رویکردی استوار به طراحی شبکه‌های تأمین با تأکید بر عدم قطعیت‌های محیطی

محمد رضا خاجی (نویسنده مسئول)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، تهران، ایران
mrkhaji@gmail.com

رسول شفایی
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، تهران، ایران
shafaei@kntu.ac.ir

چکیده

در محیط های پویای کسب و کار امروز، همکاران زنجیره تأمین موفق کسانی هستند که دارای استراتژی های استوار و جامعی هستند که به آنها اجازه می دهد به محیط نامطئن و همرا با عدم قطعیت پاسخی مناسب دهند. عدم قطعیت ذاتی و ریسک های گوناگون در محیط اقتصادی یک شبکه زنجیره تأمین، می تواند تأثیراتی بر هریک از اعضای زنجیره تأمین داشته باشد. این مقاله یک مدل ریاضی جدید را برای یک شبکه زنجیره تأمین سه مرحله ای که شامل تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مصرف کنندگان می شود ارائه می دهد که عدم قطعیت برای تقاضا و هزینه های حمل و نقل را هم مورد توجه قرار می دهد. برای حل مدل یک رویکرد ترکیبی مشتمل بر الگوریتم های فراابتکاری[۱]، تکنیک های بهینه سازی استوار[۲]، و مفاهیم آماری[۳] مورد استفاده قرار گرفته و از برخی مثال‌های عددی[۴] برای ارزیابی عملکرد این رویکرد استفاده شده است.

کلید واژه:

طراحی شبکه زنجیره تأمین، عدم قطعیت، بهینه سازی استوار

مقدمه

تأکید بر قابلیت های کلیدی و اهمیت برونسپاری مطمئن برای بسیاری از شرکت ها به یک ضرورت تبدیل شده است. امروزه برونسپاری را می توان یک ویژگی کلیدی اقتصاد جهانی نامید(Gunasekaran and Kobu 2007). یک زنجیره تأمین سیستمی پیچیده، تصادفی[۵] و پویاست که که می تواند شامل صدها شرکت کننده باشد. همچنین می تواند به عنوان شبکه ای پیوسته از تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و خرده فروشان تعریف شود که مواد خام اولیه را به محصولات مورد نیاز مصرف کنندگان تبدیل می کند. شرکت ها و بخش های وابسته در این شبکه پیوسته برای بهینه سازی عملکرد جمعی خود نیازمند یک زنجیره تأمین یکپارچه کارا هستند (خاجی و شفایی ۲۰۱۰). معمولا زنجیره های تأمین، به مثابه شبکه های پیچیده از منظرهای ساختاری متفاوتی از قبیل دوتایی[۶]، سریالی[۷]، واگرا[۸] همگرا۹ و شبکه مورد مطالعه قرار می گیرند (Huang et al.,2003). موضوعات کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین را می توان به سه شاخه اصلی : ۱- طراحی زنجیره تأمین ۲- برنامه ریزی زنجیره تأمین و ۳- کنترل زنجیره تأمین تقسیم کرد (Shankar , et al ., 2013). طراحی شبکه زنجیره تأمین (SCN) یک مسأله استراتژیک زنجیره تأمین است که موضوعاتی را مورد بررسی قرار می دهد که اثرات بلند مدتی بر شرکت ها دارد؛ موضوعاتی مانند تصمیمات مربوط به تعداد، موقعیت و ظرفیت های

تسهیلات و همچنین جریان مواد خام در سراسر شبکه لجستیک (badri , et al., 2013). از آنجاییکه شبکه های زنجیره تأمین (SCN) برای سالیان متمادی مورد استفاده و بازنگری قرار می گیرند، برای طراحی شبکه هایی ارزش آفرین استوار۱۰ –یعنی شبکه هایی که بتوانند تحت هر شرایطی پایدار بوده و قابلیت خلق ارزش داشته باشند– می بایست سناریوهایی از آینده های محتمل را برای مواجهه با محیط متغیر و همراه با عدم قطعیت آینده مورد توجه قرار داد (Klibi & Martel , 2012). پیچیدگی شبکه های تأمین در دنیای واقعی سبب شده که تحقیقات و مطالعات مربوط به بهبود و توسعه طراحی زنجیره های تأمین به یک وظیفه تحقیقاتی مهم و اساسی تبدیل شود (Wau & O'Gradyb , 2004).

در طول چند سال گذشته فعالان عرصه کسب و کار پا به پای دانشگاهیان این حوزه توجه و تمرکز زیادی به وقفه های زنجیره تأمین و تأثیر آنها بر تصمیمات طراحان زنجیره تأمین، ایمنی و سلامت محصولات و بهبودی وضع مالی مبذول داشته اند (Blackhurst , et al., 2005). به هر حال هنگامیکه خطاهای غیر قابل پیش بینی به وقوع می پیوندد پیکره بندی زنجیره تأمین قابلیت انعطاف کمتری خواهد داشت (Surana et al., 2005). ریسک زنجیره تأمین را می توان اینگونه بیان کرد که "تا چه حد نتایج و پیامدهای زنجیره تأمین متغیر یا حساس به وقفه است و می تواند موجب ضرر و زیان زنجیره تأمین شود" (Zsidisin, et al.,2005). در نتیجه استراتژی های استوار سبب خواهد شد زنجیره تأمین قابلیت انعطاف بیشتری در مواجهه با وقفه ها داشته باشد (Wu,2011).

نوسانات تقاضا و وقفه هایی که در جریان تأمین مواد خام اولیه اتفاق می افتد دو نوع از عدم قطعیت های اصلی زنجیره تأمین است (Li, et al .,2011 ; jain , et al.,2009). تا به حال مدل های بهینه سازی مختلفی برای انتخاب همکاران زنجیره تأمین ارائه شده است که ریسک و عدم قطعیت را مورد توجه قرار می دهد. بسیاری از این مطالعات توزیع احتمالی از داده های تاریخی و مدل عدم قطعیت زنجیره تأمین (عدم قطعیت در تقاضا) را با استفاده از توزیع های احتمال به دست آمده از یک مدل تصمیم گیری پیشنهاد می دهند (Chen , & Paularj , 2004).

همانطور که مرور ادبیات نشان می دهد بین موضوعاتی مثل توجه به انواع مختلف ریسک های زنجیره تأمین ، مواجهه با عدم قطعیت هنگامیکه دانش نادرست و نا کافی درباره آن داریم، و به کارگیری تکنیک های استوار در برخورد با عدم قطعیت، شکاف بزرگی وجود دارد. همچنین ادبیات تحقیق نشان می دهد که الگوریتم های تکامل یافته در این رابطه خوب عمل کرده و در برخورد با مسایل پیچیده نتایج خوب و بهینه ای دارند.

در این تحقیق ابتدا مسأله شبکه زنجیره تأمین را به منظور بررسی فرضیات کاربردی تر و واقعی تری مانند عدم قطعیت عمیق و انواع جدید ریسک بیان کرده و سپس رویکردی با جواب ترکیبی و استوار برای مواجهه با عدم قطعیتی که در مسأله وجود دارد پیشنهاد می دهیم. رویکرد پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم های فراابتکاری است که با مفاهیم بهینه سازی استوار و روش های آماری ترکیب شده.

در ادامه در بخش مرور ادبیات به موضوعات مرتبط با تحقیق پرداخته شده. در بخش سوم مسأله تحقیق تشریح می شود و در بخش چهارم رویکرد پیشنهادی حل مسأله بیان و با یک مثال عددی دنبال می شود. بخش پنجم هم شامل مسیر تحقیق و بحث و نتیجه گیری است.

ادبیات تحقیق

امروزه توجه فزاینده ای به طراحی شبکه زنجیره تأمین (SCND)که یکی از مهمترین مسایل استراتژیک در حوزه زنجیره تأمین است می شود. شبکه زنجیره تأمین به عنوان یک عامل مهم در استراتژی و یک روش موثر ارزش آفرین برای مشتر یان و مصرف کنندگان شناخته می شود (خاجی و همکاران، ۲۰۰۹). ساختار یک SCND شامل مجموعه ای از تسهیلات است که به گونه ای سازماندهی شده اند تا مواد خام اولیه را کسب و تبدیل به محصولات نهایی کرده و سپس با توزیع محصولات تقاضای مصرف کنندگان را براورده سازند. در اینگونه مسایل برخی تصمیمات درباره تعداد، مکانیابی، ظرفیت و تکنولوژی تسهیلات اتخاذ می شود (رمضانی و همکاران ، ۲۰۱۳). این تصمیمات ممکن است تصمیمات بسیار دشوار و حساسی باشند که لازمه دستیابی به یک زنجیره تأمین کارا هستند و تأثیرات بلند مدتی بر آن خواهند داشت (Shnkar , et al., 2013).

از کارهای دیگری که در این زمینه انجام شده می توان به برخی تصمیمات درباره کانال های حمل و نقل و مقدار اقلامی که باید خریداری، مصرف، تولید، توزیع و حمل شود اشاره کرد. ازآنجاییکه فعالیت های عملیاتی و فنی بعد از اتخاذ تصمیمات استراتژیک اجرایی می شوند، پیکره بندی شبکه لجستیک یک محدودیت برای تصمیمات سطح عملیاتی و فنی به شمار خواهد آمد (رمضانی و همکاران ، ۲۰۱۳). لوکامی و مک کورمک منابع ریسک در زنجیره تأمین را به سه دسته تقسیم می کنند: عملیاتی[۱۱]، شبکه[۱۲] و خارجی[۱۳] (Lockamy & McCormack , 2010). تحقیقات اخیر مرتبط با این موضوع و مقایسه آن با تحقیق حاضر در جدول زیر آمده است.

جدول ۱- مرور ادبیات

No.	Year	Authors	Echelon	Product	Periods	Decision Variables	Objective	Risk	Solution Approach
1	2011	Cardona-Valdes et al	3	1	1	Distribution location – transportation mode – allocation	Cost - time	Demand	e-constraint L-shaped
2	2011	Pent et al.	3	1	1	Distribution location	Cost (Robust)	Disruption	P –robust GA
4	2012	Lundin	4F & 4R	1	1	Efficiencies of 3 scenarios	Cost	Transportation – facilities	Simulation
5	2013	Badriet al	4	Multiple	Multiple	Distribution location – Supplier selection – allocation	Net present value of cost	Dynamic Demand	Lagrangian relaxation

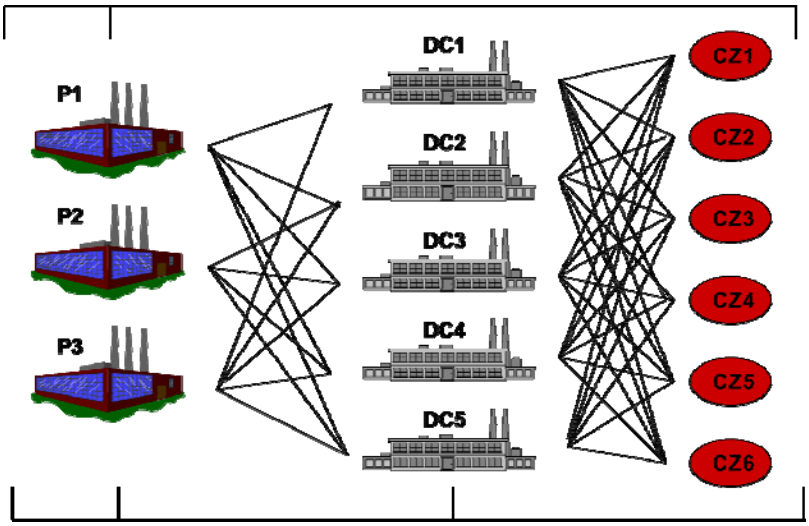
No.	Year	Authors	Echelon	Product	Periods	Decision Variables	Objective	Risk	Solution Approach
6	2013	Ramezaniet al.	3F & 2R	Multiple	1	Facilities location – allocation	Profit – responsiveness – quality	Demand – production cost	e-constraint
7	2013	Shankar et al.	4	1	Multiple	Facilities location – allocation	Cost - responsiveness	-	Multi objective hybrid particle swarm optimization
8	2013	Subramanian .et al	5F & 2R	1	1	Facilities location – allocation	Cost	Return ratio	SA
This paper			3	1	1	Facilities location – allocation	Cost (Robust)	Demand – Transportation cost	GSA + GA

مرور ادبیات فوق نشان می دهد که تحقیقات بسیار کمی درباره برخی موضوعات از قبیل: توجه به انواع مختلفی از ریسک های زنجیره تأمین، مواجهه با عدم قطعیت هنگامیکه اطلاعات ناکافی و ناقصی درباره آن وجود دارد، و به کارگیری تکنیک های استوار برای برخورد با عدم قطعیت در بهینه سازی شبکه زنجیره تأمین، تاکنون به انجام رسیده است. همانطور که جدول فوق نشان می دهد، هدف این تحقیق در مقایسه با سایر تحقیقات انجام شده، تنظیم و تجزیه و تحلیل یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین استراتژیک برای یک شبکه تأمین یک دوره ای[۱۴]، یک محصولی[۱۵] و سه رده ای[۱۶] با در نظر گرفتن عدم قطعیت های مرتبط با تقاضا و هزینه های حمل و نقل است. مدل پیشنهادی بر اساس یک رویکرد جدید که ترکیبی از الگوریتم های فراابتکاری و مفاهیم مربوط به بهینه سازی استوار و روش های آماری است، به حل مسأله می پردازد.

بیان مسأله

هدف از طراحی شبکه زنجیره تأمین برای هر صنعت یا کسب و کاری دستیابی به یک چارچوب مطلوب طراحی است که در برگیرنده عواملی از قبیل تولید، بازار، فرایند، تکنولوژی، هزینه، فاکتور ها و محیط خارجی و اثرات آنها با مد نظر قرار دادن سناریوهای طراحی شده برای به تصویر کشیدن آینده های محتمل کسب و کار مربوطه است. هیچگاه دو زنجیره تأمین نمی توانند طراحی مشابهی داشته باشند زیرا در طراحی شبکه، باید به عوامل و فاکتورهای زیادی که مختص کسب و کار مربوطه است توجه کرد مثلا اینکه کسب و کار مورد نظر در سطح ملی، منطقه ای و یا جهانی است و یا اینکه شیوه مکان یابی و استقرار تجیزات و تسهیلات از نظر دسترسی بهتر به منابع اولیه و مشتریان چگونه باید باشد. پس با در نظر گرفتن کلیه عوامل تأثیرگذار، هر شبکه تأمینی طراحی متفاوتی خواهد داشت. طراحی شبکه زنجیره تأمین نه تنها یک چارچوب عملیاتی برای کمک به مدیریت کسب و کار فراهم می کند بلکه با دیدی استراتژیک سعی دارد ساختاری را مورد بررسی قرار دهد که بتواند تأثیرات محیط خارجی، وابستگی بین فرایندها و ارزیابی دقیق فرصت هایی با سودآوری زیاد را مد نظر قرار دهد. به علاوه طراحی شبکه زنجیره تأمین کلیه هزینه ها و همبستگی های بین شبکه ای از قبیل تأمین[۱۷]، منبع یابی[۱۸]، تولید، حمل و نقل[۱۹]، تسهیلات و انبارداری[۲۰] را مورد ارزیابی قرار می

دهد که در نهایت منجر به تعیین استراتژی بهینه زنجیره تأمین می شود. در حین طراحی شبکه زنجیره تأمین در فاز اول مدیران باید درباره مکان و ظرفیت تخصیص یافته به تسهیلات تصمیم گیری کنند. تصمیمات مربوط به تعیین تقاضا می تواند بر مبنای افزایش بازارها و تغییرات هزینه ای، تغییر کند اما تصمیمات مربوط به مکان یابی باید بر مبنای تخصیص[۲۱] اتخاذ شود. این بدین معنی است که تعیین مکان تسهیلات بدون توجه به مسأله تخصیص وابسته به آن یک تصمیم بلند مدت مناسب نخواهد بود. این تحقیق مسأله مکان یابی را با مورد توجه قرار دادن برنامه های تخصیص[۲۲] و بر اساس عدم قطعیت مدل شده در مسأله حل می کند. همانطور که در شکل ۱ هم نشان داده شده تمرکز این تحقیق بر یک شبکه زنجیره تأمین عمومی با سه سطح متمایز است که در یک محیط همراه با عدم قطعیت قرار دارد. سطح اول جایی است که مصرف کننده در آن قرار دارد (CZ) یعنی جایی که محصولات به مشتریان فروخته می شوند. سطح دوم مربوط به مراکز توزیع می باشد (DC) یعنی جایی که محصولات را به دست مصرف کنندگان می رساند. و سطح سوم هم مربوط به تشکیلات ساخت و تولید است.



شکل ۱: ساختار زنجیره تأمین

برخی از موضوعات مهم مدل فوق به شرح زیر است:

- زنجیره تأمین تک محصولی و تک دوره ای
- تأمین مواد خام بدون هیچگونه محدودیت
- موقعیت مکان های بالقوه برای تشکیلات ساخت و تولید و مراکز توزیع شناخته شده است
- ظرفیت های تسهیلات متفاوت و ثابت است
- هزینه های حمل و نقل نا معلوم است
- هزینه انبارداری و تولید مشخص و ثابت است
- مکان تقاضا ثابت است اما مقدار آن نامشخص است
- هزینه های حمل و نقل مطابق با تغییرات قیمت سوخت در نوسان است
- تقاضای برآورد نشده[۲۳] مشتریان با هزینه های بالاتر از منابع بیرونی تأمین می شود

نماد های به کار رفته در این مدل شبکه به صورت زیر است:

۳-۱- مجموعه ها

مجموعه مکان های بالقوه برای برپایی تجهیزات ساخت	I
مجموعه مکان های بالقوه برای مراکز توزیع	J
مجموعه مشتریان	K

۳-۲- پارامترها

تقاضای مشتری k-ام	d_k
هزینه های ثابت برای برپایی کارخانه i-ام	f_i
هزینه های ثابت برای برپایی مرکز توزیع i-ام	g_j
هزینه های حمل و نقل یک واحد از تولیدات از کارخانه i-ام به مرکز توزیع j-ام	co_{ij}
هزینه های حمل و نقل یک واحد از تولیدات از مرکز توزیع j-ام به مشتری k-ام	cu_{jk}
هزینه تولید یک واحد از تولیدات در کارخانه i-ام	Mc_i
هزینه های فرایندی یک واحد از محصولات در مرکز j-ام	Pc_j
ماکزیمم ظرفیت کارخانه i-ام	P_i
ماکزیمم ظرفیت مرکز j-ام	Q_j

۳-۳- متغیرها

متغیر باینری؛ ۱ اگر کارخانه i-ام فعال باشد و ۰ در غیر این صورت	x_i
متغیر باینری؛ ۱ اگر مرکز j-ام فعال باشد و ۰ در غیر این صورت	y_j
مقدار محصول حمل شده از کارخانه i-ام به مرکز j-ام	q_{ij}
مقدار محصول حمل شده از مرکز j-ام به مشتری k-ام	u_{jk}

۳-٤- فرمول های ریاضی

فرمول نویسی ریاضی مسأله بیان شده به صورت زیر است:

تابع هدف که مینیمم کننده هزینه های برپایی کارخانه و مراکز توزیع و هزینه های حمل و نقل است به صورت زیر فرموله می شود:

$$(1)\min z = \sum_i f_i x_i + \sum_j g_j y_j + \sum_c \sum_i \sum_j (Co_{ij} + MC_i) q_{ij} + \sum_c \sum_j \sum_k (Cu_{jk} + PC_j) u_{jk}$$

تضمین اینکه تقاضای هر مشتری در هر سناریوی ممکن برآورده می شود به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$(2)\sum_j u_{jk} \geq d_k \qquad \forall k$$

محدودیت های ۳و ٤ نشان می دهند که مجموع محصولات حمل شده از هر کارخانه و مرکز توزیع بیش از ظرفیت آنها نخواهد بود:

$$(3)\sum_j q_{tj} \leq x_t P_t \qquad \forall t$$
$$(4)\sum_t u_{jk} \leq y_j Q_j \qquad \forall j$$

محدودیت ٥ نشان می دهد محصولات وارد شده به هر مرکز توزیع و خارج شده از آن باید برابر باشد:

$$(5)\sum_t q_{tj} = \sum_k u_{jk} \qquad \forall j$$

محدودیت ٦ نشان دهنده متغیرهای پیوسته نامنفی و محدودیت ۷ نشان دهنده متغیرهای باینری است:

$$(6)q_{tj}, u_{jk} \geq 0 \qquad \forall t,j,k$$
$$(7)x_t, y_j \in \{0,1\} \qquad \forall t,j$$

۳-۵- پارامترهای غیر قطعی

برای بررسی رفتار بازار باید تقاضای هر بازار را بر اساس شرایط اقتصادی محلی حاکم بر آن بازار مورد توجه قرار دهیم. مدیریت عدم قطعیت تقاضا توسط محققان زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است (Gupta & Maranas,2003). در بسیاری از این مطالعات سناریوهایی برای عدم قطعیت تقاضا در نظر گرفته شده. مرور ادبیات مرتبط با موضوع حاکی از دو ضعف و کاستی بزرگ و اساسی در این زمینه است.

- فرایند تعیین سناریوهای انتخاب شده از میان کلیه سناریوهای ممکن (Peng et al., 2012)
- سناریوهای ساده و محدود شده برای نوسانات تقاضا (Cordona-Valdes et al., 2011)

علاوه بر تقاضا، حمل و نقل نیز یک مولفه مهم در مدیریت زنجیره تأمین است (Tsao & Lu, 2012). میانگین ارزش هزینه های حمل و نقل و انبارداری در آمریکا سالانه نزدیک به نه درصد تولید ناخالص داخلی (GDP) را تشکیل می دهد (Wilson , 2005). با وجود این هزینه های غیرقابل رویت برون سپاری مانند افزایش هزینه های حمل و نقل در نهایت پنهان می ماند (Tang & Musa, 2011). از طرف دیگر بخش حمل و نقل یک مصرف کننده عمده انرژی های نفتی است. چنانکه هزینه های سوخت دچار نوسان شود، این تغییرات قیمت بر هزینه های شرکت های حمل و نقل تأثیر گذار است اما تا کنون این تأثر به طور مناسبی مورد بررسی قرار نگرفته است (Aggarwal , et al., 2012). از آنجاکه هزینه لجستیک نقش مهمی در طراحی زنجیره تأمین و تصمیمات مدیریت دارد، داخل کردن نوسانات هزینه حمل و نقل به مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین امری ضروری و مهم به نظر می رسد لذا تحقیق حاضر اولین پژوهش در طراحی شبکه زنجیره تأمین است که ریسک های مرتبط با هزینه حمل و نقل را با مد نظر قرار دادن نوسانات قیمت سوخت مورد بررسی قرار می دهد.

در این تحقیق شرایط اقتصادی آینده به صورت چهار سناریوی: بسیار مترقی، خوب، نسبتا خوب و بد در نظر گرفته شده است که احتمال وقوع آنها هم با نمادهای α_1، α_2 ، α_3 ، α_4 نشان داده شده است. هزینه های حمل و نقل و تقاضای بازار در صورت تحقق هر یک از شرایط چهارگانه فوق در قالب جدول زیر برآورد می شود. این روش با مدنظر قرار دادن عدم قطعیت، کاستی ها و

عیب های روش های قبل را که پیشتر به آن اشاره شد تا حدود زیادی برطرف خواهد کرد و مساله تحقیق را با شیوه ای واقع گرایانه تری مدل سازی می کند.

جدول ۲: پارامترهای غیر قطعی

احتمال وقوع هر یک از شرایط اقتصادی	هزینه های حمل و نقل	تقاضا				شرایط اقتصادی آینده
		k	...	۲	۱	
α_1	uniform	uniform	uniform	uniform	uniform	مترقی
α_2	uniform	uniform	uniform	uniform	uniform	خوب
α_3	uniform	uniform	uniform	uniform	uniform	نسبتا خوب
α_4	uniform	uniform	uniform	uniform	uniform	بد

رویکرد حل مسأله

بررسی مجدد مسأله تحقیق این حقیقت را آشکار می کند مسأله NP-hard است (Peng et al., 2011). بسیاری از مسایل بهینه سازی در دنیای واقعی NP-hard است که برای آنها الگوریتم های کارای قابل اثباتی وجود ندارد. حل اینگونه مسائل نیازمند شیوه هایی با مرتبه نمایی است. مفهوم فراابتکاری گزینه های مهمی را برای حل این دسته از مسایل فراهم می کند (Talbi, 2009).

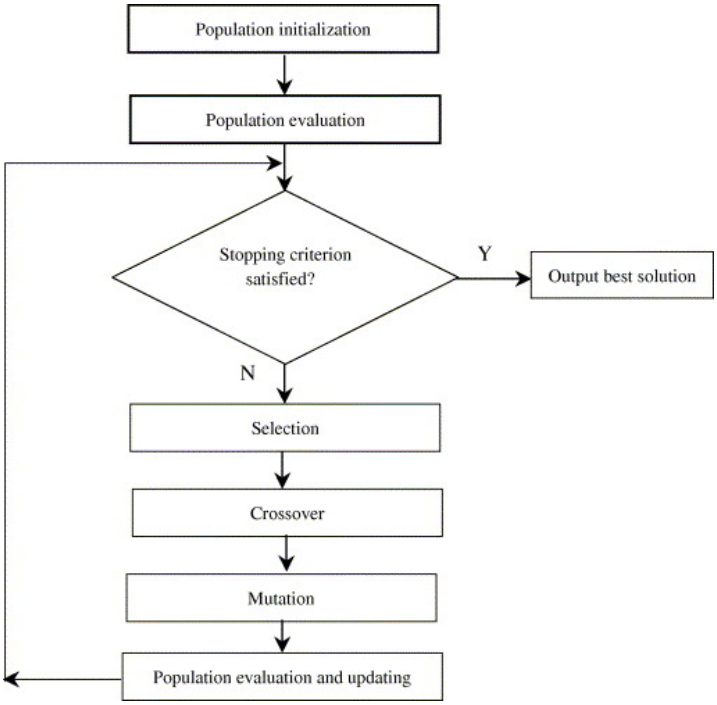
از طرف دیگر امروزه در زنجیره های تأمین بزرگ، وقفه ها حقیقت هایی انکار نشدنی هستند. مقابله با عدم قطعیت چه در بالا دست و چه در پایین دست یک زنجیره تأمین و محافظت از هر حلقه این زنجیره کار به مراتب دشواری است (Schmitt,2011).

سیستم هایی که بر اساس روش های کلاسیک بهینه سازی بنا شده اند به تغییرات و نوسانات کوچکی که پیشتر به آنها اشاره شد بسیار حساس هستند. طراحی موفق است که بتواند درجه بالاتری از استواری و پابرجایی را نسبت به اینگونه از تغییرات و نوسانات داشته باشد. بهینه سازی های کلاسیک به نوعی نقطه مقابل استواری به شمار می روند. بنابراین رویکرد پیشنهادی ما ترکیبی از دو مفهوم فراابتکاری و بهینه سازی استوار است. مفهوم نخست را با به کارگیری دو الگوریتم ژنتیک[۲۴] و الگوریتم جدیدتری با عنوان الگوریتم جستجوی گرانشی[۲۵]، مورد بررسی قرار می دهیم. مفهوم دوم را هم با ترکیب تکنیک های بهینه سازی استوار و روش های آماری مورد استفاده قرار می دهیم.

٤-۱- الگوریتم های ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) در سال ۱۹۷۰ و توسط هالند برای درک فرایند انطباق پذیری سیستم های طبیعی ایجاد شد(Holland , 1975). برخلاف دیگر تکنیک های جستجو که فقط ارائه دهنده یک جواب واحد هستند الگوریتم های ژنتیک یک مجموعه از جواب ها را ارائه می کنند که این مجموعه را جمعیت می نامیم و ویژگی خوب این روش این است که به تلاش نسبتا کمی برای دستیابی به هر یک از جواب ها نیازمند است. هر یک از اعضای این مجموعه و یا به عبارتی هر یک از افراد این جمعیت یک کروموزوم نامیده می شود که در واقع جوابی برای حل مسأله است. یک کروموزوم معمولا با یک رشته دودویی از اعداد صفر و یک کدگذاری می شود. مجموعه فوق طی یک فرایند از تکرار های پی در پی که تکامل[۲۶] نام دارد به هنگام[۲۷] می شود. جمعیت جدیدی که پس از هر تکرار شکل می گیرد در واقع نسلی جدید است. در هر نسل برازندگی[۲۸] هر فرد مورد ارزیابی قرار گرفته و تعدادی از آنها به

صورت تصادفی از جمعیت موجود و بر اساس میزان برازندگی شان انتخاب می شوند. همین افراد هستند که نسل بعد را شکل می دهند، به این ترتیب که با ادغام دو کروموزوم با عمل ترکیب و یا اصلاح یک کروموزوم با استفاده از عمل جهش به یک نسل جدید می رسیم که از این نسل جدید برای تکرار بعدی الگوریتم و رسیدن به جواب ها تکامل یافته تر استفاده می کنیم. این الگوریتم زمانی متوقف می شود که یا بیشترین تعداد نسل ها را تولید کرده باشیم، یا به سطح رضایت بخش و قابل قبولی از برازندگی برای جمعیت رسیده باشیم و یا جواب های مسأله به یک نقطه همگرا که در واقع بهترین جواب برای مسأله است رسیده باشیم. به طور کلی روش مشخصی برای دستیابی به تعداد قطعی نسل های تکامل یافته و یا به عبارتی تعداد تکرارهای الگوریتم وجود ندارد (Peng et al .,2011). خلاصه فرایند الگوریتم ژنتیک در شکل زیر نشان داده شده است.

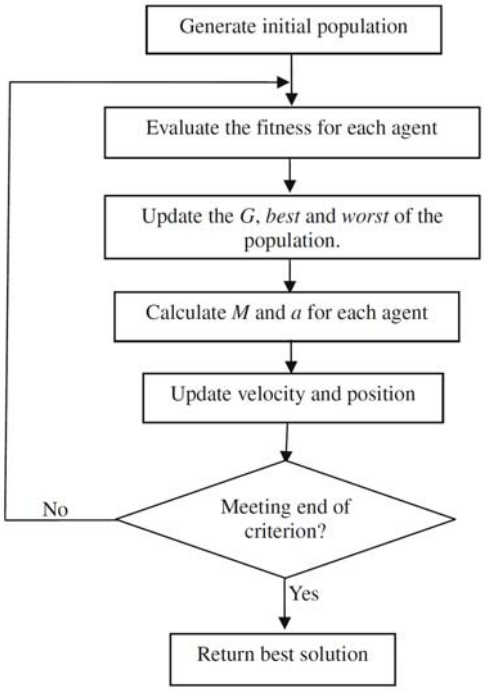


شکل ۲- نمودار الگوریتم ژنتیک

٤-۲- الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) که مبتنی بر قانون جاذبه نیوتن است بیان می دارد هر ذره، ذرات دیگر را با یک نیروی گرانشی جذب می کند. نیروی گرانشی بین دو جسم با جرم آن نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آنها نسبت عکس دارد. در این الگوریتم عوامل همان اهداف[۲۹] ما هستند که عملکرد این اهداف را به نوعی جرم این عوامل تعریف می کنیم. همه این اهداف با یک نیروی جاذبه یکدیگر را جذب می کنند و این نیرو سبب می شود که همه اهداف به سمت هدف های با جرم بزرگتر حرکت کنند. جرم های بزرگتر جواب های خوب و قابل قبول برای مسأله خواهند بود. در GSA هر جرم (عامل) چهار مشخصه دارد: موقعیتش، جرم فیزیکی[۳۰] اش، جرم گرانشی فعالش[۳۱]، و جرم گرانشی غیر فعالش[۳۲]. موقعیت هر عامل در واقع یک جواب مسأله است و جرم فیزیکی و گرانشی آن هم با استفاده از تابع برازش[۳۳] تعیین می شود. به بیان دیگر هر جرم نشان دهنده یک جواب است و الگوریتم هم با تنظیم مناسب و درست جرم های فیزیکی و گرانشی به انجام می رسد. با گذشت زمان انتظار خواهیم داشت که جرم ها به سمت

جرم بزرگتر جذب شوند. این جرم نشان دهنده جواب بهینه در فضای جستجو خواهد بود (راشدی و همکاران ، ۲۰۰۹). از این جهت که ساختار جواب در مدل ما دودویی است نسخه دودویی الگوریتم فوق را که الگوریتم جستجوی گرانشی دودویی (BGSA) نام دارد در رویکرد خود مورد استفاده قرار داده ایم (راشدی و همکاران ، ۲۰۱۰). خلاصه فرایند الگوریتم فوق به صورت شکل زیر خواهد بود.



شکل ۳- نمودار الگوریتم جستجوی گرانشی

٤-۳- ساختار حل مسأله

ساختار حل مسأله برای هر دو الگوریتم فوق الذکر یک رشته دودویی n-تایی از کروموزوم هاست که در شکل ٤ نشان داده شده است. i-امین رقم این رشته نشان می دهد که آیا i-امین کارخانه دایر است (۱) یا نه (۰). برای مثال فرض کنید که ٥ گزینه برای برپایی تجهیزات کارخانه و ٥ گزینه هم برای مراکز توزیع وجود دارد. حل مسأله فوق نشان می دهد که بدون توجه به مکان های بالقوه برای کارخانه ها، کارخانه های ۱ و ٤ انتخاب شده و باز هم بدون توجه به مکان های بالقوه برای مراکز توزیع، مکان های ۱و۲و۳و٤ به عنوان مراکز توزیع انتخاب شده است.

۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱

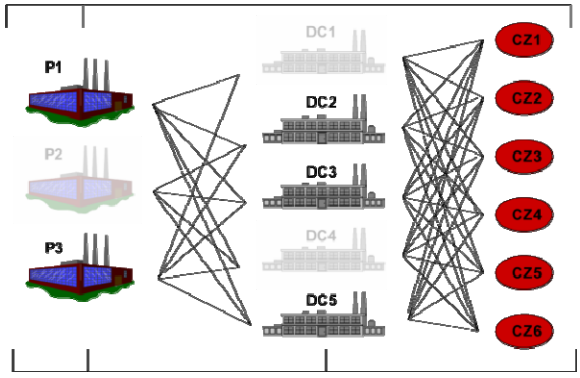
شکل ۴- ساختار حل مسأله

٤-٤- تابع برازش (فیتنس)

مطابق ساختار فوق جمعیت های اولیه به صورت تصادفی تولید می شود و قدم بعد محاسبه مقدار برازندگی هر جواب است. در این مرحله دومین مفهوم رویکرد مورد نظر یعنی استواری مورد توجه قرار می گیرد. مقدار برازندگی به این معنی است که جواب فعلی تا چه اندازه می تواند هدف ما را که در اینجا استوار بودن در مقابل عدم قطعیت های محیطی است محقق کند. به بیان دیگر مقدار برازندگی نشان دهنده میزان استواری هر یک از جواب ها در زمانی است که پارامترهای عدم قطعیت دارای نوسان هستند. استواری را می توان با شاخص های متفاوتی اندازه گیری کرد. مبنای بسیاری از این شاخص ها واریانس است (Chen & Wang , 2011). هرچه میزان واریانس یک جواب یعنی میزان نوسانات و تغییرات آن کمتر باشد قطعا جواب بهتری است. به علاوه در کنار مفهوم استواری، هزینه مورد انتظار برای طراحی هر شبکه تأمین هم باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین دو هدف در حل این گونه مسایل وجود خواهد داشت: میانگین هزینه و میزان واریانس جواب ها.

در طراحی شبکه هزینه هر جواب را می توان در قالب دو گروه بررسی کرد: گروه اول هزینه های ثابت برای استقرار تجهیزات و گروه دوم هزینه های متغیرشامل: هزینه های حمل و نقل، تولید، انبارداری، و هزینه های کمبود موجودی که همگی پس از تخصیص قابل محاسبه خواهند بود.

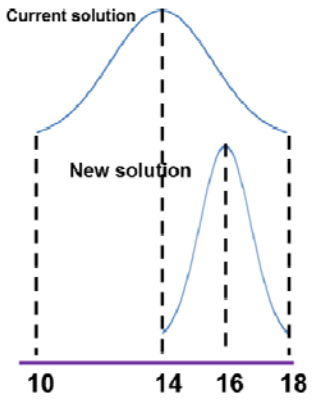
در این الگوریتم هر فرد از جمعیت در واقع یک طراحی ممکن برای شبکه است. برای مثال طراحی زیر که دارای کارخانه های شماره ۱و ۳ و مراکز توزیع شماره ۲و۳و۵ است می تواند یک فرد از این جمعیت باشد.



شکل ۵- نمونه

برای محاسبه برازندگی این فرد از جمعیت باید ابتدا هزینه ثابت استقرار تجهیزات و سپس هزینه های متغیر را که پس از حل مسأله تخصیص مشخص می شوند، محاسبه کرد.

بدین ترتیب مقادیر تصادفی برای پارامترهای غیر قطعی بر اساس سناریوهای تعریف شده ایجاد می شود و مسأله تبدیل به یک مسأله برنامه ریزی خطی می شود که به راحتی قابل حل است. با ۳۰ بار تکرار فرایند تولید مقادیر تصادفی برای پارامتر های غیر قطعی، ۳۰ مقدار مختلف برای هر یک از افراد جمعیت خواهیم داشت. برازندگی از طریق محاسبه میانگین و واریانس این ۳۰ مقدار که وابسته به هر جواب است، به دست می آید. با مقایسه جواب ها بر اساس مقدار میانگین و واریانسشان، در انتهای الگوریتم به جواب استوار خواهیم رسید. برای مثال در شکل زیر میانگین جواب فعلی کمتر از میانگین جواب جدید است اما واریانس جواب جدید خیلی کمتر از واریانس جواب فعلی است. نتیجتا در اینجا یک مسأله بهینه سازی چند هدفه خواهیم داشت که جواب های زیر جواب های بهینه پارتوی غالب آن نیستند.



شکل ۶- ساختار برازندگی

همانطور که در شکل ٦ نشان داده شده در هر الگوریتم سه تابع برازندگی مورد توجه قرار می گیرد:

- میانگین
- واریانس
- بایاس (ترکیبی از میانگین و واریانس)

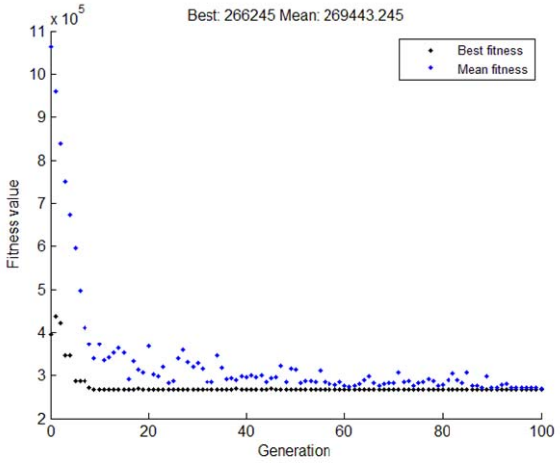
نتایج عددی

آنچه در این بخش بیان می شود در واقع آزمونی عملی برای ارزیابی مدل هایی است که در قسمت های قبل برای حل مسأله پیشنهاد داده ایم. معمولا مسایلی که برای ارزیابی و آزمون مدل ها به کار می روند در سه سطح طراحی می شوند: ۱- سطح کوچک (۵-۵-۵) که شامل ۵ مکان بالقوه برای استقرار تجهیزات، ۵ مرکز بالقوه برای توزیع، و ۵ مشتری ؛ ۲- سطح متوسط (۱۰-۱۰-۱۰) که شامل ۱۰ مکان بالقوه برای استقرار تجهیزات، ۱۰ مرکز بالقوه برای توزیع، و ۱۰ مشتری است؛ و ۳- سطح بزرگ (۱۵-۱۵-۱۵) که شامل ۱۵ مکان بالقوه برای برپایی تجهیزات، ۱۵ مرکز بالقوه برای توزیع و ۱۵ مشتری است. پارامترهای هر سطح به طور تصادفی و بر اساس جدول زیر انتخاب می شوند. جدول ۳ نمونه ای از بازه پارامترها را نشان می دهد.

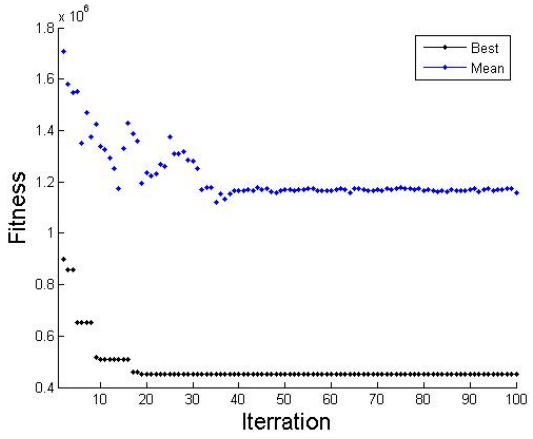
جدول۳- پارامترهای نمونه

d_k	*Uniform 150-200*
f_i	*Random 18000-26000*
g_j	*Random 18000-26000*
cv_{ij}	*Uniform 4-10*
cv_{jk}	*Uniform 4-10*
Me_i	*Random 3-5*
Pc_j	*Random 1.5-3*
P_i	*Random 500-700*
Q_j	*Random 180-300*

نمونه های فوق با استفاده از الگوریتم های GA و GSA روی رم دو هسته ای پردازنده ۲,۲٦ GHz و ۲ GHz. هر الگوریتم سه مرتبه و برای هر کدام از سه سطح فوق الذکر و با توابع هدف متفاوت اجرا می شود (میانگین، واریانس، بایاس). روند هر دو الگوریتم که به جواب بهینه رسیده است در شکل های زیر نشان داده شده است.



شکل ۷- روند الگوریتم ژنتیک



شکل ۸- روند الگوریتم جستجوی گرانشی

همانطور که در شکل های فوق نشان داده شده هر دو الگوریتم روندی منطقی برای رسیدن به جواب بهینه دارند اما الگوریتم جستجوی گرانشی با روش متنوع تری این جستجو را انجام می دهد. در هر اجرا میانگین و واریانس و زمان جواب بهینه محاسبه شده و در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج عددی

Test problem	GA			GSA			Criteria
Objective function	Mean	Variance	Bias	Mean	Variance	Bias	
5-5-5	153234	173597	153543	153256	213472	153523	Mean
	848	202	330	659	322	358	Variance
	8	5	8	8	5	8	Time
10-10-10	265715	385369	265902	266252	345644	266204	Mean
	693	267	510	1126	533	471	Variance
	86	141	83	84	33	69	Time
15-15-15	409354	1813350	417318	452784	1343207	457962	Mean
	22851	18092	1207	38549	23302	1006	Variance
	640	244	538	337	232	414	Time

از نتایج فوق نکات زیر قابل برداشت است:

- با مقایسه میانگین و واریانس و بایاس مشخص می شود که هر دو الگوریتم عملکرد خوبی داشته و از کارایی مورد انتظار برخوردارند و شاخص بایاس یک تابع برازندگی خوب برای استواری است.
- در نمونه های کوچک دو الگوریتم نتایج یکسانی دارند اما در مسایل با مقیاس بزرگ الگوریتم ژنتیک از نظر مقدار میانگین عملکرد بهتری دارد.
- با بزرگتر شدن مسایل، مرتبه محاسباتی الگوریتم جستجوی گرانشی خیلی بهتر از الگوریتم ژنتیک عمل می کند.
- الگوریتم ژنتیک از نظر شاخص واریانس عملکرد بهتری دارد.
- از نظر استواری، در الگوریتم جستجوی گرانشی میانگین جواب نهایی در نمونه های بزرگ ۱۰٪ بدتر از الگوریتم ژنتیک است اما واریانس آن ۲۰٪ بهتر است.

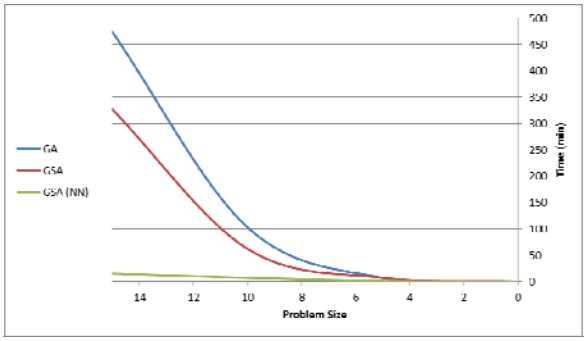
عملکرد الگوریتم ها در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول ۵- خلاصه عملکرد الگوریتم ها

اندازه مسأله	هزینه	واریانس	استواری	مرتبه
کوچک	-	GA	-	-
بزرگ	GA	GA	GSA	GSA

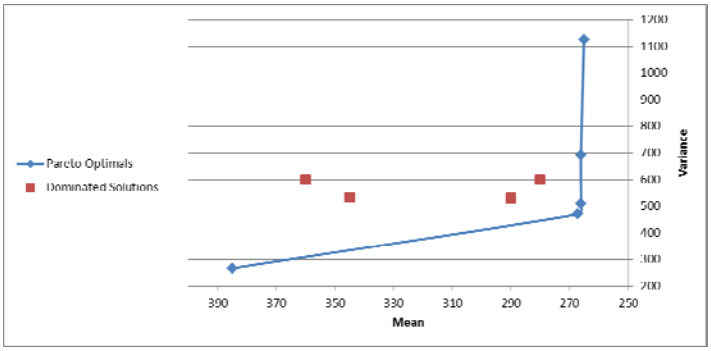
از نظر پیچیدگی مرتبه محاسباتی GSA عملکرد بهتری دارد اما مرتبه محاسباتی هر دو الگوریتم به صورت نمایی افزایش پیدا می کند. با در نظر گرفتن این موضوع به جای حل چند باره مسأله LP در الگوریتم، از رویکرد شبکه عصبی استفاده می کنیم. شبکه

عصبی با داده های به دست آمده از حل LP به صورت تصادفی و تحت شرایط مختلفی آموزش داده می شود. نتایج نشان می دهد که بدون از دست دادن بهینگی، مرتبه محاسباتی کاهش چشمگیری خواهد داشت این موضوع در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- پیچیدگی مرتبه محاسباتی

همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده، همه جواب های نهایی می توانند به عنوان جواب بهینه پارتو مورد ملاحظه قرار گیرند.



شکل ۱۰- جواب بهینه پارتو

نکات نه چندان مهم دیگری که می تواند مورد ملاحظه قرار گیرد سناریوهای متفاوتی است که توسط تصمیم گیرندگان انتخاب می شود. این جواب ها جواب هایی هستند که به تصمیم سازان در توسعه سیاست های مدیریتی در محیط متغیر کمک می کند.

نتیجه گیری

رقابت شدیدی که در بین کسب و کارها وجود دارد شرکت ها را مجبور کرده که کارایی خود را در بسیاری از ابعاد کسب و کار بهبود ببخشند. در طراحی یک زنجیره تأمین کارا آنچه از اهمیت زیادی برخوردار است تسهیل روند حرکت کالاها در زنجیره است. تصمیمات استراتژیک مرتبط با مکان یابی تجهیزات که منجر به سرمایه گذاری های گزاف و زمان بر می شود اثرات بلند مدتی بر زنجیره تأمین خواهد داشت. از طرف دیگر عدم قطعیت فزاینده آنها را وادار می کند منابع بیشتری را صرف پیش بینی تقاضا، موجودی و عدم قطعیت های داخلی کنند تا زنجیره تأمینشان قدرت دوام بیشتری داشته باشد. چنین عدم قطعیت فزاینده ای تنها برآمده از محیط های خارجی کسب و کار نیست و عامل قابل توجه دیگری که در بروز آن نقشی اساسی دارد پیچیدگی فزاینده در ساختار زنجیره تأمین و مکانیزم تغییری است که این ساختار در هر کسب و کاری ایجاد می کند. نوآوری های این مقاله را می توان به دو دسته تقسیم کرد: نوآوری های وابسته به مدل و نوآوری های وابسته به جواب. از نظر بهبود مدل، نوع جدیدی از عدم قطعیت که مرتبط با هزینه های حمل و نقل است به مدل اضافه شده و عدم قطعیت با شیوه ای واقع گرایانه تری مدل شده است. از

نظر بهبود جواب، رویکرد ترکیبی جدیدی پیشنهاد شده که در بر دارنده ترکیبی از مفاهیم آماری، فراابتکاری، و بهینه سازی استوار است. در پایان هم یک سری تجزیه و تحلیل های عددی برای ارزیابی عملکرد رویکرد طراحی شده آورده شده است.

منابع

Aggarwal, R., and Akhigbe, A., Mohanty, S. K., 2012. Oil price shocks and transportation firm asset prices. Energy Economics. 34:5, 1370-1379

Badri, H., Bashiri, M., Hejazi, T., H. (2013). Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method, Computers & Operations Research 40, 1143–1154.

Blackhurst, J., Craighead, C.W., Elkins, D., Handfield, R.B. 2005. An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply-chain disruptions. International Journal of Production Research 43(19), 4067-4081

Cardona-Valdés Y., Álvarez A., Ozdemir D. (2011). A bi-objective supply chain design problem with uncertainty. Transportation Research Part C 19, 821–832.

Chen, I.J., Paulraj, A., (2004). Understanding supply chain management: Critical research and a theoretical framework, International Journal of Production Research 42 (1) 131–163.

Gunasekaran, A. and Kobu, B., 2007. Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications. International Journal of Production Research, 45 (12), 2819–2840.

Gupta, A. &Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. Computers & Chemical Engineering, 27(8-9): 1219-1227.

Holland, J. H., Adaption in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

Huang, G. Q., Lau, J. S. K., &Mak, K. L. (2003). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: A review of the literature. International Journal of Production Research, 41(7), 1483–1517.

Jain, V., Wadhwa,S.,Deshmukh, S. G. (2009) "Enhancing flexibility in supply chains: Modelling random demands and non-stationary supply information", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 22, Issue 8, pages 812-822

Khaji, M. R.,Shafaei., R. (2010). "A System Dynamics Approach for Strategic Partnering in Supply Networks", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 24, Issue 2, 2011, Pages 106 – 125

Khaji, M. R., Shafaei, R., Mohebbi, Sh., Aghaie, A. (2009). "A System Dynamics Approach to Decision Process in Supply Chain", IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics, Chicago, IL, USA

Klibi, W., & Martel, A. (2012). Scenario-based Supply Chain Network risk modeling, European Journal of Operational Research 223 (2012) 644–658

Li, J., Chen, J., & Wang, S. (2011). Risk management of supply and cash flows in supply chains. New York: Springer

Lockamy, A., III, & McCormack, K. (2010). Analysing risks in supply networks to facilitate outsouring decisions. International Journal of Production Research, 48(2), 593–611.

Lundin, J. F., (2012). Redesigning a closed-loop supply chain exposed to risks. International Journal of Production Economics, 140(2), 596-603

Peng, P., L. V. Snyder, Z. Liu, and A. Lim. (2011). Design of reliable logistics networks with facility disruptions. Transportation Research-Part B 45(8), 1190-1211.

Ramezani, M., Bashiri, M., &Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. Applied Mathematical Modelling, 37(1-2), 328-344.

Rashedi E, Nezamabadi-pour H Saryazdi, S. (2009) GSA: a gravitational search algorithm. InfSci 179(13): 2232–2248

Rashedi E, Nezamabadi-pour H Saryazdi, S. (2010) BGSA: binary gravitational search algorithm. Nat Comput 9:727–745

Schmitt, A. J., (2011). Strategies for customer service level protection under multi-echelon supply chain disruption risk, Transportation Research Part B

Shankar, B. L., Basavarajappa, Chen, S. J., C. H., and Kadadevaramath, R. S. (2013) Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network - A multi-objective evolutionary approach. Expert Syst. Appl. 40(2):551-562

Subramaniana, P., Ramkumarb, N., Narendranb, T.T., Ganeshc, K. (2013). PRISM: PRIority based SiMulated annealing for a closed loop supply chain network design problem, Applied Soft Computing 13, 1121–1135

Surana, A., Kumara, S., Greaves, M., Raghavan, U.N., 2005. Supply-chain networks: A complex adaptive systems perspective. International Journal of Production Research 43, 4235.

Talbi, Metaheuristics : from design to implementation, Wiley, 2009.

Tang, O. and Musa, S.N., 2011. Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. International Journal of Production Economics 133, 25-34.

Tsao, Y. C., & Lu, J. C. (2012). A supply chain network design considering transportation cost discounts. Transportation Research PartE: Logistics and Transportation Review, 48(2), 401–414.

Wilson, R., 2005. 16th Annual State of Logistics Report. Sponsored by the Council of Supply Chain Management Professionals and Presented at the National Press Club, Washington, DC, June 27

Wu, Y. (2011) Linear robust models for international logistics and inventory problems under uncertainty. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 24, (4), 352-364.

Wu, T., O'Grady, P., (2004) "A Methodology for Improving the Design of a Supply Chain", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, June 2004, Vol. 17, No. 4, pp.281-293

Zsidisin, G.A., Melnyk, S.A., Ragatz, G.L. 2005. An institutional theory of business continuity planning for purchasing and supply chain management. International Journal of Production Research 43(16), 3401-3420.

پی نوشت

[1] *Meta heuristic*
[2] *Robust optimization*
[3] *Statistical concepts*
[4] *Numerical examples*
[5] *stochastic*
[6] *Dyadic*
[7] *Serial*
[8] *Divergent*
[9] *Convergent*
[10] *Robust value-creating networks*
[11] *operational*
[12] *network*
[13] *external*
[14] *Single period*
[15] *Single product*
[16] *Three-echelon*
[17] *acquisition*
[18] *sourcing*

[19] *transportation*
[20] *Facility & inventory*
[21] *allocation*
[22] *Allocation schemes*
[23] *unmet*
[24] *Genetic Algorithm*
[25] *Gravitational Search Algorithm*
[26] *evolution*
[27] *update*
[28] *fitness*
[29] *object*
[30] *Inertial mass*
[31] *Active gravitational mass*
[32] *Passive gravitational mass*
[33] *Fitness function*