



طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چند بخشی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با دو الگوریتم ابتکاری و فرا ابتکاری

مهدی بشیری^{۱*}، مهدیه شیری^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران

خلاصه

امروزه برای دستیابی به منافع رقابتی در بازار، طراحی شبکه زنجیره تأمین مناسب، امری ضروری است و از آن جایی که توجه به مسائل زیست محیطی و کاهش منابع خام افزایش یافته است، نیاز به بازیافت محصولات مصرفی دوجندان شده است. در این تحقیق به طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته با مراکز جمع‌آوری چند بخشی پرداخته می‌شود. اهداف اصلی این مسئله، کاهش هزینه‌ها، افزایش سود حاصل از کیفیت محصول بازیافتی و همچنین افزایش صرفه‌جویی هزینه‌های حاصل از بازیافت می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه در دنیای واقعی، داده‌های مربوط به شاخص‌های اثرگذار در مسائل، به صورت قطعی در دسترس نمی‌باشند بنابراین استفاده از رویکردهای غیرقطعی مناسب‌تر خواهد بود. در این مطالعه نیز، تقاضا و بازگشت، غیرقطعی و بر پایه سناریو (نامحدود) در نظر گرفته می‌شود و رویکرد استفاده شده برای حل این مسئله، الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه می‌باشد. با افزایش سایز مسئله، حل مسئله با روش حل ذکر شده، در سایزهای نسبتاً بزرگ غیرممکن است، بنابراین مسئله پیشنهادی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیب شده با تقریب میانگین نمونه حل می‌گردد. همچنین، اعتبارسنجی مدل پیشنهادی با استفاده از چند مثال عددی، نشان داده می‌شود. نتایج حاصل بیانگر این است که با بازیافت محصول و چند بخشی در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری، علاوه بر این که دولت به اهداف زیست محیطی خود می‌رسد، مشتری نیز محصولی مرغوب‌تر و با هزینه کمتر در دسترس خواهد داشت.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۳/۷/۷

پذیرش ۱۳۹۴/۳/۵

کلمات کلیدی:

شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته
مراکز جمع‌آوری چند بخشی
عدم قطعیت
الگوریتم ابتکاری تقریب
میانگین نمونه
الگوریتم ترکیبی ژنتیک

۱- مقدمه

بازیافت و تأمین مواد خام است. در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته جریان رفت و برگشت بر هم اثر می‌گذارند، تأثیر متقابل این دو می‌تواند متفاوت باشد که به نوع محصول بستگی دارد. به عنوان مثال، ظروف فلزی که قابل بازیافت هستند برای تولید مجدد درصد نسبتاً کمی مواد خام نیاز خواهند داشت و در برخی موارد محصول بدون تغییر و تنها با انجام عملیات خاصی بازگشت داده می‌شود.

در ادامه مروری اجمالی بر مطالعات اخیر موجود در زمینه مسئله زنجیره تأمین حلقه بسته انجام می‌گیرد. در این راستا یانگ و همکاران [۱]، یک مدل کلی لجستیک حلقه بسته شامل تأمین‌کنندگان مواد خام، تولیدکنندگان، خرده‌فروشان، مصرف‌کنندگان و مراکز بازیافت ارائه داده‌اند. با استفاده از نظریه

شبکه زنجیره تأمین تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل محصول‌ها از مرحله تأمین مواد اولیه تا تحویل به مشتری و نیز جریان‌های مرتبط با آن‌ها را شامل می‌شود. اگر بحث لجستیک معکوس در مسئله تعریف شود، محصولات مصرفی از مشتریان به تولیدکنندگان نیز ارسال می‌گردد. اگر در مدلی، جریان معکوس در کنار جریان مستقیم فرض شود، مدل را شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته می‌نامند. هدف اصلی این مدل، کاهش هزینه‌های حمل و نقل،

* نویسنده مسئول. مهدی بشیری

تلفن: ۵۱۲۱۲۰۹۲ - ۰۲۱؛ پست الکترونیک: bashiri@shahed.ac.ir

شبکه چند سطحی شامل مشتریان در بازار اول و دوم، مراکز جمع آوری، توزیع و اسقاط با ظرفیت محدود می‌باشد. در مقدار محصولات برگشتی، تقاضا برای محصولات بازبافتی و هزینه‌های حمل و نقل عدم قطعیت وجود دارد. مدل هر دو فعالیت‌های بازبافت و دفن را در نظر می‌گیرد. در پایان، برای ارزیابی روش بهینه سازی استوار جدید، جواب به دست آمده با جواب حاصل از حل مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط قطعی در مثال‌های واقعی مختلف مقایسه می‌شود.

حسن‌زاده و ژانگ [۵]، یک مدل شبکه زنجیره تأمین دو هدفه حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. شبکه لجستیک حلقه بسته در این مطالعه، یک شبکه شامل کارخانه‌های تولیدی، بازار تقاضا، مراکز جمع آوری و مرکز دفن می‌باشد. مدل شامل دو تابع هدف کمینه سازی هزینه‌ها و حداکثر سازی مواد اولیه سازگار با محیط زیست می‌باشد. در این مطالعه عدم قطعیت در تقاضا و بازگشت بر پایه سناریو می‌باشد و مسئله با دو روش تصمیم‌گیری ϵ -constraint و weighted sums حل شده است. در ادامه مطالعات انجام شده در زمینه شبکه زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت در جدول (۱)، آورده شده است.

تغییر نامعادلات حالت پایدار شبکه زنجیره تأمین فرموله و بهینه‌سازی شده است. پیشوایی و ترابی [۲] یک برنامه ریزی عدد صحیح مختلط احتمالی دو هدفه برای طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته معرفی کردند. در این مدل جریان معکوس در کنار جریان مستقیم در نظر گرفته شده است. این شبکه شامل کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع، مشتریان، مراکز جمع آوری، مراکز بازبافت و اسقاط و همچنین مراکزی که محصولات خراب را نگهداری و به مشتریان مواد خام می‌فروشند، می‌باشد. مدل شامل دو تابع هدف کمینه سازی هزینه‌ها و زمان تأخیر است. مدل بهینه‌سازی به صورت احتمالی می‌باشد که با یک روش فازی تعاملی حل می‌گردد.

وانگ و سو [۳]، یک مدل برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته که شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز جمع آوری و مراکز اسقاط می‌باشد، ارائه نمودند. تابع هدف این مدل کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه لجستیک می‌باشد. همچنین الگوریتم ژنتیک بر مبنای درخت پوشش برای این مدل توسعه داده شده است.

پیشوایی و همکاران [۴]، یک مدل بهینه سازی استوار برای در نظر گرفتن عدم قطعیت مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهاد داده‌اند. شبکه لجستیک حلقه بسته در این مقاله، یک

جدول (۱): مطالعات انجام شده در زمینه شبکه زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت

توضیح	تابع هدف			رویکرد			عدم قطعیت			نوع مسئله	سال انتشار	ویژگی‌های مدل نویسنده		
	مجموعه دیگر	کمترین محصول بازگشتی	صرفه جویی هزینه	هزینه رط	استوار	فازی	احتمالی	مجموعه دیگر	بازگشت				هزینه حمل و نقل	تقاضا
حل با روش برنامه ریزی امکانی فازی	*			*		*	*					پیشوایی و ترابی [۲]	زنجیره تأمین حلقه بسته	۲۰۱۰
الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه و شبیه‌سازی تیرید				*		*	*			*		لی و دنگ [۶]	طراحی شبکه لجستیک زنجیره تأمین	۲۰۱۱
برنامه ریزی آرمانی فازی	*			*		*	*					زندی و همکاران [۷]	طراحی زنجیره تأمین	۲۰۱۱
روش حل تعاملی	*			*		*	*					پیشوایی و همکاران [۸]	طراحی زنجیره تأمین سبز	۲۰۱۱
—				*		*	*			*		پاکسوی و همکاران [۹]	طراحی زنجیره تأمین	۲۰۱۲
الگوریتم انبوه سازی ذرات و ژنتیک				*		*	*			*		کاداد و امت و همکاران [۱۰]	زنجیره تأمین	۲۰۱۲
تعداد سناریو کم- احتمال هر سناریو مشخص	*					*	*			*		رضانی و همکاران [۱۱]	طراحی شبکه لجستیک زنجیره تأمین	۲۰۱۳
—				*		*	*			*		جوزدانی و همکاران [۱۲]	زنجیره تأمین	۲۰۱۳
قطعی کردن با الگوریتم جمینز [14]	*			*		*	*		*	*		بشیری و شرافتی [۱۳]	زنجیره تأمین حلقه بسته	۲۰۱۳
تعداد سناریو کم- احتمال هر سناریو مشخص	*			*		*	*		*	*		امین و ژانگ [۵]	زنجیره تأمین حلقه بسته	۲۰۱۳
—	*					*	*		*	*		زارعیان و همکاران [۱۵]	زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار	۲۰۱۴
الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه برای سایزهای کوچک و الگوریتم ترکیبی GA-SAA برای سایزهای بزرگ		*	*	*		*	*		*	*		مساله پیشنهادی	شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند بخشی	۲۰۱۴

۲- تعریف مسئله

۲-۱- زنجیره تأمین

یک زنجیره تأمین معمولی شامل همه مراحل است که به طور مستقیم و غیرمستقیم خواسته‌های مشتری را برآورده می‌سازد. تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل محصول‌ها از مرحله تأمین مواد اولیه تا تحویل به مشتری و نیز جریان‌های مرتبط با آن‌ها می‌شود. زنجیره تأمین تمام موارد مرتبط با شبکه تدارکات را در بر می‌گیرد. مراحل این شبکه مانند حلقه‌های زنجیر، هر مرحله با مرحله قبلی و بعدی در ارتباط است. البته بعضی از این حلقه‌ها می‌توانند از زنجیره حذف شوند و یا به آن‌ها حلقه‌ای اضافه شود. اگر هر یک از این حلقه‌ها شامل چندین شرکت باشند، زنجیره تأمین را شبکه زنجیره تأمین می‌نامند.

۲-۲- زنجیره تأمین حلقه بسته

اگر در مدلی از زنجیره تأمین، جهت جریان مواد رو به جلو و معکوس توأماً در نظر گرفته شود، مدل زنجیره تأمین حلقه بسته نامیده می‌شود. با اهمیت پیدا کردن مسائلی چون حفاظت از محیط زیست و استفاده کمتر از مواد خام، دولت تمایل به بازیافت محصول دارد تا پس از تغییراتی دوباره در اختیار کارخانجات تولیدی قرار گیرد.

از کاربردهای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در دنیای واقعی، می‌توان به سیستم تولید و بازیافت پلاستیک (پوهلن و فریس [۱۶])، کاغذپتی و همکاران [۱۷])، شیشه (توره و دیاز [۱۸])، مصالح ساختمانی (باروس و همکاران [۱۹])، تجهیزات الکترونیکی و الکترونیکی (ناگورنی و تویاسکی [۲۰]) و کربیک [۲۱])، نوشابه (زو و همکاران [۲۲])، فرش (بی‌هل و همکاران [۲۳])، باتری (فرناندس و همکاران [۲۴]) و کنان و همکاران [۲۵])، سرنگ (پیشوایی و رزمی [۲۶])، صنایع اتومبیل (اولوگو و ونگ [۲۷])، کامپیوتر (کاسامستوتی و همکاران [۲۸])، موبایل (یانگ و همکاران [۲۹]) و غیره اشاره کرد.

در این تحقیق یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با مراکز جمع‌آوری چند بخشی طراحی شده است که در شکل (۱)، تمام قسمت‌های آن نمایش داده شده است.

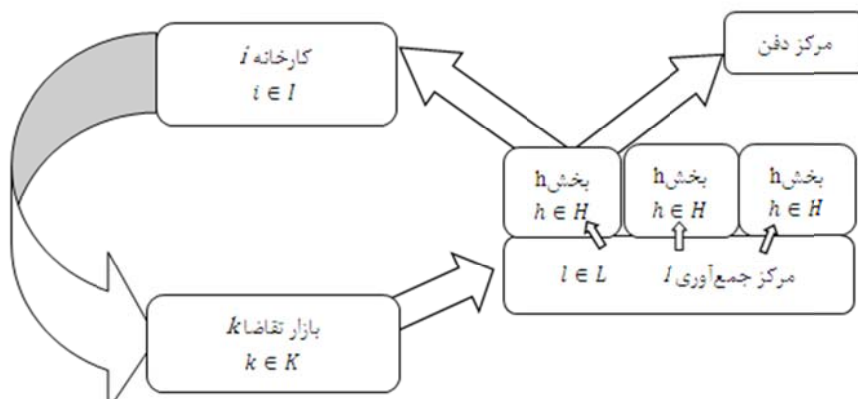
از جمله کاربردهای این مسئله می‌توان به صنعت خودرو، سیستم تولید و بازیافت پلاستیک، سیستم تولید و بازیافت ظروف فلزی اشاره نمود. به عنوان مثال در سیستم تولید و بازیافت ظروف فلزی، محصول تولیدی پس از تولید در کارخانه به بازار تقاضا فرستاده می‌شود، مشتری نیز ظروف موردنیاز خود را از بازار تقاضا دریافت می‌کند و پس از مدتی که از ظروف استفاده نمود، آن‌ها را به مراکز جمع‌آوری می‌فروشد، ظروف مصرفی با توجه به عمرخدمت به بخش‌های مربوطه فرستاده می‌شوند تا مورد بررسی و تعمیر (در صورت تشخیص) قرار گیرند، ظرفی که قابلیت بازیافت را داشته باشند به کارخانجات بازتولیدی فروخته می‌شوند و مابقی به مرکز دفن منتقل می‌گردند.

