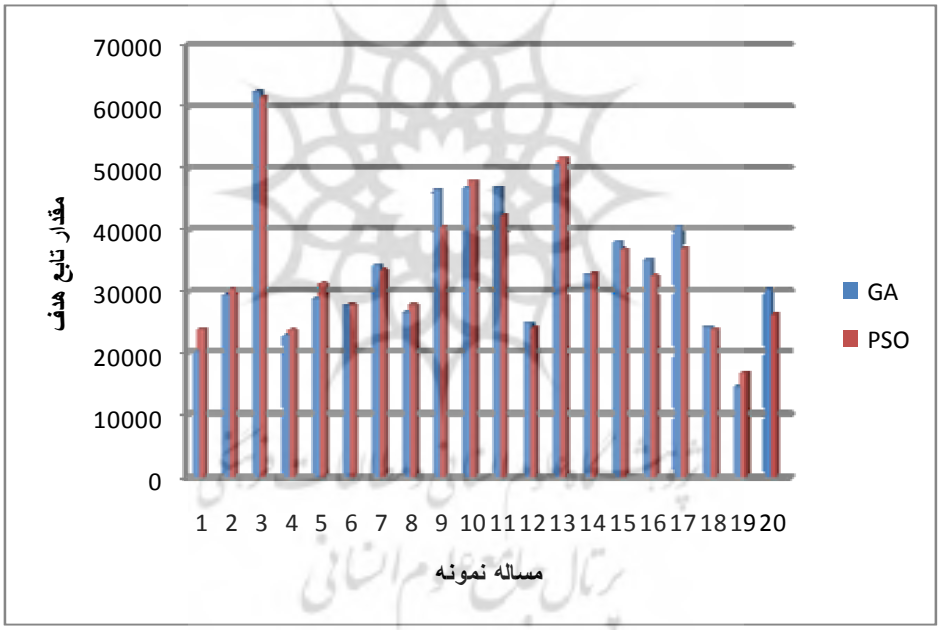
۷	۳۱۶,۶۴۵	۱۲۴۳,۹۶۶
۸	۳۶۴,۸۲	۱۵۰۴,۷
۹	۴۱۲,۷۸	۱۶۰۵,۵۱۶
۱۰	۳۵۲,۴۹۹	۱۵۹۱,۴۱۳
۱۱	۲۶۵,۸۰۴	۱۰۷۴,۴۲۴
۱۲	۳۱۸,۰۱۳	۱۳۷۷,۸۴۹
۱۳	۲۵۲,۴۶۹	۱۰۱۸,۷۵۵
۱۴	۳۰۲,۸۵۱	۱۴۴۵,۸۷۵
۱۵	۲۳۳,۷۸۳	۱۱۱۶,۸۹۳
۱۶	۳۸۷,۱۴۱	۱۴۶۱,۵۴۲
۱۷	۲۹۲,۸۵۲	۱۱۴۳,۴۱۶
۱۸	۲۴۸,۲۲۹	۹۹۶,۰۵۲
۱۹	۲۶۰,۶۶۵	۱۲۴۷,۲۳
۲۰	۲۹۵,۹۹۵	۱۲۲۸,۶۶۷



شکل (۷): مقایسه بین زمان اجرای الگوریتم های GA و PSO برای ۲۰ مساله نمونه

مقایسه الگوریتم GA و PSO از نظر کیفیت جواب ها

جواب های بدست آمده برای مسائل در ابعاد مختلف در جدول (۸) آورده شده است. در این مقایسه بهترین جواب برای الگوریتم های GA و PSO در شکل (۸) مورد ارزیابی قرار گرفته اند .طبق شکل (۸) بهترین نتایج برای هر دو الگوریتم برای ۲۰ مساله نمونه آورده شده است. در بعضی از مساله ها الگوریتم GA بر الگوریتم PSO غلبه کرده است و توانسته است نتیجه بهینه تری را نسبت به الگوریتم PSO ارائه بدهد و در سایر مسائل برعکس. به عبارت دیگر اختلاف نتایج برای هر مساله نمونه در دو الگوریتم بسیار کم است و بهترین نتایج الگوریتم ها دارای همگرایی می باشند. برای کارایی و عملکرد الگوریتم ها نسبت به یکدیگر بهتر است برای هر مساله نتایج جداگانه بررسی شود. به فرض مثال در مساله شماره (۱) الگوریتم GA از الگوریتم PSO جواب بهتری را ارائه داده است.



