

تعیین مسیر حرکت خودروها در بارانداز متقاطع با استفاده از الگوریتم ژنتیک: مورد مطالعه شرکت ایران خودرو

لعیا الفت*، مقصود امیری**، احمد جعفریان***

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۸

چکیده

بارانداز متقاطع یکی از ابزارهای ناب سازی لجستیک بوده که برای یکی کردن بارها در طول حلقه‌های جایگزینی از آن استفاده می‌شود. بارانداز متقاطع، فرایند حرکت محصول از طریق مراکز توزیع، بدون انبارش می‌باشد. یکی از مواردی که تاثیر زیادی بر هزینه‌های بارانداز متقاطع دارد، مساله تعیین مسیر حرکت خودروها (VRP) در محیط بیرونی بارانداز متقاطع میباشد. هدف از این مقاله ارائه مدلی جهت کمینه کردن مجموع مسافت طی توسط خودروها در محیط بیرونی بارانداز متقاطع می‌باشد. در این مقاله، مسیر حرکت خودروها توسط روش VRP با محدودیت ظرفیت (CVRP) در شرکت ایران خودرو مدل سازی گردید و جهت حل مدل از روش الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده گردید. جهت بررسی اعتبار پاسخ بدست آمده توسط GA از الگوریتم دیگری به نام الگوریتم شبیه سازی تیریدی (SA) استفاده گردید. همچنین جهت بررسی کارایی دو الگوریتم در مسائل مختلف CVRP در بارانداز متقاطع به بررسی ۱۰ مساله با ابعاد متفاوت پرداخته شد. نتایج حاکی از کارایی بیشتر GA در مسائلی با حجم کوچکتر و کارایی بیشتر SA در مسائلی با حجم بزرگتر می‌باشد.

واژگان کلیدی: بارانداز متقاطع، تعیین مسیر حرکت خودروها، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم‌های فراابتکاری.

* استاد، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی

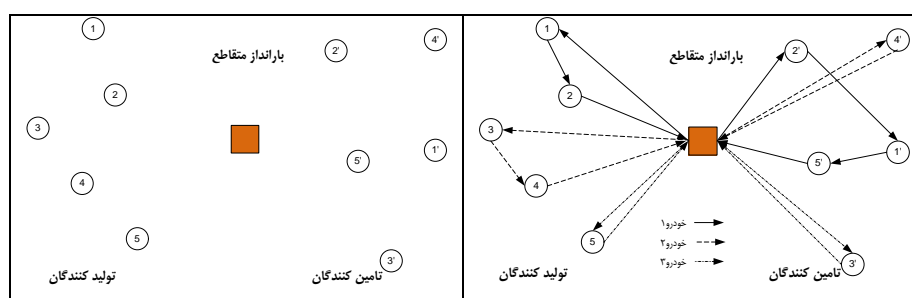
** استاد دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی

*** دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت صنعتی (تولید صنعتی)، دانشگاه علامه طباطبایی (نویسنده مسئول)

مقدمه

بارانداز متقاطع یک استراتژی ارتباطی در انبار داری نوین در سیستم لجستیک می باشد که محصولات از محموله های ورودی خارج و با توجه به مقاصدشان دوباره دسته بندی شده و به مقاصد مورد نظر ارسال می شوند [۱۰]. لذا مراکزی که در آن اقلام دریافتی از تامین کنندگان مختلف، از هم جدا شده و به صورت محموله های جدیدی از اقلام متنوع، دوباره با هم ترکیب می شوند تا برای مشتریان ارسال شوند را بارانداز متقاطع گویند [۱۸]. ناپاولیتانو^۱ در سال ۲۰۰۰ و گیو در سال ۲۰۰۱ در تحقیقات خود از بارانداز متقاطع به عنوان سیستم تولید به هنگام برای سیستم های توزیع یاد می کنند [۱۷، ۲۹].

این ابزار به صورت اساسی به حذف عملیات نگهداری موجودی ها در انبارهای سنتی دسته بندی مواد و ارسال آنها به مقاصد می پردازد. محموله های رسیده از منابع جدا از هم، دوباره از بسته ها خارج شده و گروه بندی می گردند و به وسیله تریلرها بدون انبارش از بارانداز خارج می گردند [۳].



شکل (۱): نمایش فرضی حرکت ماشین آلات در محیط بیرونی بارانداز متقاطع

یکی از مهم ترین مواردی که در بارانداز متقاطع باید مورد توجه قرار گیرد و تاثیر زیادی بر هزینه های بارانداز متقاطع دارد، تعیین مسیر حرکت خودروها در محیط بیرونی بارانداز متقاطع می باشد [۲۵]، همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، خودروها محموله های ارسالی از

تامین کنندگان را جمع آوری کرده و به بارانداز متقاطع می آورند، همچنین محموله‌هایی که در بارانداز متقاطع دوباره با ترکیب جدید بسته بندی می‌شوند، به تولید کنندگان ارسال می‌گردند. در این بین مسئله مهم تعیین مسیری است که خودروها باید طی کنند، خودروها می‌توانند در یک مسیر راه شیری^۱ محموله چند تامین کننده را جمع آوری کنند(تامین کننده‌های ۳ و ۴) و یا اگر میزان حجم ارسال تامین کننده بالا بوده و یا در فاصله ای دور تر از دیگر تامین کنندگان قرار داشته باشد(تامین کننده ۵ و تولید کننده ۴)، به صورت انفراد در یک مسیر قرار گیرد (این موضوع در مورد تولید کنندگان نیز صادق است).

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) یک نام عمومی برای تمام مسائلی است که در آنها میبایست یک مجموعه ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند مرکز هستند تعیین گردد تا به مجموعه ای از مشتریان و یا شهرهایی که به صورت جغرافیایی پراکنده شده اند خدمت دهند [۴۰]. هدف از VRP ارائه خدمت به این مجموعه از مشتریان یا شهرها می‌باشد که می‌بایست در حداقل هزینه مسافت و یا زمان سفر صورت پذیرد در ضمن هر کدام از این جریانات می‌بایست از دپو شروع شده و به آن نیز ختم گردد [۱۶]. VPR انواع متفاوتی دارد که عبارتند از: مساله VRP ظرفیت دار^۲ (CVRP)، [۸]، مساله VRP با چندین دپو^۳ (MDVRP) [۲۴]، مساله VRP همراه با خرد کردن محموله‌ها هنگام ارسال^۴ (SDVRP) [۲۱]، مساله VRP دوره ای^۵ (PVRP) [۳۱]، مساله VRP احتمالی^۶ (SVRP) [۳۰]، مساله VRP همراه با کالاهای مرجوعی^۷ (VRPB) [۴۱]، مساله VRP همراه با سفارش و تحویل^۸ (VRPPD) [۳۹] و مساله VRP همراه با پنجره زمانی^۹

1- Milk run

2 - Capacitated Vehicle Routing Problem

3 - Multiple Depot Vehicle

4 - Split Delivery Vehicle Routing Problem

5 - Periodic Vehicle Routing Problem

6 - Stochastic Vehicle Routing Problem

7 - Vehicle Routing Problem with Backhauls

8 - Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivering

9 - Vehicle Routing Problem with Time Window

(VRPTW) [۲۳]. در این نوشتار جهت مدل سازی مسیر حرکت خودروها با توجه به شرایط موجود در شرکت صنعتی ایران خودرو از مدل CVRP استفاده شده است. این نوشتار به دنبال پاسخ به دو سوال اصلی می باشد، (۱) کامیون هایی که از تامین کنندگان به بارانداز متقاطع ارسال می گردند و یا از بارانداز متقاطع به تولیدکنندگان ارسال می گردند چه مسیری را باید طی کنند؟ (۲) چه تامین کنندگان و چه تولیدکنندگانی می توانند به صورت ارسال انفرادی و یا راه شیری با بارانداز متقاطع مرتبط شوند؟. در ادامه مقاله، در بخش بعد به معرفی بارانداز متقاطع و CVRP در آن پرداخته شده است، بخش سوم تحقیق مربوط به مدل سازی مساله و بخش ۴ مربوط به حل مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک می باشد، بخش ۵ مربوط به مثال عددی و اعتبار سنجی پاسخ GA می پردازد، و در نهایت بخش ۶ به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی پرداخته است.

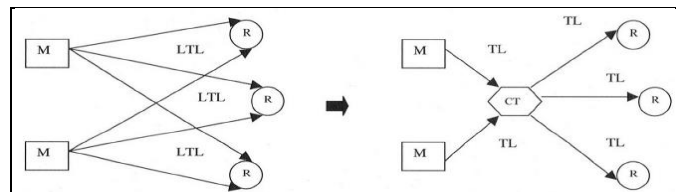
مرور ادبیات

بارانداز متقاطع

انبارها تحت یک فشارمستمر برای کاهش هزینه و کاهش زمان نگهداری محصولات هستند، یک انبار معمولی دارای چهار کاربرد است: دریافت، ذخیره سازی (انبار کردن)، انتخاب سفارش از بین موجودی ها و ارسال، که دو مورد، ذخیره سازی (به علت هزینه های نگهداری، ایجاد امنیت و فهرست اموال) و بارگیری سفارشات (به علت زحمت و کار زیاد و ریسک بالای آن) از همه پر هزینه تر می باشند [۵].

تمایل به کاهش هزینه های لجستیکی، سازمان ها را وادار به بررسی رویکردهای سودمندتر در جهت مدیریت زنجیره تامین کرده است. بارانداز متقاطع از دو ابزار، بهینه سازی شبکه توزیع و ترکیب محوله به صورت یکپارچه استفاده می کند [۶]. اولین مورد با قدمت بیشتر در پی یافتن تعداد و بهترین محل برای تسهیلات می باشد. دومین مورد با ترکیب محموله ها باعث

میشود که محموله‌های کمتر از بار یک کامیون (LTL)^۱ به صورت محموله‌هایی در اندازه بار یک کامیون (TL)^۲ در آیند (شکل ۲). به عنوان مثال ترکیب محموله باعث شده است تا شرکت نایسکو^۳ هزینه‌های حمل و نقل خود را به نصف، سطوح موجودی را کاهش و تحویل به موقع را بهبود بخشد [۳۳].



M: تولید کننده، CT: مراکز ترکیب، R: خرده فروش

شکل (۲): شمایی از تکنیک ترکیب محموله‌ها در فرایند ارسال و دریافت

بارانداز متقاطع، فرایند حرکت محصول از طریق مراکز توزیع، بدون انبارش می‌باشد. در یک انبار سنتی، محصول از محل دریافت به انبار و از آنجا به سمت محل حمل حرکت می‌کند. اما در بارانداز متقاطع محصول از محل دریافت به محل حمل بدون انبارش منتقل می‌گردد [۳۷]. تفاوت اساسی مابین انبارهای ادغامی سنتی و انبار بارانداز متقاطع در جدول ۱ ارائه شده است. بارانداز متقاطع یک تکنیک لجستیکی کارا برای بسیاری از شرکت‌های خرده‌فروشی، خواربار فروشی و دیگر صنایع توزیعی می‌باشد [۵]. استالک و همکاران^۴ (۱۹۹۲) در تحقیقات خود بر اهمیت به کارگیری باراندازهای متقاطع در صنایع توزیعی اشاره کرده‌اند و به کارگیری آن را یک توانایی اصلی برای فروشگاه خرده‌فروش وال مارت^۵ می‌دانند، به عقیده آنها بکارگیری این روش دلیل اصلی پیشی گرفتن وال مارت از رقیب خود یعنی کی مارت^۶ در فروش کلی در دهه ۱۹۸۰ بوده است، زیرا وال مارت با بارانداز متقاطع توانست هزینه

-
- 1- Less Than Truck Load
 - 2- Truck Load
 - 3- Nabis Co.
 - 4- Stalk et al.
 - 5- Wal-Mart
 - 6- K-Mart

سیستم موجودی خود را بطور کلی کاهش دهد، این فروشگاه توانست اجناس خود را با تخفیف روزانه به فروش رسانده و شهرت کنونی وی به همین علت می باشد [۳۷].

جدول (۱): تفاوت‌های اساسی مابین انبارهای ادغامی سنتی و انبار بارانداز متقاطع [۲]

انبار ادغامی سنتی	انبار بارانداز متقاطع
اقلام انباری شوند یا در محل‌های برداشت سفارش جای می‌گیرد و دوباره به مدت حداقل ۱ روز در انبار مستقر می‌شود.	اقلام بدون آنکه انبار شوند و یا در محل‌های برداشت سفارش جای گیرند به نوعی از طریق انبار در یک روز جابجا می‌شوند.
اقلام باید به صورت موجودی در سیستم انبار ثبت شود.	اقلام احتیاجی به ثبت به صورت موجودی در انبار ندارد
اقدامات برجسب گذاری و بسته بندی مجدد ممکن است در انبار انجام گیرد.	اقدامات در انبار ممکن است عاری از هرگونه برجسب گذاری و بسته بندی مجدد باشد.

جهت موفقیت بیشتر بارانداز متقاطع راه‌ها و تکنیک‌های دیگری از قبیل به تعویق انداختن^۱ [۱۴]، سفارش پذیری انبوه^۲، شراکت کانال‌های توزیع^۳ [۷]، پاسخ کارآمد به مشتری^۴ [۲۲]، مدیریت موجودی بر مبنای فروشنده^۵، سیستم‌های پاسخ سریع^۶ [۱۹] و استفاده از تامین کنندگان لجستیک طرف سوم^۷ [۳۵] باید به طور همزمان برای حداکثر کردن کارایی کانال‌های توزیع انجام شود.

تحقیق‌های قابل بررسی زیادی در زمینه بارانداز متقاطع در سال‌های اخیر انجام گرفته است. اگر چه بیشتر این مقالات، طراحی فیزیکی [۳۴] و مکان‌یابی بارانداز متقاطع را بررسی کرده اند [۱۸]. عده معدودی نیز بر تعیین مسیر حرکت خودروها در خارج از مرکز بارانداز توسط مدل‌های

-
- 1- Postponement
 - 2- Mass customisation
 - 3- Distribution channel partnerships
 - 4- Efficient consumer response
 - 5- Vendor-managed inventory (VMI)
 - 6- Quick response systems
 - 7- Third- party logistics (3PL)

VRP پرداخته اند، VRP می‌تواند به صورت ویژه ای در حل این مسائل مفید باشد، به این دلیل که کلیدی است که باعث وقوع همزمان تحویل و ارسال در مسئله بارانداز متقاطع گردد. موشیو^۱ در سال ۱۹۹۸ مسئله برداشت و تحویل مواد که یک نوع مسئله VRP می‌باشد را، بنیان نهاد [۲۸]. بارباروسوگلو و اوزگور^۲ در سال ۱۹۹۹ در تحقیقات خود نشان دادند که برنامه حمل و نقل بهینه با چند مرکز تحویل در زنجیره تامین می‌تواند با چند مسئله بهینه جزئی جابه جا گردد. از این راه وی توانست مسائل حمل و نقل را خصوصاً در باراندازهای متقاطع با تقسیم بندی مسائل به مسائل جزئی تر حل نماید [۴]. همچین لی و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۶ در تحقیقات خود به بررسی مسئله حرکت خودروها با پنجره زمانی در بارانداز متقاطع پرداخته و با استفاده از روش حل الگوریتم ابتکاری جستجوی ممنوعه مسئله مزبور را حل نماید، به زعم وی مهمترین معیارهایی که در این تحقیق بر تعیین مسیر حرکت خودروها بر بارانداز متقاطع تاثیر گذار می‌باشند، عبارتند از تعداد ماشین‌های موجود، تعداد تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان، هزینه حمل و نقل، میزان مسافت هر یک از تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان و غیره می‌باشد [۲۵].

CVRP در بارانداز متقاطع

ایده اولیه مساله VRP توسط دانتزیگ و رامسر^۴ در سال ۱۹۵۹ در قالب یک مساله مرکزی در حوزه حمل و نقل، توضیح و تدارکات مطرح گردید و نشان داد که بکارگیری روش‌های مدیریتی و مباحث بهینه سازی در بحث حمل و نقل تاثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های مربوط به کالا را دارد [۱۲]. با توجه به این مطلب اوک و سارجس در سال ۱۹۹۲ نشان داده اند که هزینه‌های حمل و نقل نزدیک به صورت میانگین ۱۱ تا ۱۳٪ از هزینه کل محصولات را تشکیل داده و با توجه به مطالعات توس و ویگو^۵ در سال ۲۰۰۱ بهره برداری و بکارگیری روش‌های

1- Mosheiov

2- Barbarosoglu & Ozgur

3- Lee, H.Y

4- Dantzig, G.B.; Ramser, J.H

5- Paolo Toth and Daniele Vigo

صحیح و مدرن در حمل و نقل به میزان ۵ تا ۲۰٪ صرفه جویی در کل هزینه‌های تولید ایجاد می‌نماید [۴۲]. مساله CVRP، یک مساله VRP می‌باشد که در آن جریان ثابتی از وسایل نقلیه با ظرفیت یکسان باید در حداقل هزینه و یا زمان کل به تقاضاهای مشخصی از مشتریان پاسخ دهند [۸] مساله CVRP دقیقاً شبیه VRP می‌باشد با یک محدودیت اضافی که هر وسیله نقلیه دارای ظرفیت یکسان می‌باشند [۱]. مساله CVRP یکی از مسائلی است که در حوزه سیستم‌های توزیع و پشتیبانی زنجیره تأمین مورد توجه قرار می‌گیرد [۲۶]. مسیرهای وسیله نقلیه بایستی به گونه ای طراحی شوند که هر مشتری تنها یک بار با وسیله نقلیه ارتباط داشته و سرویس دریافت کند. این مساله جزو مسائل بهینه سازی ترکیبی^۱ محسوب می‌شود و از دسته مسائل پیچیده (Np-hard) می‌باشد [۳۲، ۱۳]. در مساله CVRP خودروها حرکت خود را از دپو آغاز نموده و پس از سرویس رسانی به تعدادی از مشتریان/تامین کنندگان باز به همان دپو مراجعت می‌کنند. هر یک از مشتریان/تامین کنندگان دارای تقاضای مشخصی هستند و می‌توانند، دارای محدودیت زمان دریافت سرویس باشند. هر مشتری تنها از یک وسیله نقلیه سرویس دریافت می‌کند و واحد زمان سرویس رسانی وسیله نقلیه را می‌توان به واحد مسافت تبدیل نمود (مسافتی که وسیله نقلیه می‌پیماید تا به مشتری برسد) [۲۶، ۲۷].

مدل سازی مساله

هدف از مساله CVRP حداقل نمودن مجموع هزینه‌های سفر می‌باشد [۱۱]. در این مساله یک جواب را موجه گویند هرگاه مقدار تقاضای اختصاص داده شده به هر وسیله نقلیه در یک مسیر از ظرفیت آن وسیله نقلیه تجاوز ننماید [۲۷].

در مدل‌سازی VRP متغیر صحیح X_{ij} را تعداد سفرهای وسیله نقلیه بین رئوس v_i و v_j تعریف نموده به نحوی که X_{ij} یک متغیر باینری و یا صفر و یک می‌باشد، یک برای زمانی که یک وسیله نقلیه از گره i به گره j حرکت کرده باشد و صفر در غیر این صورت [۸].

پارامترها و متغیرهای مساله جهت مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مساله عبارتند از [۴۰]:

i, j : اندیس مشتریان.

k : اندیس وسایل نقلیه.

N : تعداد کل مشتریان مساله.

C_i : مشتری i که در آن $i=1, 2, \dots, N$ می‌باشد.

C_0 : دپو (بارانداز متقاطع).

K : تعداد کل وسایل نقلیه.

D_i : تقاضای مشتری i ام.

C_{ij} : هزینه جابجایی از مشتری i به مشتری j .

m_i : تقاضای گره i ام.

S_i : زمان سرویس رسانی به مشتری i .

q_k : ظرفیت وسیله نقلیه k ام.

X_{ij}^k : متغیر صفر و یک مساله به صورت $\{X_{ij} \in 0, 1 (i \neq j; i, j \in 1, \dots, N)\}$

$$\min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}^k \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N X_{ij}^k \leq K \quad \text{for } i = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ij}^k \leq 1 \quad \text{for } i = 0 \text{ and } K \in \{1, \dots, K\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij}^k \leq 1 \quad \text{for } j = 0 \text{ and } K \in \{1, \dots, K\} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ij}^k = 1 \quad \text{for } i \in \{1, \dots, N\} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ij}^k = 1 \quad \text{for } j \in \{1, \dots, N\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N m_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ij}^k \leq q_k \quad \text{for } k \in \{1, \dots, K\} \quad (7)$$

رابطه (۱) نشان دهنده تابع هدف مسئله می‌باشد و مجموع هزینه برآورده کردن تقاضای مشتریان را کمینه می‌کند، رابطه (۲) بیان می‌کند که حداکثر K مسیر از دپو خارج می‌شود، رابطه‌های (۳ و ۴) تضمین می‌کنند که شروع و پایان هر مسیر در دپو می‌باشد، رابطه‌های (۵) و (۶) بیان می‌کنند که همه مشتریان تنها یک بار و توسط یک وسیله نقلیه باید سرویس داده شوند، رابطه (۷) محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه می‌باشد. اگر $X_{ij}^k = 1$ شود آن گاه وسیله نقلیه K ام از مشتری i ام به مشتری j ام به صورت مستقیم سفر می‌کند و $X_{ij}^k = 0$ در غیر این صورت است.

از آنجایی که مدل CVRP جزو مسائل بهینه‌سازی ترکیبی^۱ محسوب شده و از دسته مسائل پیچیده می‌باشد [۳۲]، جهت حل از الگوریتم‌های فراابتکاری جهت کاهش زمان حل مسئله استفاده گردید، از آنجا که الگوریتم ژنتیک، الگوریتمی کارا در حل مسائلی که ترتیب در آنها مهم است، می‌باشد [۳۶] در حل مسئله زیر از این الگوریتم استفاده شده است.

حل مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم‌های ژنتیک با اقتباس از فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی، اولین بار توسط دکتر جان هولند^۲ در دهه ۷۰ پیشنهاد گردید [۲۰، ۱۵]. GA با شبیه‌سازی فرآیندهای ژنتیک طبیعی سعی می‌کند مسائل پیچیده دنیای واقعی را که با روش‌های بهینه‌سازی متداول قابل حل نیستند را حل نماید. در GA در ابتدا جمعیتی از کروموزم‌ها تولید می‌شوند و در هر تکرار برای ایجاد کروموزم‌های جدید از عملگرهایی از قبیل باز تولید^۳، تقاطعی^۴ و جهشی^۵ استفاده

-
- 1- Combinational Optimization
 - 2- John Holland
 - 3- Reproduction Operator
 - 4- Crossover Operator
 - 5- Mutation Operator

می‌گردد، سپس برانندگی کروموزم‌ها ارزیابی می‌شود و از میان کروموزم‌های قبلی و نوزادان (کروموزم‌های جدید) توسط یکی از تکنیک‌های انتخاب^۱ کروموزم‌های بهتر انتخاب شده و بدین ترتیب اندازه جمعیت در نسل بعدی نیز ثابت خواهند ماند [۲۰]. پس از چندین تکرار، الگوریتم به سمت بهترین کروموزم همگرا می‌شود که بصورت امیدوار کننده‌ای نمایان‌گر جواب بهینه یا نزدیک به بهینه خواهد بود [۳۶].

بسیاری از محققین در حل مسائل VRP از الگوریتم‌های ژنتیک استفاده کرده‌اند. از قبیل، بریدام در سال ۱۹۹۶، که مقایسه‌ای بین کاربرد الگوریتم GA با الگوریتم‌های مطرح شده در گذشته مانند SA, TS انجام داد که بیشتر روی CVRP صورت گرفته است، به زعم وی GA کارایی بیشتری نسبت به دو الگوریتم دیگر در حل مسائل CVRP دارد [۱۶] همچنین اشمیت در سال ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵، که هم محدودیت ظرفیت و هم محدودیت زمان را در مدل خود به کار گرفت [۹].

نمایش کروموزم^۲

یک مسئله زمانی می‌تواند توسط یک الگوریتم ژنتیک حل شود که متغیرهای مسئله به صورت یک رشته یا کروموزم معرفی شود. برای نمایش یک جواب مساله از رشته‌های عدد صحیح به طول N استفاده شده است، که N تعداد مشتریان و تامین کنندگان در مساله مفروض می‌باشد. هر ژن یک عدد صحیحی است که به هر یک از مشتریان تخصیص داده شده است و توالی ژنها در این رشته نشان دهنده ترتیب سرویس دهی به مشتریان می‌باشد، برای تبدیل کروموزم‌ها به جواب یا از حالت کد درآوردن^۳ یک کروموزم، مقادیر ژنها را به ترتیب وارد مسیر جدید می‌شوند، تا وقتی که یکی از شرایط توجیه پذیری نقض گردد. ویژگی بارز این کار فرم نمایش مسیر می‌باشد که از ژن جداسازی مسیرها (راس صفر) استفاده نشده است در این کار برای تبدیل کروموزم به یک جواب از رویه پیمایش استفاده

1- Selection

2- Chromosome representation

3- Decode

شده است و برای این کار از راسی شروع به کار شده است که در موقعیت اول هر رشته قرار دارد. یک مسیر پایان می‌یابد زمانیکه ظرفیت و یا حداکثر زمان سفر با اضافه شدن بعدی تجاوز شود لذا مسیر بسته شده و مسیر دیگری آغاز می‌شود بنابراین راس بعدی که باعث تجاوز شده است راس شروع مسیر جدید می‌باشد.

تولید جمعیت اولیه

اندازه جمعیت تأثیر فراوانی در عملکرد و راندمان الگوریتم‌های ژنتیک دارد. اگر تعداد جمعیت خیلی کم باشد، راندمان الگوریتم پایین خواهد آمد و اگر تعداد جمعیت خیلی زیاد باشد، الگوریتم‌های ژنتیک جستجوی آگاهانه‌تری خواهند داشت، ولی این تعداد زیاد باعث می‌گردد که یک همگرایی زود هنگام به سمت نقاط زیر بهینه بدست آید. همچنین سرعت همگرایی کند و آهسته خواهد بود. در این مساله تعداد جمعیت اولیه به صورت سعی و خطا تنظیم و جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید می‌شوند.

تابع برازندگی

برای هر مسئله ژنتیک یک تابع برازندگی تعریف می‌شود. ورودی این تابع، اطلاعات مربوط به یک کروموزم است و خروجی آن عددی است که نشان دهنده شایستگی آن کروموزم می‌باشد که با توانایی یا مطلوبیت آن کروموزم، نسبت مستقیم دارد. در این مساله تابع برازندگی همان مقدار تابع هدف است.

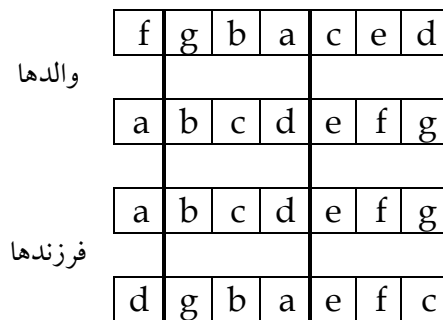
عملگر انتخاب

روش انتخاب در هر الگوریتم ژنتیک، برای انتخاب یک یا چند کروموزم از نسل موجود و انتقال به نسل بعدی به کار گرفته می‌شود. روش‌های مختلفی برای انتخاب، در این مساله به کار گرفته شده است، ولی بهترین جواب‌ها در این مساله به وسیله چرخ رولت^۱ تولید گردید.

1- Roulette Wheel

عملگر تقاطع

در این تحقیق از عملگر باز ترکیبی مرتبه یک^۱ استفاده شده است. این عملگر برای مسائل جایگشتی مناسب می‌باشد. در این عملگر ابتدا بخشی از والد اول به تصادف انتخاب می‌شود، سپس این بخش مستقیماً در فرزند اول در محل متناظر کپی می‌شود، از انتهای نقطه تقاطع در والد دوم شروع به حرکت کرده و مقادیری را که در فرزند اول وجود ندارند به ترتیب از انتهای نقطه تقاطع قرار می‌گیرد و پس از رسیدن به انتها مجدداً از ابتدا شروع می‌شود، برای تولید فرزند دوم نیز به همین ترتیب عمل شود با این تفاوت که نقش والدین عوض می‌شود، مثالی از این عملگر در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل (۲): تصویر عملگر باز ترکیبی مرتبه یک

عملگر جهش

اگرچه عملگرهای تقاطعی نقش ارزنده‌ای را در کاوش فضای جستجو ایفا کرده و موجب بهبود فرآیند جستجو می‌شوند، ولی دارای نواقصی نیز می‌باشند. زیرا از آنجائیکه این عملگر صرفاً اطلاعات ژن‌های والدین را ترکیب می‌کند، ممکن است در برخی مراحل الگوریتم، ژن‌های مفیدی حذف شده باشند و بازیابی آنها امکانپذیر نباشد. در این تحقیق از عملگر تعویض استفاده شده است، در این روش دو ژن به تصادف انتخاب و مقادیر آنان عوض می‌شوند.

احتمال عملگرهای ژنتیک

احتمال انجام عملگرهای تقاطعی و جهشی در الگوریتم ژنتیک به ترتیب با P_c و P_m نشان داده می‌شوند. نسبت P_c ، احتمال تعداد کروموزم‌هایی است که انتظار می‌رود تحت عملیات تقاطع قرار گیرند. احتمال P_m نرخ معرفی ژن‌های جدید به جمعیت را کنترل می‌کند. در حل این مدل $P_m=0.3$ ، $P_c=0.8$ می‌باشند که شبه کد آن در شکل ۳ ارائه شده است.

1: $pop=nPop$

2: $pop2=round(PC*nPop/2)*2;$

3: $pop3=pm*nPop$

4: $pop=[pop;pop2;pop3];$

5: $pop=pop(SortOrder);$ % Sort Population According to Cost Values

6: $pop=pop(1:nPop);$ % Delete Extra Individual

شکل ۳: شبه کد احتمال عملگرهای ژنتیک پیشنهادی

مورد مطالعه

فرضیات مساله

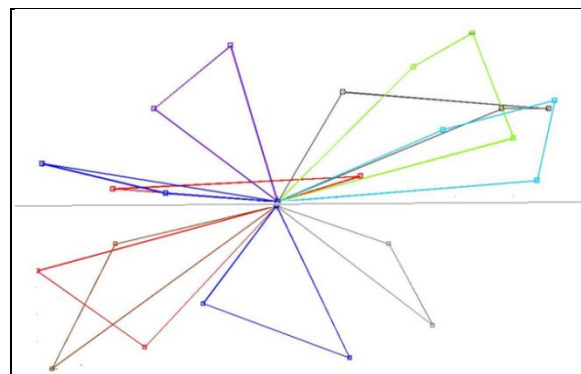
در این قسمت جهت ارائه روشن تری از کاربردی مدل CVRP در بارانداز متقاطع، یک مورد مطالعه به صورت عملی در شرکت صنعتی ایران خودرو ارائه گردیده است، که فرضیات اولیه مسئله بدین صورت می‌باشند: تعداد ۸ مرکز دریافت ایران خودرو (مشتری) (C_i) و ۱۵ شرکت تامین کننده قطعات (ارسال کننده) (M_i) که قطعات آنها از نوع B و C و دارای حجم ارسال کمتر از یک خودرو در روز بوده اند، انتخاب گردیدند. شرکت‌های تامین کننده انتخابی عمدتاً با گرید نوع C و برخی از نوع B شرکت ایران خودرو بوده اند، محموله‌ها پس از دسته بندی در بارانداز متقاطع به مشتریان ارسال می‌گردند. موقعیت مکانی و تقاضای هر یک از مشتریان/تامین کنندگان طبق جدول‌های (۲ و ۳) می‌باشند و موقعیت مرکز بارانداز متقاطع [50 0] می‌باشد.

جدول (۲) - میزان تقاضا و موقعیت مکانی هر یک از مشتریان

مشتریان	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
میزان تقاضا	۶	۱۴	۸	۱۸	۱۰	۱۴	۸	۱۲
X_i	۲۳	۳۵	۸۲	۱	۴	۱۷	۶۵	۷۳
Y_i	۲۶	۱۸	۲۲	۱۲	۳۰	۷	۲۸	۷

جدول (۳) : میزان ارسال و موقعیت مکانی هر یک از تامین کنندگان

تامین کنندگان	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	M 13	M 14	M 15
میزان ارسال	۸	۵	۳	۸	۹	۳	۴	۷	۴	۴	۷	۸	۵	۸	۷
X_i	۹۶	۸۸	۶۱	۹۷	۶۴	۷۸	۹۰	۲۲	۱۰	۸۳	۴۲	۷۳	۹۴	۲۹	۳۱
Y_i	۲۲	۲۲	۲۶	۲۴	۶	۱۷	۱۵	۳	۹	۴۰	۳۷	۳۲	۵	۲۲	۲



شکل (۴) - تصویر مسیر حرکت خودروها به صورت بهینه در قسمت ارسال و دریافت

جدول (۴) - ظرفیت مورد استفاده و مرکزی که از خورو خدمت می‌گیرد در منطقه دریافت

	خودرو ۱	خودرو ۲	خودرو ۳	خودرو ۴	خودرو ۵	خودرو ۶
تامین کنندگان	[۵,۸]	[۲,۱,۳]	[۷,۱۰,۱۲]	[۱۱,۱۴]	[۶,۴,۱۳]	[۱۵,۹]
ظرفیت استفاده شده هر یک از خودروها	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵	۱۶	۱۱

جدول (۵) - ظرفیت مورد استفاده و مرکزی که از خورو خدمت می‌گیرد در منطقه ارسال

	خودرو ۱	خودرو ۲	خودرو ۳	خودرو ۴
مشتریان	[۱,۴]	[۸,۳]	[۶,۵]	[۷,۲]
ظرفیت استفاده شده هر یک از خودروها	۲۴	۲۰	۲۴	۲۲

دیگر فرضیات مدل:

- محصولات در پالتهای متحدالشکلی از تامین کنندگان جمع آوری و به مشتریان تحویل داده می‌شود.
- کامیون‌های دریافت با ظرفیت ۱۶ پالت (۶ خودرو) و کامیون‌های ارسال با ظرفیت ۲۴ پالت (۴ خودرو) می‌باشند.
- میزان ارسال/دریافت به صورت قطعی (طبق برنامه تولید شرکت صنعتی ایران) خودرو می‌باشد.
- فواصل بر اساس فاصله مستقیم دو مرکز محاسبه می‌شود.
- هیچ ماشینی مجاز به حمل بیشتر از ظرفیت خود نمی‌باشد.
- هزینه سیستم بر اساس مسافت بین دو مرکز محاسبه می‌گردد.
- ماشین‌ها پس از حمل باید مجدداً به دپو (بارانداز) بازگردند.

نتایج حل مدل و اعتبار سنجی آن

پارامترهای الگوریتم ژنتیک که به روش سعی و خطا تنظیم شده اند، پارامتر اندازه جمعیت برابر ۱۵۰ و مقدار احتمال اعمال عملگرهای تقاطع برابر ۸۰٪ و جهش برابر ۳۰٪ می باشد، شرط خاتمه خاتمه حداکثر تعداد تکرارها برابر با ۵۰۰ نسل می باشد. مساله ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک حل و نتایج آن در جدول های ۴ و ۵ و شکل ۴ ارائه شده است. جهت ارائه تصویری واضح از مفهوم بارانداز متقاطع، پارامتر λ موقعیت هر یک از مشتریان در (۱-)

ضرب گردید.

همچنین هزینه سیستم دریافت برابر ۱۲۱ و هزینه سیستم در قسمت ارسال برابر ۱۱۵ گردید. (هزینه کل ۲۳۶)

نتایج الگوریتم شبیه سازی تبریدی (SA)

همچنین برای بررسی پاسخ بدست آمده از GA و اعتبار سنجی آن، مساله با یک روش فراابتکاری دیگری مبتنی بر شبیه سازی تبریدی حل و نتایج آن شرح ذیل می باشد: پارامترهای اولیه الگوریتم شبیه سازی تبریدی که به توسط روش سعی و خطا تعیین شدند، پارامتر دما ۱۰، پارامتر تعداد تکرار در هر دما برابر با ۲۰، تعداد تکرار برابر با ۲۰۰ و نرخ کاهش دما ۰/۹۱ می باشد.

نتایج قسمت دریافت با نتایج بدست آمده با الگوریتم ژنتیک یکسان بودند، با هزینه ۱۲۱، نتایج قسمت ارسال نشان دهنده پاسخی دیگر برای مساله با هزینه ای یکسان بود، طبق جدول ۶. هزینه کل سیستم در قسمت ارسال برابر ۱۱۵ گردید.

جدول (۶): هر یک از خودروهای منطقه ارسال به چه شرکتی خدمت رسانی می کنند

	خودرو ۱	خودرو ۲	خودرو ۳	خودرو ۴
	[۸,۷]	[۴,۱]	[۳,۲]	[۶,۵]
ظرفیت استفاده شده هر یک از خودروها	۲۴	۲۲	۲۴	۲۰

همچنین جهت ارائه مزیت استفاده از بارانداز متقاطع، هزینه‌های حالت بدون استفاده از بارانداز متقاطع با ارسال توسط آن با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفتند، اگر چه در سیستم سنتی (بدون بارانداز متقاطع) در برخی از موارد از خودروهایی با ظرفیت کمتر و قیمت ارزاتر استفاده می‌گردد و در سیستم بارانداز متقاطع خودروها با ظرفیت و هزینه ای بیشتر به کار گرفته میشوند (البته در نتیجه بدست آمده از مدل کمی منظور از هزینه همان مسافت بین شرکتها بوده است و اینجا منظور هزینه ریالی می‌باشد)، ولی هزینه سیستم حمل و نقل در وضعیت فعلی سنتی (بدون بارانداز متقاطع) برابر با ۱۱۱۶ واحد و هزینه وضعیت سیستم حمل و نقل با استفاده از بارانداز متقاطع ۸۲۹ حاصل گردید.

مقایسه GA و SA در مسائل CVRP در بارانداز متقاطع

جهت بررسی مقایسه پاسخ‌های الگوریتم ژنتیک با الگوریتم شبیه سازی تبریدی، ۱۰ مساله CVRP، در ابعاد متفاوت و با موقعیت تصادفی مراکز (مجموع مشتریان و تامین کنندگان) $(x_i, y_i) \in [0, 100]$ و تقاضایی تصادفی بین ۳۰ تا ۹۹ ایجاد شده اند، الگوریتم‌ها در هر یک از موارد ۱۰ بار اجرا گردیدند و نتایج در جدول ۷ ارائه گردیدند. از آنجا که هزینه مسائل بر اساس فاصله محاسبه می‌گردد و این واحدها در فضایی مربع شکل به ضلع ۱۰۰ به صورت تصادفی قرار گرفته اند لذا هزینه مدل‌ها زیاد با هم تفاوت ندارد.

جدول (۷) - نتایج اجرای الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تیریدی برای ۱۰ مدل تصادفی

تفاوت GA- (d_i) SA	تعداد محدودیت‌ها	میانگین (۱۰ اجرا)	الگوریتم	تعداد خودرو	تعداد مراکز	ردیف مساله
-۰/۶	۲۶	۱۸۶,۸	GA	۲	۱۰	۱
		۱۸۷,۴	SA			
-۰/۹	۳۸	۱۹۰,۷	GA	۳	۱۵	۲
		۱۹۱,۶	SA			
-۰/۸	۶۰	۱۹۱,۶	GA	۴	۲۵	۳
		۱۹۹,۳	SA			
-۱/۷	۹۲	۲۳۱,۶	GA	۵	۴۰	۴
		۲۳۳,۳	SA			
۱/۸	۱۱۸	۲۶۲,۶	GA	۸	۵۰	۵
		۲۶۲,۶	SA			
۱/۹	۱۸۲	۲۷۶,۶	GA	۱۰	۸۰	۶
		۲۷۴,۷	SA			
۱/۴	۲۴۲	۲۸۵,۸	GA	۲۰	۱۰۰	۷
		۲۸۴,۴	SA			
۲/۷	۲۹۲	۲۹۰,۲	GA	۲۵	۱۲۰	۸
		۲۸۷,۵	SA			
۲/۳	۳۶۲	۲۹۱,۵	GA	۳۰	۱۵۰	۹
		۲۸۹,۲	SA			
۴/۵	۴۵۲	۲۹۸,۹	GA	۴۵	۱۸۰	۱۰
		۲۹۵,۴	SA			

جهت بررسی معنی دار بودن تفاوت بین پاسخ‌ها (d_i) و تعداد محدودیت‌های هر یک از مسائل ارائه شده، با توجه به کم بودن تعداد داده‌ها و اینکه فرض نرمال بودن داده‌ها معقول نمی‌باشد، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شده است ($H_0: \rho=0$). پس از اجرای آزمون توسط نرم افزار SPSS ضریب اسپیرمن (۰/۸۵۵) و مقدار معنی داری آزمون یا sig

برابر ۰/۰۰۱ حاصل گردید، و با توجه اینکه مقدار sig آزمون از ۰/۰۵ کوچکتر گردید، همبستگی معنی داری بین میزان بزرگی ابعاد و پیچیدگی مسئله و تفاوت بین GA و SA (d_i) وجود دارد، لذا با افزایش ابعاد مساله و در نتیجه افزایش مقدار d_i ، بهتر است از SA و بالعکس برای مسائلی با ابعاد کوچک تر از GA استفاده گردد.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاکی از موفقیت سیستم بارانداز متقاطع در مواردی که حجم کالاها کمتر از میزان ظرفیت خودروها بوده، می باشد. در سیستم بارانداز متقاطع شرکت هایی که میزان ارسال آنها کمتر از حجم یک خودرو بوده می توانند مسیری را ایجاد کرده که یک خودرو به صورت حرکت در یک راه شیری مجموعه ای از محموله ها را جمع آوری کرده و با هزینه ای کمتر از حالت ارسال مستقیم به مقصد برساند. این سیستم کارایی خوبی برای شرکت های توزیع کننده با حجم بار کمتر از یک خودرو از قبیل شرکت های صنایع غذایی، شرکت های قطعه سازی صنعت خودرو با محصولاتی با حجم کم، شرکت های تولید کننده محصولات سفارشی با حجم کم (از قبیل محصولات سفارشی فلزی) و غیره می باشند. جهت حل مدل در این نوشتار از دو الگوریتم SA و GA استفاده شده است، طبق نتایج بدست آمده GA برای مسائل VRP با ظرفیت محدود با حجم کوچک تا متوسط نسبت به الگوریتم SA کارآمد تر است، اما با افزایش ابعاد مسائل و پیچیدگی فضای جواب، به علت محدودیت فضای محاسباتی، GA قادر به حل مسائل مقیاس بسیار بزرگ نمی باشد، در انتها متذکر می شود، هر یک از الگوریتم های مذکور در حل دامنه ای از مسائل مورد توجه، قابل قبول هستند. آنچه لازم به ذکر است، تحقیقات آتی در این زمینه (که شرایط اولیه توسط این مقاله فراهم گردیده است) می تواند در شرکت هایی با صنعتی دیگر انجام گردد، مدل مربوطه با الگوریتم های فراابتکاری دیگر حل و نتایج آنها با هم مقایسه شود. تعیین پارامترهای GA و SA با استفاده از روش سطح پاسخ و طراحی آزمایش جهت افزایش کارایی هر یک از الگوریتم ها انجام شود.