اکثر پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه عدم قطعیت را به صورت فازی در نظر گرفته‌اند. همچنین در مطالعاتی که پارامترها احتمالی است، تعداد سناریوها را محدود فرض کرده‌اند. از طرف دیگر بیشتر مطالعات هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها را دنبال کرده‌اند و به بهبود کیفیت محصول بازیافتی و صرفه‌جویی در هزینه‌های آن اشاره‌ای نکرده‌اند. مدل ارائه شده در این مطالعه توسعه یافته مدل ارائه شده حسن‌زاده و ژانگ [۵] می‌باشد که کمبودها موجود در پژوهش‌های گذشته را پوشش می‌دهد.

در مطالعه حاضر، طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته مد نظر است که شامل کارخانه‌های تولیدی، بازار تقاضا، مراکز جمع‌آوری چند بخشی و مرکز دفن می‌باشد. مدل ارائه شده با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها، افزایش کیفیت محصول بازیافتی و افزایش صرفه‌جویی هزینه‌های بازیافت می‌پردازد. چند بخشی بودن مراکز جمع‌آوری بدین معنی است که هر یک از مراکز جمع‌آوری با توجه به طول عمر خدمت محصول طبقه‌بندی شده‌اند، محصول با عمر خدمت کمتر و به نسبت سالم تر در طبقات بالاتر مرکز جمع‌آوری قرار می‌گیرد و پس از اعمال عملیات مورد نیاز و در صورت وجود قابلیت بازیافت به کارخانجات تولیدی فروخته می‌شوند و در غیر این صورت به مرکز دفن انتقال می‌یابد. در این مسئله دولت برای کاهش آسیب به محیط زیست و استفاده کمتر از منابع خام، بازیافت محصول مصرفی را بسیار اثرگذار می‌داند و همچنین با چند بخشی کردن مراکز جمع‌آوری و در نظر گرفتن هزینه‌های خرید و فروش محصول بازیافتی مشتری می‌تواند از محصولی مرغوب‌تر و با هزینه کمتر استفاده نماید. به همین دلیل مشتری برای رسیدن به اهداف خود، سعی می‌کند که محصول را پس از مدتی به مرکز جمع‌آوری بفروشد.

از طرف دیگر با توجه به اینکه در دنیای واقعی، داده‌های مربوط به شاخص‌های اثرگذار در مسائل، به صورت قطعی در دسترس نمی‌باشد بنابراین استفاده از رویکردهای احتمالی می‌تواند ماهیت غیر قطعی پارامترها را مد نظر قرار دهد. در این مطالعه نیز، تقاضا و بازگشت غیرقطعی و بر پایه سناریو (نامحدود) می‌باشد و رویکرد قابل استفاده برای حل این مسئله الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه (SAA) می‌باشد و با افزایش سایز مسئله این الگوریتم را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیب شده با تقریب میانگین نمونه پیاده‌سازی می‌کنیم.

در ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است که در بخش‌های ۲ تا ۶ به ترتیب به پیشینه، تعریف مسئله، بررسی مسئله در شرایط تقاضا و بازگشت احتمالی، بررسی عددی مسئله، تحلیل داده‌ها با استفاده از روش حل فرا ابتکاری پرداخته می‌شود و در انتها نتایج کلی و پیشنهادات آتی ارائه می‌گردد.



شکل (۱): یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با مراکز جمع‌آوری چند بخشی

m_{ilhj} : هزینه خرید محصول نوع l از بخش h مراکز جمع‌آوری l توسط کارخانه i

m_{lhkj} : هزینه خرید محصول نوع l از بازار تقاضای k توسط بخش h مراکز جمع‌آوری l

Cq : سود حاصل از هر سطح کیفیت محصول
 Mo : عدد بزرگ (تقریباً بینهایت).

متغیرهای تصمیم:

X_{ilkj} : تعداد محصول نوع l تولید شده توسط کارخانه i برای بازار تقاضای k

Y_{lhkj} : تعداد محصول بازگشتی نوع l از بازار تقاضای k به بخش h مراکز جمع‌آوری l

S_{lhij} : تعداد محصول بازگشتی نوع l از بخش h مراکز جمع‌آوری l به کارخانه i

T_{lhij} : تعداد محصول بازگشتی نوع l از بخش h مراکز جمع‌آوری l به مرکز دفن

Z_i : اگر کارخانه در مکان بالقوه i راه‌اندازی و مکان‌یابی شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.

W_{lh} : اگر بخش h مراکز جمع‌آوری l راه‌اندازی و مکان‌یابی شود برابر یک است، در غیر این صورت برابر صفر است.

EZ_{lhij} : سود حاصل از سطح کیفیت تمام محصولات بازگشتی نوع l فروخته شده توسط بخش h مراکز جمع‌آوری l

Zc : هزینه‌ها شامل هزینه‌های احداث و حمل‌ونقل

Zq : سود حاصل از سطح کیفیت محصول بازیافتی

Zb : صرفه‌جویی حاصل از بازیافت محصول

Z : مقدار کل تابع هدف با در نظر گرفتن پارامترهای قطعی

$$\min Z = Zc - Zq - Zb \quad (1)$$

$$s. t: Zc = \sum_i E_i Z_i + \sum_l \sum_h F_{lh} W_{lh} + \sum_i \sum_k \sum_j (A_j + t_{ik} B_j) X_{ilkj}$$

۳-۲- مدل‌سازی ریاضی

در این قسمت به تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم پرداخته می‌شود و در ادامه مدل ارائه شده که توسعه یافته مدل حسن‌زاده و ژانگ [5] می‌باشد، آورده شده است. مجموعه‌ها:

I : مجموعه کارخانجات تولیدی و بازتولیدی ($i \in I$)

J : مجموعه تولیدات ($j \in J$)

K : مجموعه بازارهای تقاضا ($k \in K$)

L : مجموعه مراکز جمع‌آوری بالقوه ($l \in L$)

H : مجموعه بخش‌های مراکز جمع‌آوری ($h \in H$)

پارامترها:

A_j : هزینه تولید محصول نوع l

B_j : هزینه حمل‌ونقل محصول نوع l بین کارخانه و بازار تقاضا

C_j : هزینه حمل‌ونقل محصول بازگشتی نوع l بین بازار تقاضا و مراکز جمع‌آوری

D_j : هزینه حمل‌ونقل محصول بازگشتی نوع l بین مراکز جمع‌آوری و کارخانه بازتولیدی

O_j : هزینه حمل‌ونقل محصول بازگشتی نوع l بین مراکز جمع‌آوری و مرکز دفن

E_i : هزینه احداث کارخانه i

F_{lh} : هزینه احداث بخش h مراکز جمع‌آوری l

H_j : هزینه دفن محصول نوع l

P_{ij} : ظرفیت کارخانه i برای محصول نوع l

Q_{lhj} : ظرفیت بخش h مراکز جمع‌آوری l برای محصول نوع l

t_{ik} : فاصله بین کارخانه i و بازار تقاضای k براساس فاصله اقلیدسی t_l : فاصله بین مراکز جمع‌آوری l و مرکز دفن

d_{lkj} : تقاضای محصول نوع l از بازار تقاضای k

r_{lkj} : تعداد محصول بازگشتی نوع l از بازار تقاضای k

α_j : حداقل درصد خرابی محصول نوع l

q_{lhj} : سطح کیفیت محصول نوع l در بخش h مراکز جمع‌آوری l

لام

بایستی حداکثر برابر ظرفیت بخشی باشد که از آن خارج شده است. محدودیت (۹) تا (۱۷) مشابه محدودیت‌های مطالعه حسن‌زاده و ژانگ [5] می‌باشد که در آن‌ها بخش‌های مراکز جمع‌آوری نیز در نظر گرفته شده است.