شکل (۸): مقایسه بین بهترین جواب های الگوریتم های GA و PSO برای ۲۰ مساله نمونه

نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدل ریاضی جدید تک هدفه برای مساله کمینه کردن زمان عملیات در زنجیره تامین با وجود بارانداز تقاطعی ارائه شده است. در واقع این مطالعه به بررسی بهترین

توالی حمل و نقل کامیون ها با هدف کمینه کردن زمان عملیات که شامل (زمان حمل و نقل بین مبداها و مقصدها، زمان تخلیه و بارگیری محصولات و زمان جابجایی محصولات در بارانداز تقاطعی) با تعداد کامیون ها و ظرفیت های مختلف برای ۲۰ مساله نمونه پرداخته است. برای حل مسأله رویکرد مدل ریاضی بسیار مشکل است و برای حل به دلیل تعداد بالای متغیرها و محدودیت های مرتبط ابعاد مسأله و زمان حل به صورت نمایی افزایش پیدا می کند. به همین جهت برای حل آن از الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه سازی گروه ذرات استفاده گردید و کارایی آن با توجه به معیارهای سرعت و کیفیت آزمون شد. نتایج به دست آمده از لحاظ مقایسه سرعت زمان اجرا نشان داد که الگوریتم ژنتیک زمان کمتری را برای حل مساله به کار می برد. از لحاظ کیفیت نتایج، هر دو الگوریتم جواب های نسبتا قابل قبولی را ارائه می دهند و برای ارزیابی این دو الگوریتم می بایست مجزا هر مساله را مورد ارزیابی قرار داد.

از آنجا که مدل ریاضی مطرح شده، یک مدل اولیه و بنیادی است، می توان در پژوهش های بعدی، آن را توسعه داد و همچنین می توان علاوه بر زمانبندی حمل و نقل، تابع هدف هایی مانند کمینه کردن (هزینه های حمل و نقل، تعداد دفعات حمل و نقل، زمان های دیرکرد و زودکرد و تعداد کامیون ها) را به مدل اضافه کرد و با استفاده از دیگر الگوریتم های فرا ابتکاری کارایی آن را بهبود بخشید. همچنین جهت بهبود جواب های الگوریتم ها پیشنهاد می‌شود جهت تنظیم پارامتر ها از روش های طراحی آزمایش ها استفاده شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Bartholdi, J. J. & Gue, K. R. (2004). The *best shape for a crossdock. Transportation Science*. 38 (2), 235–244.

Boloori Arabani, A.R. & Fatemi Ghomi, S.M.T. & Zandieh, M. (2011). *Meta-heuristics implementation for scheduling of trailers in a cross-docking system with temporary storage*. Expert Systems with Applications. 38 (3) 1964–1979.

Boysen, N. (2010). *Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals*. Computers & Operations Research. 37, 32 – 41.

Boysen, N. & Fliedner, M. (2010). *Cross dock scheduling: Classification*, literature review and research agenda. Omega. 38 (6), 413–422.

Chen, F. & Song, K.L. (2009). *Minimizing makespan in two-stage hybrid cross-docking scheduling problem*. Computers and Operations Research. 36 (6), 2066–2073.

Eberhart, R. & Kennedy, J. (1995). *A New Optimizer Using Particle Swarm Theory*. In: Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science. Nagoya, Japan.. pp 39.43.

Engelbrecht, A. P. (2005). *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. West Sussex, England: John wiley & Sons, Ltd.

Hu, X. & Shi,Y. & Eberhart, R. (2004). *Recent Advances in Particle Swarm*. Paper presented at the Congress on Evolutionary Computation. CEC.

Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). *Particle Swarm Optimization.* In: Proceedings of the 1995IEEE international conference on neural networks. New Jersey: IEEE Press. pp 1942.1948.

Liao, T. W. & Egbelu, P.J. & Chang, P.C. (2013). *Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door cross docking operations*. Int. J. Production Economics. 141, 212–229.

Peck, K. E. (1983). *Operational analysis of freight terminals handling less than container load shipments,* PhD thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign,Urbana. IL 61801.

Schaffer, B. (1998). *Cross docking can increase efficiency*. Automatic I.D. News. 14(8),34–37.

Tang, S.L. & Yan. H. (2010). *Pre-distribution vs. post-distribution for cross-docking with Transshipments*. Omega. 38 (3–4) 192–202.

Tsui, L. Y. & Chang, C. H. (1990). *A microcomputer based decision support tool for assigning dock doors in freight yards*. Computers & Industrial Engineering. 19(1–4), 309–312.

Yu, W. & Egbelu, P. J. (2008). *Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage*. European Journal of Operational Research. 184, 377–396.

Vahdani, B & Zandieh, M. (2010). *Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics*. Computers & Industrial Engineering. 58, 12–24.

Vis, F. A. & Roodbergen, K.J. (2011). *Layout and control policies for cross docking operations*. Computers & Industrial Engineering. 61, 911–919.

Witt, C.E. (1998). *Crossdocing: Concepts Demand Choice*. Material Handeling Engineering. 53(7).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی