طراحی چندهدفه زنجیره تأمین چابک و ارزشی با رویکرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه

حسین‌علی حسن‌پور[۱]، مرتضی جبله[۲،*]

[۱] استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

[۲] کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۶، اصلاحیه: آذر ۱۳۹۶، پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

چکیده

یک محصول هنگامی که در تعداد مناسب و به موقع و در زمان مناسب به مشتری تحویل داده شود با ارزش است. امروزه، شرکت‌ها و مردم با چالش‌های چابکی و ارزش‌های محوری روبرو هستند که استفاده از هر دو رویکرد و ترکیب آنها در مدل تحلیلی زنجیره تأمین و ادبیات پیشین وجود ندارد. در این پژوهش یک مطالعه مبتنی بر مدل‌سازی عدد صحیح خطی در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین برای رسیدگی به این شکاف تحقیقاتی انجام شده است. زنجیره تأمین مورد نظر در سه سطح تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان به صورت چندهدفه، چندمحصولی و چنددوره‌ای ارائه شده است. توابع هدف شامل حداکثرسازی چابکی و ارزش‌های محوری است. برای حل مدل ریاضی از نرم‌افزار گمز استفاده شده است. سپس الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب اعضای جمعیت ارائه شد و برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی نتایج آن با حل دقیق مقایسه شده است. در پایان، نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است.

واژه‌های اصلی: چابکی و ارزش‌های محوری، مدل‌سازی عدد صحیح خطی، الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب

۱- مقدمه

ریشه و زادگاه چابکی، ناشی از تولید چابک است و تولید چابک مفهومی است که طی سال‌های اخیر عمومیت یافته است و به عنوان یکی از استراتژی‌های موفق در کنار ناب بودن توسط تولیدکنندگانی که خودشان را برای افزایش عملکرد قابل ملاحظه‌ای آماده می‌کنند، پذیرفته شده است در چنین محیطی، یک سازمان، زمانی چابک خواهد بود که بواسطه‌ی اهرم کردن دانش و همکاری داخلی و بین سازمانی، توان تولید همزمان محصولات متفاوت و با طول عمر کوتاه، طراحی مجدد محصولات، تغییر روش‌های تولید و توان واکنش کارآمد به تغییرات را داشته باشد.

سازمان‌های چابک همیشه برای یادگیری هر چیز جدیدی که باعث افزایش سودآوری ناشی از بهره‌گیری از فرصت‌های جدید می‌شود، آماده‌اند. یک سازمان چابک دارای فرآیندهای اداری و نوعی از ساختار سازمانی است که قادر به انتقال سریع و روان این ابتکارات در اغنای فعالیت‌های تجاری مشتری است و در ایجاد فرصت برای سود به صورت تهاجمی عمل می‌کند. لازم به ذکر است که اولین کسی که مفهوم مؤسسه چابک را مطرح کرد پیتر دراکر بود[۷].

زنجیره تأمین چابک، عبارت است از یک استراتژی عملیاتی، اطلاعاتی و مشارکتی با سامان‌دهی و تمرکز بر القای سرعت، انعطاف‌پذیری، کیفیت، نوآوری، خلاقیت در زنجیره تأمین با استفاده از دانش و مهارت برای ایجاد ارزش افزوده و ارائه محصولی قابل اعتماد و منحصر به فرد به مشتری. هر سازمان، شخصیتی به نام ارزش سازمانی دارد. ارزش‌های سازمانی قسمتی از محیط داخلی سازمان را توصیف می‌کند که در حقیقت ترکیبی از مجموعه تعهدها، اعتقادها و باورهای مشترک بین اعضای سازمان می‌باشد و برای راهنمایی کارکنان در انجام وظایفشان استفاده می‌شود. اعتقاد جمعی بر آن است که سازمانی که پایبند ارزش‌ها باشد، اعضای آن از رسالت‌ها و هدف‌های سازمان آگاهی کامل داشته و نسبت به آنها تعهد دارند و میان اهداف کارکنان و سازمان و مدیریت، همسویی لازم وجود دارد. توجه به این نکته ضروری است که اهداف در یک سازمان، ممکن است برای تعدادی از افراد حائز اهمیت باشد، اما ارزش‌ها، برای تمامی اعضای سازمان مهم هستند. با نگاهی به تاریخ فعالیت‌های اقتصادی بشر، می‌توان این نکته را تأیید کرد که ضعف ارزش‌های کسب وکار موجب بروز مشکلات زیادی از قبیل تخریب محیط زیست، تجارت مواد مخدر، قاچاق انسان و انواع دیگر سوء استفاده‌های اقتصادی و غیر اقتصادی شده است که عواقب مضر و غیرقابل جبرانی را برای جامعه در بر داشته است. زمانی که کسب سود هدف اصلی یک ملت می‌گردد، کاهش معنی‌داری در سطح زندگی بشریت بوجود می‌آید[۱۲].

زنجیره تأمین ارزشی به چگونگی قرار گرفتن ارزش‌های محوری همچون؛ امانت‌داری، دوری از تبعیض، صداقت، شایسته‌سالاری، اعتماد، احترام، عدالت و... درون خط‌مشی‌ها، برنامه‌ها، اقدامات و تصمیمات گفته می‌شود.

*morteza.j89@gmail.com

زنجیره به هر میزان که به این ارزش‌های محوری قرابت و نزدیکی خود را نشان دهد، زنجیره تأمین ارزشی محسوب می‌شود.
در ادامه مقاله به مرور ادبیات، تعریف مسئله، مدلسازی ریاضی، نتایج محاسباتی پرداخته می‌شود. در پایان، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهای آتی آورده می‌شود.

۲- مرور ادبیات

طی چند دهه گذشته، تحقیقات بسیاری در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین انجام گرفته است. لیو و لی[1] برای اولین بار در سال ۲۰۰۳، به مدل‌سازی این مسئله پرداختند[۱۱]. وانگ و همکارانش[2] در سال ۲۰۰۸ یک زنجیره تأمین تک محصولی دو سطحی شامل انبارها و مشتریان را بررسی کردند[۱۴]. سجادی و چراغی یک شبکه توزیع چند محصولی سه سطحی را در سال ۲۰۱۱ مورد بررسی قرار دادند[۱۳]. مانجینی و همکاران[3]، مدلی برای مدیریت تأمین در یک زنجیره تأمین تولید چابک ارائه دادند. مدل آنها با در نظر گرفتن یک مطالعه موردی برای زنجیره تأمین تولید در یکی از سازمان‌های ایتالیایی با تعریف یک مسئله‌ی بهینه‌سازی و محدودیت‌های مورد نظر مورد واکاوی قرار گرفت. نتایج با در نظر گرفتن محدودیت منابع نشان داد که با انتخاب محل مناسب برای خرده‌فروشان و توزیع‌کنندگان می‌توان انعطاف‌پذیری و در نتیجه چابکی زنجیره تأمین تولید را بالا برد[۳]. آرامپانتزی و مینیس[4] در سال ۲۰۱۷، به منظور مطالعه نقش توسعه پایدار در طراحی شبکه زنجیره تأمین، یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را ارائه دادند. مدل آنها شامل کمینه کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری زنجیره تأمین، عملیاتی و نیز هزینه‌های تولید گازهای گلخانه‌ای و همچنین اهداف زیست‌محیطی شامل انتشار و تولید زباله و با در نظر گرفتن اهداف اجتماعی مانند فرصت‌های شغلی و بهبود شرایط کار با رویکرد حل برنامه‌ریزی آرمانی و ε-Constraint است[۱]. گوناسکاران و همکاران[5] در سال ۲۰۱۶، ضمن شناسایی محرک‌های زنجیره تأمین پایدار از روش مدل‌سازی تفسیری ساختاری برای ایجاد و فهم روابط میان فاکتورها استفاده نمودند و مدل زنجیره تأمین پایدار را با دوازده عامل در ۶ سطح ارائه کردند. از نظر آنها عواملی که باعث پایداری زنجیره تأمین می‌شوند عبارتند از: انبارداری سبز، استراتژی مشارکت تأمین‌کننده، حفاظت محیط زیست، بهبود مستمر، توانمندسازی فناوری اطلاعات، لجستیک بهره‌ور، فشارهای داخلی، فشارهای سازمانی، اصول اخلاق و ارزش‌های اجتماعی، استراتژی و تعهد شرکت، ثبات اقتصادی، طراحی محصول سبز[۵] خراسانی و کاظمی در پژوهشی با عنوان" ارائه یک مدل چندهدفه فازی جهت ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین ناب- چابک" یک مدل چندهدفه فازی با چند محصول در چند دوره با در نظر گرفتن ظرفیت و محدودیت‌های موجود برای سازمان را مورد بررسی قرار دادند. به منظور حل مدل و اعتبارسنجی آن از نرم‌افزار لینگو و برای حل مسئله در ابعاد بزرگ و رسیدن به جواب بهینه از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند[۹] اسماعلیان و رمضانی در سال ۱۳۹۵ مدلی برای چابکی زنجیره تأمین در شرکت‌های تولیدکننده قطعات خودرو ارائه کردند و پس از بررسی ادبیات پژوهش با استفاده از معیارها و شاخص‌های شناسایی شده از ادبیات موضوع و نظرات خبرگان شاخص‌های چابکی زنجیره تأمین را شناسایی کردند. برای انجام محاسبات از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری جهت تعیین و تأیید روابط معیارها و ارائه مدل استفاده شده است[۶] .
چاوز و همکاران[6] در سال ۲۰۱۵، تأثیر روابط داخلی اعضای زنجیره و رضایت کارکنان در یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که ارتباطات داخلی اثر مثبت قابل توجهی بر رضایت کارکنان و رضایت کارکنان باعث یکپارچه‌سازی زنجیره می‌شود[۲] کایناک و همکاران[7] در سال ۲۰۱۵، به رفتارهای غیراخلاقی و تداوم ارتباطات زنجیره تأمین در حوزه‌ی پزشکی پرداختند. کار اصلی آنها تجزیه و تحلیل رفتارهای غیراخلاقی در رابطه با تأمین‌کننده و خریدار و اثرات مثبت و منفی این رفتارها است[۸]. دهاقی و همکاران در سال ۲۰۱۲، در مقاله‌ای تحت عنوان اثر ارزش‌های معنوی در کارکنان سازمانی، به این نتیجه رسیدند که وجود معنویت در بین کارکنان، آنان را نسبت به سازمان متعهد کرده و حس مسئولیت و وفاداری را در آنان تقویت می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که هر چقدر وفاداری بین کارکنان کم‌رنگ‌تر شود به همان میزان رضایت شغلی، کارایی و بهره‌وری در سازمان پایین می‌آید[۴].
در اکثر تحقیقات انجام شده تا به امروز در خصوص شبکه‌های تأمین اقلام عمومی تنها چابک بودن مدل بررسی شده است و در تحقیقات محدودی مثل بشیری و خراسانی[۱۴] به تأثیر مستقیم چابکی برای اجزای زنجیره اشاره شده است. با این وجود اگرچه آن‌ها تأثیر مستقیم بعضی از مهم‌ترین شاخص‌های چابکی را در تابع هدف با هزینه‌ها تلفیق کردند و به دنبال نقطه بهینه برای افزایش چابکی و کاهش هزینه‌ها بودند اما ارزش‌های محوری سازمانی را که می‌تواند نقطه‌نظر تصمیم‌گیران و مدیران باشد در نظر نگرفتند.
در این تحقیق سعی شد ارزش‌های محوری سازمان که تا به امروز در اذهان محبوس شده بود و بعضاً بصورت کتابچه‌هایی در سازمان‌ها بایگانی شده بودند، زنده و احیا شود و تأثیری که می‌تواند این ارزش‌ها در رساندن اقلام مورد نیاز رده‌ها داشته باشد با استفاده از مدل جدید شبکه زنجیره تأمین چابک و ارزشی به صورت یک مدل عدد صحیح خطی در محیط واقعی بررسی شود.

۳- تعریف مسأله

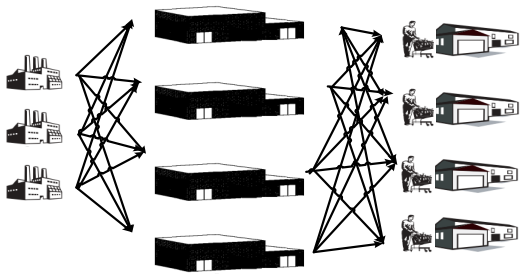
شبکه مورد استفاده در این مقاله یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان است که بصورت چندهدفه، چنددوره‌ای و چندمحصولی ارائه شده است که می‌توان در سازمان‌های

[1] Liu and Lee
[2] Wang et al
[3] Mangini et al
[4] Arampantzi and Minis
[5] Gunasekaran et al
[6] Chavez et al
[7] Kaynak et al

خدماتی و تأمین اقلام عمومی مورد استفاده قرار گیرد. در این شبکه، میزان تقاضای محصول مشخص نیست و برای هر دوره متفاوت است. در این مدل برای رفتن از یک دوره به دوره‌ی بعدی با توجه به میزان تقاضای آن دوره، اجزا و نوع سیستم تغییر می‌کند. هدف اصلی انتخاب بهترین سیستمِ چابک و ارزشی است که توان پاسخ‌گویی سریع را داشته باشد.

مدل در نظر گرفته شده در این تحقیق در واقع شبیه‌سازی شده از پژوهش بشیری و خراسانی[۱۰] است که تابع هدف ارزش‌های محوری به آن اضافه شده و در ابعاد وسیع حل شده است. در مدل ارائه شده توسط بشیری و خراسانی، امکان انتخاب تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان بر اساس معیارهای چابکی و تأثیر مستقیم آنها در تابع هدف (با نگاه به هزینه‌های عقد و فسخ قرارداد) در یک شبکه‌ی چهار سطحی مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل ارائه شده در تحقیق حاضر، با نگاه به مطالعه موردی یک شبکه سه سطحی مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر، علاوه بر چابکی تولیدکننده، چابکی توزیع‌کننده نیز در نظر گرفته می‌شود که در مطالعه‌ی بشیری و خراسانی در نظر گرفته نشده است. همچنین با در نظر گرفتن ارزش‌های محوری در دو سطح تولیدکننده و توزیع‌کننده به عنوان یک قابلیت زنجیره، مدل دو هدفه تحقیق بشیری و خراسانی به مدل دو هدفه شامل چابکی، ارزش‌های محوری توسعه داده شده است.

شبکه زنجیره تأمین مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): زنجیره تأمین سه سطحی مورد مطالعه

۳-۱ فرض‌های مدل

۱- ظرفیت تسهیلات محدود است.
۲- تقاضای مشتریان غیرقطعی است.
۳- فضای حل مسئله گسسته است.
۴- مکان تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان از قبل مشخص است.
۵- به تمامی مشتریان پاسخ داده می‌شود.
۶- مدل چند محصولی، چند دوره‌ای با پارامترهای قطعی است.

۳-۲ مجموعه‌ها

$i \in I$ نقاط بالقوه برای مراکز تولید
$j \in J$ نقاط بالقوه برای مراکز توزیع
$k \in K$ نقاط بالقوه برای مراکز مشتریان
$h \in H$ تعداد محصول
$p \in P$ تعداد دوره‌ها

۳-۳ پارامترها و متغیرهای مدل

a_{ihp} چابکی تولیدکننده i-ام در تولید محصول h-ام در دوره p-ام
b_{jhp} چابکی توزیع‌کننده j-ام در توزیع محصول h-ام در دوره p-ام
c_{ihp} میزان پایبندی به ارزش‌ها توسط تولیدکننده i-ام در تولید محصول h-ام در دوره p-ام
v_{jhp} میزان پایبندی به ارزش‌ها توسط توزیع‌کننده j-ام در توزیع محصول h-ام در دوره p-ام
R_{khp} تقاضای مشتریk-ام برای محصول h-ام در دوره p-ام
D_{jhp} ظرفیت توزیع‌کنندهj- ام برای محصول نهایی h- ام در دوره p-ام
Q_{ihp} ظرفیت تولیدکنندهi- ام برای محصول نهایی h- ام در دوره p-ام
x_{jkhp} تعداد محصولh - ام ارسالی از توزیع‌کننده j به مصرف-کننده k- ام در دوره p-ام
y_{ijhp} تعداد محصولh - ام ارسالی از تولیدکننده i به توزیع-کننده j- ام در دوره p-ام

با استفاده از نمادهای فوق می‌توان مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چابک و ارزشی با هدف، انتخاب بهترین سیستم چابک و ارزشی به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$F_1 = Max\left(\sum_{i=1}^{I} a_{ihp} * y_{ijhp} + \sum_{j=1}^{J} b_{jhp} + x_{jkhp}\right) \quad (۱)$$

$$F_2 = Max\left(\sum_{i=1}^{I} c_{ihp} * y_{ijhp} + \sum_{j=1}^{J} v_{jhp} + x_{jkhp}\right) \quad (۲)$$

تابع هدف از دو قسمت تشکیل شده است که شامل بیشینه کردن چابکی تولیدکننده و توزیع‌کننده و همچنین بیشینه کردن پایبندی به ارزش‌های محوری زنجیره تأمین توسط تولیدکننده و توزیع‌کننده است.

$$\sum_{j=1}^{J} x_{jkhp} \geq R_{khp} \qquad \forall k, h, p \qquad (۳)$$

محدودیت اول بیان می‌کند که باید به تمامی تقاضاها پاسخ داده شود.

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jkhp} \leq D_{jhp} \qquad \forall j, h, p \qquad (۴)$$

محدودیت دوم، ظرفیت توزیع‌کننده را اعمال می‌کند؛ بدین صورت که در یک دوره باید تعداد کل محصولات نهایی ارسال شده از توزیع‌کننده به مشتری، کوچک‌تر مساوی ظرفیت آن توزیع‌کننده باشد.

$$\sum_{i=1}^{I} y_{i,f,h,p} - \sum_{k=1}^{K} X_{f,k,h,p} \geq 0 \quad \forall f, h, p \qquad (۵)$$

در محدودیت سوم نشان می‌دهیم که تعداد محصولات نهایی فرستاده شده از تمام تولیدکنندگان باید بزرگ‌تر مساوی از تقاضای تمام انبارهای توزیع‌کننده باشد.

$$\sum_{f=1}^{J} y_{i,f,h,p} \leq Q_{i,h,p} \quad \forall i, h, p \qquad (۶)$$

محدودیت چهارم نشان می‌دهد که در یک دوره باید تعداد کل محصول نهایی ارسال شده از تولیدکننده به توزیع‌کننده، کوچک‌تر مساوی ظرفیت آن تولیدکننده باشد.

$$x_{f,k,h,p}, y_{i,f,h,p} \geq 0 \qquad (۷)$$

محدودیت آخر نشان می‌دهد که متغیرهای تصمیم مربوط به تعداد محصول لزوماً غیرمنفی‌اند.

۴- نتایج محاسباتی

۴-۱ اعتبارسنجی مدل

به منظور نشان دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی کردن آن، مدل پیشنهاد شده برای حل یک مثال عددی بکار گرفته شده است. مسئله مورد نظر شامل ۵ تولیدکننده، ۴ توزیع‌کننده بالقوه، ۱۰ مشتری است. در جریان حل مدل مربوطه ۳ محصول تولیدی وجود خواهد داشت. در این مدل تعداد دوره‌های زمانی برابر ۳ دوره در نظر گرفته شده است. پارامترهای مورد نیاز دیگر برای حل مدل پیشنهادی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): پارامترهای مربوط به حل مدل

توضیح	نماد	محدوده
چابکی تولیدکننده	$a_{i,h,p}$	(۰/۱)
چابکی توزیع‌کننده	$b_{f,h,p}$	(۰/۱)
میزان پایبندی به ارزش‌ها توسط تولیدکننده	$c_{i,h,p}$	(۰/۱)
میزان پایبندی به ارزش‌ها توسط توزیع‌کننده	$v_{f,h,p}$	(۰/۱)
تقاضای مشتری	$R_{k,h,p}$	(۱،۵۰)
ظرفیت توزیع‌کننده	$D_{f,h,p}$	(۷۰۰،۸۰۰)
ظرفیت تولیدکننده	$Q_{i,h,p}$	(۶۰۰۰،۷۰۰۰)

برای اعتبارسنجی، مدل مربوطه در نرم‌افزار GAMS برنامه‌نویسی شده است. تمام محاسبات به کمک رایانه با پردازنده چهار هسته‌ای Intel Core i7- 3632QM 2.2GHz و۴گیگابایت حافظه اجرا گردید. نتایج حاصل از حل مسأله توسط روش گمز در جدول (۲) و جدول (۳) ارائه شده است:

جدول (۲): تعداد محصول ارسال شده بین تولیدکننده و توزیع‌کننده

	y(i,j,h,p)								
	P=1			p=2			p=3		
	h			h			h		
i / j	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1/1	0	0	2167	0	0	0	0	0	3483
1/2	300	0	0	0	0	0	0	0	2773
1/3	0	0	1945	0	0	0	0	0	0
1/4	0	0	2167	0	0	2304	0	2747	0
2/1	0	1392	655	1545	0	1001	0	0	1043
2/2	5874	1394	0	1640	753	1001	0	0	1254
2/3	0	1392	0	1432	860	12	0	0	2076
2/4	0	1433	655	1966	860	0	0	0	2076
3/1	0	0	0	430	905	0	1614	0	0
3/2	0	0	0	0	0	0	1614	0	0
3/3	0	0	0	0	0	0	1614	0	0
3/4	0	0	0	0	0	0	1614	0	0
4/1	571	0	0	1203	0	1523	0	1313	0
4/2	0	0	1531	575	245	1523	0	1313	0
4/3	571	0	519	0	0	1785	0	1313	0
4/4	571	1954	0	1477	0	0	0	821	0
5/1	1835	1383	0	0	1311	0	1672	1969	0
5/2	0	1383	2473	1372	1653	0	1672	1969	94
5/3	1835	1382	279	3884	1782	790	1672	1969	462
5/4	1835	0	0	0	1782	2095	1672	0	462

جدول (۳): تعداد محصول ارسال شده بین توزیع‌کننده و مشتری

		x(j,k,h,p)								
		P=1			p=2			p=3		
j / k	h	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1/1		0	273	37	34	57	53	0	0	0
1/2		32	0	37	34	0	53	0	0	0
1/3		32	0	37	34	17	54	0	0	0
1/4		32	0	37	34	0	1	0	0	0
1/5		32	0	37	36	0	1	0	0	0
1/6		22	0	37	36	0	1	0	0	0
1/7		22	0	37	36	0	1	0	0	0
1/8		22	0	37	36	0	1	0	0	0
1/9		22	0	37	16	57	54	0	46	0
1/10		32	273	37	34	0	54	38	46	0
2/1		0	0	0	0	34	0	33	25	0
2/2		0	0	0	0	0	0	33	25	0
2/3		0	0	0	0	0	0	33	25	0
2/4		0	0	0	0	0	80	33	25	0
2/5		0	0	0	54	60	80	33	25	0
2/6		56	0	0	54	60	80	33	25	0
2/7		56	0	0	54	0	80	33	25	0
2/8		56	0	0	54	60	80	24	25	0
2/9		0	0	0	0	34	0	33	0	0
2/10		0	0	0	0	60	0	0	0	0
3/1		68	39	0	24	0	26	45	34	74
3/2		0	23	0	24	6	26	45	34	74
3/3		0	23	0	24	0	0	45	34	74
3/4		0	23	0	24	6	0	45	34	74
3/5		0	23	0	0	32	0	45	34	74
3/6		0	23	0	0	32	0	45	34	74
3/7		0	23	0	0	6	0	45	34	74
3/8		0	23	0	0	32	0	0	34	74
3/9		0	23	0	0	0	0	45	11	74
3/10		0	39	0	24	32	0	22	11	74
4/1		16	0	70	0	0	0	0	0	28
4/2		27	43	70	0	81	0	0	0	28
4/3		27	43	70	0	71	17	0	0	28
4/4		27	43	70	0	81	0	0	0	28
4/5		27	43	70	0	0	0	0	0	28
4/6		0	43	70	0	0	0	0	0	28
4/7		0	43	70	0	81	0	0	0	28
4/8		0	43	70	0	0	0	45	0	28
4/9		0	43	70	45	0	17	0	0	28
4/10		27	0	70	0	0	17	0	0	28

مقدار تابع هدف چابکی با توجه به پارامترهای پیشنهادی برابر ۱۶۷۳/۷۰۸ و مقدار تابع هدف ارزش‌های محوری برابر ۱۹۴۶/۵۴۵ است که در مدت ۰/۲۵۲ ثانیه حل شده است.

۴-۲ *طراحی الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب*[1]

الگوریتم ژنتیک چندهدفه توانایی جستجوی فضاهای مختلف جواب، به همراه بهینگی همزمان توابع هدف را دارد. این الگوریتم با مجموعه‌ای از پاسخ‌های تصادفی آغاز به کار می‌کند. هر فرد در این مجموعه یک کروموزوم نامیده می‌شود که بیانگر پاسخی برای مسأله است. در الگوریتم ژنتیک به جمعیت هر تکرار یک نسل گفته می‌شود. در هر نسل، کروموزوم‌ها با استفاده از برخی معیارهای برازش اندازه‌گیری می‌شوند. به منظور تولید نسل‌های بعدی، کروموزوم‌های جدیدی توسط عملگرهای تقاطع[2]، جهش[3] ایجاد می‌شوند که نسل بعدی بر پایه‌ی میزان برازندگی کروموزوم‌ها ایجاد می‌شود. با اعمال عملگرهای ژنتیک جمعیت هر نسل بیش از جمعیت اولیه است، بنابراین با اعمال روش مرتب‌سازی نامغلوب و کنترل فاصله ازدحامی و برازندگی فرزندان جمعیت اضافی هر نسل حذف خواهند شد. پس از چندین نسل، مجموعه‌ای از بهترین جواب‌ها حاصل می‌گردد[۹].

شبه کد الگوریتم ژنتیک چندهدفه پیشنهادی مطابق جدول (۴) است.

جدول (۴): شبه‌کد الگوریتم ژنتیک چندهدفه پیشنهادی

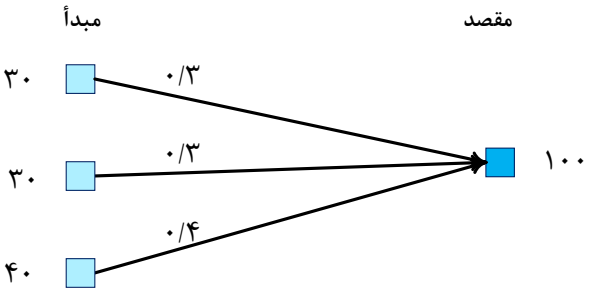
شروع
به تعداد جمعیت نسل (Popsize) جواب اولیه تصادفی ایجاد کن.
بهترین اعضای جمعیت که مقدار تابع هدف بهتری را برای مسئله در نظر می‌گیرند انتخاب شوند (ارزیابی برازندگی).
به تعداد ماکزیمم نسل (Maxiter) مراحل زیر را تکرار کن (حلقه اصلی): انتخاب والد بر اساس تورنمنت دوتایی برای اپراتورهای تقاطع و جهش.
انجام تقاطع و ایجاد جمعیت فرزندان.
انجام جهش و ایجاد جمعیت جهش‌یافتگان.
یکپارچه کردن جمعیت (مجموع نسل کنونی و فرزندان حاصل از تقاطع و جهش). اعمال روش مرتب‌سازی نامغلوب. محاسبه‌ی پارامتر کنترلی فاصله‌ی ازدحامی.
مرتب کردن جمعیت و حذف جمعیت اضافی.
بررسی شرایط خاتمه و تکرار در صورت نیاز.
پایان حلقه اصلی
جواب نامغلوب نهایی را چاپ کن.

۴-۲-۱ *نحوه نمایش جواب*

برای نمایش جواب در حل مسئله زنجیره تأمین موردنظر یک شبکه حمل و نقل متشکل از m مبدأ و n مقصد، یک ماتریس m×n در نظر می‌گیریم. این ماتریس از اعداد تصادفی بین صفر و یک تشکیل می‌شود. مفهوم هر درایه از این ماتریس، به معنای سهم آن مقصد از مبدأ متناظر تعبیر می‌شود. سپس با ضرب کردن مقدار ظرفیت هر مقصد در سهم مربوطه (ستون‌های ماتریس)، مقدار کالایی که از هر مبدا باید به هر مقصد برسد، مشخص می‌شود. همانطور که شکل (۳) نشان می‌دهد، کافی است برای بدست آوردن مقدار کالایی که از هر مبدأ به مقصد اول ارسال می‌شود، ظرفیت مقصد اول را در اعداد تصادفی مذکور ضرب کنیم.

[1] Non-dominated Sorting Genetic Algorithms-II

[2] Crossover
[3] Mutation



شکل (۲): نحوه نمایش جواب‌ها

۴-۲-۲ تولید جواب اولیه

نحوه نمایش، میزان کالاهای تحویل داده شده به هر نقطه تقاضا بصورت نمایش ماتریسی است که از حاصل ضرب ماتریس تقاضا برای هر کالا در ماتریس درصد تأمین تقاضای نقاط برای کالاهای مختلف بدست می‌آید. از آنجا که شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی دو لایه‌ای است، دو ماتریس از اعداد تصادفی بین صفر و یک به ابعاد $J\times K\times h\times P$ و $I\times J\times h\times P$ که I، J، K و h و P به ترتیب تعداد تولیدکننده، تعداد توزیع‌کننده، تعداد مشتریان، تعداد محصول و تعداد دوره‌ها است، تولید می‌شود. سپس با ضرب کردن ظرفیت هر یک از مقاصد در سهم مربوط به خود از هر منبع در هر مرحله، یک جواب اولیه برای مسأله تولید می‌شود.

نحوه‌ی نمایش میزان کالاهای اختصاص یافته به هر نقطه‌ی توزیع، از مینیمم ظرفیت آن توزیع‌کننده برای کالاهای مختلف در تمام دوره‌ها و حاصل‌ضرب مجموع تمام کالاهایی که از هر توزیع‌کننده به مشتریان فرستاده می‌شود، بدست می‌آید.

۴-۲-۳ عملگرهای ژنتیک

عملگر تقاطع

در این تحقیق با توجه به اینکه کروموزوم‌های ارائه شده از نوع پیوسته هستند لذا از عملگر تقاطع محاسباتی[1] که برای فضاهای پیوسته مناسب است، استفاده می‌شود. این عملگر برای دو والد x1 و x2 یک جفت فرزند کاندید بصورت زیر تعیین می‌کند.

$$Y_1 = \alpha * X_1 + (1-\alpha) * X_2$$
$$Y_2 = \alpha * X_2 + (1-\alpha) * X_1$$
$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_n) \quad , \quad 0 \le \alpha \le 1 \qquad (۸)$$

α برداری است که از متغیرهای تصادفی از بازه $[0,1]$ بصورت یکنواخت گرفته شده است.

عملگر جهش

برای کروموزوم‌های پیوسته‌ی ارائه شده در این تحقیق از جهش غیر یکنواخت[2] استفاده شده است. در این جهش یک مقدار کوچک به مقدار فعلی ژن اضافه می‌شود. مقدار اضافه شده بطور تصادفی از یک توزیع گوسی با میانگین صفر و انحراف معیار معلوم بدست می‌آید. برای والدی مانند h و فرزند جهش‌یافته k روابط زیر برقرار است.

$$\Delta x \sim N(0, \delta^2)$$
$$h = h + \Delta h \sim N(0, \delta^2)$$
$$h = h + \delta N(0,1) \qquad (۹)$$

در معادله اخیر یک عدد نرمال استاندارد تولید می‌کنیم و سپس آنرا در δ ضرب و به مقدار h اضافه می‌کنیم.

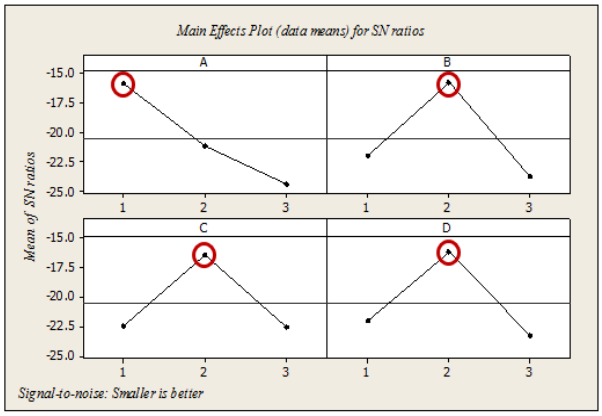
۴-۲-۴ پارامترهای الگوریتم ژنتیک چندهدفه

کیفیت پاسخ‌های بدست آمده و همچنین سرعت همگرایی در الگوریتم ژنتیک تا حد زیادی به پارامترهای آن بستگی دارد، بدین منظور برای تعیین سطوح بهینه پارامترها از روش تاگوچی استفاده می‌شود؛ بنابراین، برای پارامترهای اندازه‌ی جمعیت (nPop) ، حداکثر تکرار (MaxIt) ، احتمال تقاطع (pc)، احتمال جهش (pm) با ارجاع به مطالعات صورت گرفته گذشته، سطوح زیر در جدول (۵) تعیین شده است.

جدول (۵): پارامترهای الگوریتم ژنتیک چندهدفه

سطوح	NSGA-II			
	nPop	*MaxIt*	*pc*	*pm*
	جمعیت	تعداد تکرار	احتمال تقاطع	احتمال جهش
سطح ۱	۳۰	۱۰۰	۰/۸	۰/۲
سطح ۲	۵۰	۷۵	۰/۶	۰/۲
سطح ۳	۶۰	۷۰	۰/۷	۰/۳

سپس طرح آزمایشی ($L_9(3^4)$) برای بررسی تأثیر پارامترها ایجاد گردید. در ادامه نتایج حاصل از آزمایشات تاگوچی مطابق شکل زیر است.



شکل (۳): میانگین نسبت اغتشاشات حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای NSGA-II

در اکثر تحقیقات و مراجع، اولویت اول برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها، استفاده از نمودار *S/N* می‌باشد. برای تولید این نمودارها با توجه به اینکه مدل مورد بررسی مینیمم‌سازی است، از نسبت کوچکتر – بهتر استفاده شده است. درشکل (۳) هر چه مقدار میانگین بدست آمده برای پارامترها بیشتر باشد، مقدار آن پارامتر به بهترین مقدار خود نزدیک‌تر است و جواب‌های بهتری در اجرای الگوریتم ارائه می‌دهد؛ با این اوصاف جدول (۶) مقادیر ایده‌آل برای تنظیم پارامترهای ژنتیک چندهدفه را نشان می‌دهد.

[1] Arithmetic Crossover
[2] Non Uniform Mutation

جدول(۶): مقادیر ایده‌آل تنظیم شده برای الگوریتم NSGA-II

NSGA-II			
MaxIt	nPop	pc	pm
۱۰۰	۵۰	۰/۶	۰/۲

۴-۳ نتایج حل مسائل و اعتبارسنجی الگوریتم ارائه شده

به منظور اثبات کارایی الگوریتم ارائه شده، نتایج حل الگوریتم NSGA-II با حل بوسیله نرم‌افزار GAMS مقایسه می‌شوند. الگوریتم فراابتکاری مورد نظر در محیط مطلب کدنویسی شد و با استفاده از لپ‌تاب با پردازنده چهار هسته‌ای Intel Core i7 و ۴ گیگا بایت حافظه اجرا گردید. برای اعتبارسنجی، ۱۰ مسأله با ابعاد مختلف طراحی شده است. داده‌های مشترک مسائل طراحی شده مطابق جدول (۷) است.

جدول (۷): ساختار مسائل نمونه

	توضیح	نماد	محدوده
	چابکی تولیدکننده	a_{thp}	(۰/۱)
	چابکی توزیع‌کننده	b_{fhp}	(۰/۱)
	میزان پایبندی به ارزش‌ها توسط تولیدکننده	c_{fhp}	(۰/۱)
	میزان پایبندی به ارزش‌ها توسط توزیع‌کننده	v_{fhp}	(۰/۱)
	تقاضای مشتری	R_{khp}	(۱،۱۰۰)
	ظرفیت توزیع‌کننده	D_{fhp}	(۱۰۰۰،۵۰۰۰)
	ظرفیت تولیدکننده	Q_{thp}	(۱۰۰۰۰،۱۵۰۰۰)

در جدول (۸) به تفکیک هر تابع هدف، مقادیر مربوط به دو تابع هدف مذکور، زمان حل و مقدار خطای الگوریتم فراابتکاری نسبت به حل دقیق GAMS برای هر مسئله آورده شده است. همچنین مقدار انحراف یا اختلاف تابع هدف (جواب) هر الگوریتم پیشنهادی نسبت به حل دقیق از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

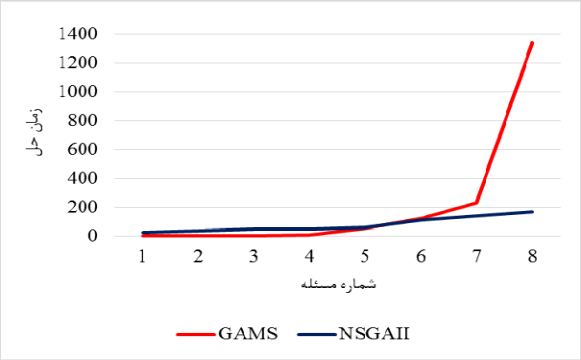
$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left| \frac{\text{جواب روش دقیق} - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری}}{\text{جواب روش دقیق}} \right| \times 100 \qquad (۱۰)$$

جدول (۸): نتایج حاصل از نرم‌افزار *GAMS* و الگوریتم فراابتکاری در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ

شماره مسأله	اندازه مسأله i / j / k / h / t	تابع هدف	*GAMS*		*NSGA-II*			متوسط درصد خطای *NSGA-II* در هر مسئله
			مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف	درصد خطا	زمان حل (ثانیه)	
۱	۳×۲×۵×۲×۲	F_1	۱۳۷۲/۷۴۱	۰/۱۱۲	۱۳۷۳/۱۰۰	۰/۰۲۶	۲۸/۱۹۷	۰/۰۳۵
		F_2	۱۵۰۳/۶۳۸		۱۵۰۸/۳۲۱	۰/۰۴۵		
۲	۵×۴×۱۰×۳×۳	F_1	۱۴۵۹/۷۵۷	۱/۱۲۲	۱۴۸۰/۲۲۵	۰/۰۳۱	۳۴/۸۶۱	۰/۰۸۲
		F_2	۱۵۶۴/۰۰۵		۱۵۶۶/۱۰۰	۰/۱۳۳		
۳	۸×۷×۲۵×۶×۴	F_1	۲۴۳۲/۳۳۸	۴/۱۶	۲۴۳۳/۸۷۳	۰/۰۶۳	۴۵/۶۷۱	۰/۰۷۲
		F_2	۲۶۱۴/۷۱۵		۲۶۱۶/۸۶۷	۰/۰۸۲		
۴	۱۲×۱۲×۳۵×۸×۸	F_1	۳۱۶۵/۹۴۱	۸/۲۲۵	۳۳۰۱/۲۳۴	۰/۴۲۷	۴۹/۶۵۲	۰/۳۲۰
		F_2	۳۳۹۸/۵۴۷		۳۴۷۱/۳۰۲	۰/۲۱۴		
۵	۲۰×۲۰×۵۰×۱۲×۱۰	F_1	۶۹۳۱/۴۳۱	۵۲/۳۸۴	۶۹۵۸/۳۲۱	۰/۲۱۴	۵۸/۱۲۱	۰/۱۸۸
		F_2	۷۱۹۸/۲۹۵		۷۲۱۰/۰۲۵	۰/۱۶۲		
۶	۷۰×۵۰×۱۰۰×۱۵×۱۰	F_1	۱۱۴۲۳/۷۶	۱۱۲/۳۲۳	۱۱۴۳۵/۲۳	۰/۱۰۰	۱۱۲/۰۲	۰/۱۰۸
		F_2	۱۲۸۶۲/۲۹		۱۲۸۷۷/۴۱	۰/۱۱۶		
۷	۱۰۰×۱۰۰×۱۵۰×۲۰×۱۰	F_1	۱۶۳۲۵/۶۴	۲۱۹/۸۱۷	۱۶۳۳۹/۳۲	۰/۰۸۳	۱۴۱/۵۲	۰/۰۶۶
		F_2	۱۸۹۸۱/۲۱		۱۸۹۹۰/۸۴	۰/۰۵۰		
۸	۲۰۰×۳۰۰×۲۰۰×۲۰×۱۰	F_1	۳۲۱۸۵/۱۲	۱۴۴۲/۲	۳۲۱۹۶/۹۸	۰/۰۳۶	۱۶۹/۲۶	۰/۰۲۷
		F_2	۳۳۹۵۹/۰۹		۳۳۹۶۵/۶۷	۰/۰۱۹		
۹	۵۰۰×۴۰۰×۶۰۰×۲۰×۱۰	F_1	...	...	۵۴۸۷۵/۳۴	...	۲۶۵/۳۲	...
		F_2	...		۵۶۷۶۱/۲۳	...		
میانگین خطای کل								۰/۱۱۲

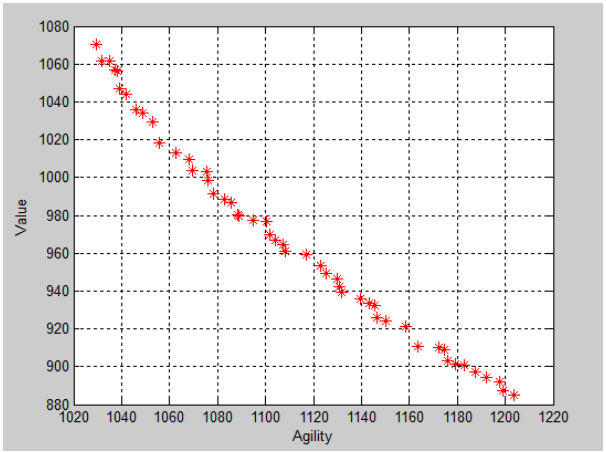
با توجه به جدول (۵)، متوسط درصد اختلاف جواب الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم دقیق نشان از نزدیک به هم بودن جواب‌ها است و اینکه اختلاف جواب‌ها کمتر از ۳/۵ درصد می‌باشد و این نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم‌های همگرا به جواب بهینه و کارا می‌باشند.

در جدول ۵ با افزایش ابعاد مسئله، مقدار توابع هدف چابکی و ارزش‌های محوری افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با گسترش ابعاد مسئله زمان حل دقیق بصورت نمایی افزایش می‌یابد، همانطور که مشاهده می‌شود این تغییر برای الگوریتم فراابتکاری مورد نظر روند منظمی دارد. در شکل (۴) زمان رسیدن به جواب در ۷ مسئله اول نشان داده شده است.



شکل (۴): نمایش مقایسه‌ای زمان حل مسائل نمونه با روش فراابتکاری و دقیق

پس از اجرای الگوریتم ژنتیک چندهدفه، سطحی از جبهه نامغلوب جواب نهایی بدست می‌آید که در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل(۵): جبهه نامغلوب جواب نهایی توسط الگوریتم ژنتیک چندهدفه

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مسئله انتخاب و ایجاد یک زنجیره تأمین چابک و ارزشی با استفاده از اعداد چابکی و ارزشی مورد بررسی قرار گرفته است. از مهم‌ترین مباحث در این زمینه بررسی چابکی و ارزش‌های محوری برای عناصر مهم زنجیره تأمین است که در این تحقیق با توجه به سه سطحی بودن زنجیره این مهم برای تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان در نظر گرفته شد. بر اساس دانش فعلی ما و بررسی ادبیات تحقیق، در نظر گرفتن اهداف چابکی مورد بررسی تحقیقات امروزی است و اضافه کردن ارزش‌های محوری به عنوان یک هدف به اهداف قبلی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله برای بررسی میزان چابکی و رعایت ارزش‌ها در زنجیره، یک مدل دو هدفه چابکی و ارزش‌های محوری ارائه شد. مدل مورد نظر توسط روش دقیق و فراابتکاری حل شده است. نتایج نشان داد که الگوریتم فراابتکاری، الگوریتمی کارا به جواب بهینه است و اختلاف جواب‌ها نشان می‌دهد که فراابتکاری مورد نظر، رویکردی مناسب برای حل مسائل در ابعاد بزرگ است؛ از طرفی این فراابتکاری در زمانی قابل قبول، جوابی نزدیک به بهینه را ارائه می‌دهد. به منظور تحقیقات آتی می‌توان شرایط عدم قطعیت، اهدافی مانند ناب، سبز و... را به مدل افزود. استفاده از سایر رویکردها همانند رویکردهای فازی، احتمالی، بهینه‌سازی استوار و... را می‌توان برای مدل در نظر گرفت.

منابع و مأخذ

[1] Arampantzi, C., Minis, L., (2017), **A New Model for Designing Sustainable Supply Chain Networks and Its Application to a Global Manufacturer**, Journal of Cleaner Production, pp. 1-60.

[2] Chavez, R., Yu, W., Jacobs, M. A., (2015), **The Effect of Internal Communication and Employee Satisfaction on Supply Chain Integration**, International Journal of Production Economics Manufacturing System & Design, pp. 1-39.

[3] Costantino, N., Dotoli, M., Falagario, M., Fanti, M. P., Mangini, A. M.,(2012), **A Model for Supply Management of Agile Manufacturing Supply Chains**, International Journal of Production Economics, 135(1), pp. 451-457.

[4] Dehaghi, M. R., Goodarzi, M., Arazi, Z. K., (2012), **The Effect of Spiritual Values on Employees' Organizational**, Procedia - Social and Behavioral Sciences, p. 159 – 166.

[5] Dubey, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, Th., Stephen, J. Ch., Shibin, T. K., Wamba, F. S., (2016, March), **Sustainable Supply Chain Management: Framework and Further Research Directions**, Journal of Cleaner Production, pp. 1-48. .

[6] Ismailian, Gh., Ramezani, R., (1394), **Modeling Supply Chain Agility for Companies Producing Car Parts With Interpretive Structural Modeling (ISM)**, Journal of Engineering Design, 1(4), pp. 95-125.

[7] Jafar-Nejad, A., Shahaie, B., (1386), **Organizational Agility and Agile Manufacturing,** Institute affectionate book publishing, The first edition.

[8] Kaynak, R., Sert, T., Sert, G., Akyuz, B., (2015), **Supply Chain Unethical Behaviors and Continuity of Relationship**, Int. J. Production Economics, p. 83–91.

[9] Khorasani, M., Kazemi, A., (1395), **A Multi-Phase Model to Evaluate and Select Suppliers in the Leagile Supply Chain Agile**. Industrial Management Studies, 14(40), pp. 111-136.

[10] Khorasani, H. J., Bashiri, M., (1394), **Multi-Objective Supply Chain Network Design with Agile Elements**, Master's thesis, Eyvanakey Institute of Higher Education, Tehran.

[11] Liu, S. C., Lee, S. B., (2003), **A Two-Phase Heuristic Method for the Multi-depot Location Routing Problem Taking Inventory Control Decisions into Consideration,** Int. J. Advanced Manufacturing Technology, 22(11), pp. 941-950.

[12] Molaee, M., (1393, autumn), **The Principles of Business Ethics and Business of Imam Ali (as) in Nahj al-Balaghe**, Journal of Nahj al-Balaghe, 2(7), pp. 1-17.

[13] Sajjadi, S. R., Cheraghi, S. H., (2011), **Multi-Products Location-**

Conference on Digital Object Identifier, 2, pp. 691-695.

Routing Problem Integrated With Inventory Under Stochastic Demand, Int. J. Industrial and System Engineering, 7, pp. 454-476

[14] Wang, C., Ma, Z., Li, H., (2008), **Stochastic Dynamic Location-Routing-Inventory Problem in Close-Loop Logistics System for Reusing End-of-use Products. Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA),** International