۳- بررسی مساله در شرایط تقاضا و بازگشت احتمالی

در دنیای واقعی، برخی پارامترها از جمله میزان تقاضا، زمان تحویل سفارش و ظرفیت تسهیلات به صورت قطعی در دسترس نمی‌باشند. بنابراین برای مدل‌سازی دقیق‌تر و شبیه‌سازی بهتر شرایط واقعی، استفاده از رویکردهای غیرقطعی ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق نیز، تقاضا و بازگشت غیرقطعی فرض شده است. در ادامه مدل‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت ارائه می‌گردد.

۳-۱- مدل‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت

مجموعه‌ها:

M : مجموعه نمونه‌های انتخابی از سناریوهای مربوط به تقاضا و بازگشت ($m \in M$)

U : مجموعه سناریوهای مربوط به تقاضا و بازگشت ($u \in U$) پارامترها:

d_{kju} : تقاضای محصول نوع j ام از بازار تقاضای k ام برای سناریو u ام

r_{kju} : تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بازار تقاضای k ام برای سناریو u ام

متغیرهای تصمیم:

X_{ikju} : تعداد محصول نوع j ام تولید شده توسط کارخانه i ام برای بازار تقاضای k ام از سناریو u ام

Y_{klhju} : تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بازار تقاضای k ام به بخش h ام مرکز جمع‌آوری l ام از سناریو u ام

S_{lhiju} : تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش h ام مرکز جمع‌آوری l ام به کارخانه i ام از سناریو u ام

T_{lhju} : تعداد محصول بازگشتی نوع j ام از بخش h ام مرکز جمع‌آوری l ام به مرکز دفن از سناریو u ام

EZ_{luhj} : سود حاصل از سطح کیفیت تمام محصولات بازگشتی نوع j ام فروخته شده توسط بخش h ام مرکز جمع‌آوری l ام در شرایط عدم قطعیت

Zcu : هزینه‌ها شامل هزینه‌های احداث و حمل‌ونقل در شرایط عدم قطعیت

Zqu : سود حاصل از سطح کیفیت محصول بازیافتی در شرایط عدم قطعیت

Zbu : صرفه‌جویی حاصل از بازیافت محصول در شرایط عدم قطعیت

Zu : مقدار کل تابع هدف در شرایط تقاضا و بازگشت احتمالی

$$\min Zu = Zcu - Zqu - Zbu \quad (18)$$

s. t: (16) and

$$\begin{aligned} & + \sum_k \sum_l \sum_h \sum_j C_j t_{kl} Y_{klhj} \\ & + \sum_l \sum_h \sum_i \sum_j D_j t_{li} S_{lhij} \\ & + \sum_l \sum_h \sum_j (H_j + O_j t_l) T_{lhj} \end{aligned} \quad (2)$$

$$Zq = \sum_l \sum_h \sum_j EZ_{lhj} \quad (3)$$

$$EZ_{lhj} = \sum_i Cq \cdot q_{lhj} S_{lhij} \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (4)$$

$$EZ_{lhj} \geq Mo(W_{lh} - 1) \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (5)$$

$$EZ_{lhj} \leq Mo(W_{lh}) \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Zb = & \sum_l \sum_h \sum_i \sum_j n_{lhi} S_{lhi} \\ & - \sum_k \sum_l \sum_h \sum_j m_{lkh} Y_{klhj} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sum_i S_{lhi} \leq Q_{lhj} \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (8)$$

$$\sum_i X_{ikj} \geq d_{kj} \quad \forall k \in K, j \in J \quad (9)$$

$$\sum_l \sum_h \sum_j S_{lhi} + \sum_{k \in I} \sum_j X_{ikj} \leq Z_i \sum_j p_{ij} \quad \forall i \quad (10)$$

$$\sum_l \sum_h Y_{klhj} \leq \sum_i X_{ikj} \quad \forall k \in K, j \in J \quad (11)$$

$$\alpha_j \sum_k Y_{klhj} \leq T_{lhj} \quad \forall l \in L, j \in J, h \in H \quad (12)$$

$$\sum_k \sum_j Y_{klhj} \leq W_{lh} \sum_j Q_{lhj} \quad \forall l \in L, h \in H \quad (13)$$

$$\sum_k Y_{klhj} = \sum_i S_{lhi} + T_{lhj} \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (14)$$

$$\sum_l \sum_h Y_{klhj} = r_{kj} \quad \forall k \in K, j \in J \quad (15)$$

$$Z_i, W_{lh} \in \{0,1\} \quad \forall l \in L, h \in H, i \in I \quad (16)$$

$$X_{ikj}, Y_{klhj}, S_{lhi}, T_{lhj} \geq 0 \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (17)$$