مراجع

Ai T.J., Kachitvichyanukul, V. (2009). Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, pp. 380–387

Apte, U. M., Viswanathan, S. (2000), Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 3, No. 3, 291-302.

Ballou, R.H. (1999) *Business Logistics Management*, 4th Edn (New Jersey, Prentice Hall).

Barbarosoglu, G., Ozgur, D. (1999). A Tabu search algorithm for the vehicle routing problem. *Computer & Operational Research*, Vol. 26, pp. 255–270.

Bartholdi, J. J., Gue, K. R. (2004) The Best Shape for a Cross-dock, *Transportation Science*, Vol. 38, No. 2, pp. 235–244.

Brockmann, T. (1999), 21 warehousing Trends in the 21st century, *IIE Solutions*, Vol.31, No.7, pp.36-40.

Buzzell, R.D. & Ortmeyer, G. (1995) Channel partnerships streamline distribution, *Sloan Management Review*, spring, pp. 85-96.

Caric, T., Gold, H. (2008). *Vehicle Routing Problem*. Tonci Caric and Hrvoje Gold. Published by In-The.

Chiang A.W., Russell R., (1997). A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows, *Inform Journal on Computing*, Vol. 9, No. 4.

Cook, R.L., Gibson B., MacCurdy, D., (2005). A lean approach to cross-docking, *Supply Chain Management*, Vol. 9, pp.54-59.

Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, pp. 512–522.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, Vol. 6, No.1. pp. 80–91.

Duhamel, C., Lacomme, P., Quilliot, A., Toussaint, H. (2011). A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. Vol 38 .pp. 617–640

Feitzinger, W. & Lee, H.L. (1997) Mass customization at Hewlett-Packard: the power of postponement, *Harvard Business Review*, p. 116-121.

Golberg, D.E., (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Addison Wesley, Reading, MA

Golden, B., Raghavan, S., Wasil, E. 2008. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer Science+Business Media, LLC.

Gue, Kevin R. (2001), *Cross-docking: Just-In-Time for Distribution*, Teaching Notes-Naval Postgraduate School, Monterey, CA.

Gumus, M., Bookbinder, J.H. (2004) Cross-Docking and its implication in location-distribution systems, *Journal of Business Logistics*, Vol. 25, No.2, pp 199-228.

Hammond, J.H. & Kelly, M.G. (1991) Quick response in the apparel industry, *Harvard Business School Publication*, No. 9, pp 690- 038.

Holland, J.H., (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Jin, M., Liu, K., Burak, E. (2008) A column generation approach for the split delivery vehicle routing problem. *Operations Research Letters*. Vol.36, pp.265-270

Knill, B. (1997) Information pulls food distribution, *Supply Chain Management and Warehousing Supplement, Materials Handling Engineering*, Vol. 52, No.7, pp.4-8.

Lau, H.C., Sim, M., Teo, K.M. (2003). Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles. *European Journal of Operational Research*, Vol. 148, pp.559-569

Laurent, B., Hao, J.K.(2009). Iterated local search for the multiple depot vehicle scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 57, pp. 277-286

Lee, H.Y., Jung, W., Lee K.M.(2006). Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain. *Computers & Industrial Engineering*. 51, 247-256.

Lin, S.W., Lee, Z.J., Ying, K.C., Lee, C.Y.(2009). Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*. Vol. 36. pp..1505-1512

- Lysgaard, J. (2010). The pyramidal capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. Vol. 205. pp. 59–64
- Mosheiov, G. (1998). Vehicle routing with pick-up and delivery: tour – partitioning heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 34, pp.669–684
- Napolitano, M. (2000). Making the move to cross-docking. The WERC sheet-Warehousing education and research council.
- Novoa, C., Storer, R. (2009). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*. Vol. 196. pp. 509–515
- Pereira, F.B., Tavares, J. (2009). *Bio-inspired Algorithms for the Vehicle Routing Problem*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 161.
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 31, pp 1985–2002.
- Quinn, F.J. (1997). The Payoff. *Logistic Management*, Vol.36, No.12, pp.37-41.
- Ratliff, H.D., Vate, J.V., Zhang, M., (1999). Network design for load-driven dross-docking systems, Technical Report, The Logistics Institute, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Sheffi, Y. (1990) Third party logistics: present and future prospects, *Journal of Business Logistics*, Vol. 11, No. 2, pp. 27- 39.
- Sivanandam, S.N. Deepa, S.N. (2008). *Introduction to Genetic Algorithms* Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Stalk, G., Evans, P. Shulman, L.E. (1992) .Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy, *Harvard Business Review*, Vol. 70, No.2, pp. 57- 69.
- Sung, C.S., Song, S.H., 2003. Integrated service network design for a cross-docking supply chain network, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 54, pp. 1283-1295.
- Tavakkoli, M.R, Saremi, A.R., Ziaee, M.S. (2006). A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls. *Applied Mathematics and Computation*. Vol.181, pp. 1049–1060

Toth P, Vigo D, editors. (2002). the vehicle routing problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, vol. 9. Philadelphia, PA: SIAM; pp. 129-54.

Tütüncüa, G. Y., Carretob, C.A., Bakerc, B.M. (2009). A visual interactive approach to classical and mixed vehicle routing problems with backhauls. Omega. Vol. 37. pp. 138-154.