رابطه (۱)، به طور همزمان کمینه‌سازی هزینه‌های احداث و هزینه‌های حمل‌ونقل، بیشینه‌سازی سود حاصل از کیفیت محصول بازیافتی و بیشینه‌سازی صرفه‌جویی حاصل از بازیافت محصول را در نظر می‌گیرد. روابط (۲) تا (۷) مربوط به تابع هدف مذکور می‌باشند. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که تعداد محصول بازگشتی به کارخانه

مرحله دوم با توجه به برآمدی که اتفاق افتاده است واکنش ما متفاوت خواهد بود. بنابراین در مرحله اول تصمیم‌ها مبتنی بر کمینه‌سازی امید ریاضی شاخص مورد نظر همانند هزینه و در مرحله دوم مبتنی بر وضعیت پیشامدها و تصمیم گرفته شده در مرحله اول هستند. در حقیقت تصمیم در مرحله اول بدون اطلاعات دقیقی از مرحله بعد گرفته می‌شود و پس از وقوع پیشامدهای تصادفی تصمیم‌های مرحله دوم که تصمیم اصلاحی نامیده می‌شوند، اتخاذ می‌گردند.

۳-۲- الگوریتم تقریب میانگین نمونه برای حل مسئله زنجیره

تأمین حلقه بسته با تقاضا و میزان بازگشت احتمالی

یکی از دلایل پیچیدگی حل مسائل احتمالی، ارزیابی مقدار امید ریاضی به کار رفته در تابع هدف مسائل است. در شرایطی که برای پارامتر احتمالی تعدادی سناریو در نظر گرفته شود، می‌توان جهت تعیین این مقدار از مجموع حاصل ضرب احتمالات هر سناریو در مقدار بهینه بدست آمده از مرحله دوم مدل به ازای سناریو مورد نظر استفاده نمود (رویکردی که حسن‌زاده و ژانگ [۵] در مطالعه خود استفاده کردند)، در صورتی که تعداد سناریوها نامحدود باشد دیگر نمی‌توان از این روش استفاده کرد. حتی اگر تعداد سناریوها محدود نیز باشد، افزایش تعداد سناریوها به شدت در پیچیدگی مسئله مؤثر و دارای رشد نمایی است. ضمن آنکه در دنیای واقعی معمولاً تعداد سناریوها نامحدود می‌باشند. در این شرایط از الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه می‌توان استفاده نمود. این رویکرد مبتنی بر بحث نمونه‌گیری در آمار استنتاجی جهت بررسی جامعه‌های بزرگ است. در این رویکرد از بین تمام سناریوها نمونه‌ای انتخاب و از میانگین آن جهت برآورد میانگین کل استفاده می‌گردد. گام‌های الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه به صورت مختصر در شکل (۲) نمایش داده شده است.

۴- بررسی مثال‌های عددی مسئله

در این تحقیق، یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه شده است. این مدل شامل کارخانجات، بازار تقاضا، مراکز جمع‌آوری چند بخشی و مرکز دفن می‌باشد و با اهداف کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت محصول بازیافتی و افزایش صرفه‌جویی حاصل از بازیافت در نظر گرفته شده است. این مسئله با الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه حل می‌گردد و اعتبار مدل با استفاده از دو مثال عددی سنجیده و نتایج از طریق نرم‌افزار گمس محاسبه می‌شود. تحلیل حساسیت مدل ارائه شده در چند حالت و برای دو مثال مورد بررسی قرار می‌گیرد که در شکل (۳) دسته‌بندی تحلیل‌های حساسیت انجام شده در مقاله نمایش داده می‌شود. در قسمت‌های بعدی این بخش، هریک از این تحلیل‌ها انجام شده و

$$Zcu = \sum_i E_i Z_i + \sum_l \sum_h F_{lh} W_{lh} \quad (19)$$

$$+ \sum_u \sum_i \sum_k \sum_j (A_j + t_{ik} B_j) X_{ikju} \\ + \sum_u \sum_k \sum_l \sum_h \sum_j C_j t_{kl} Y_{klhju} \\ + \sum_u \sum_l \sum_h \sum_i \sum_j D_j t_{li} S_{lhiju} \\ + \sum_u \sum_l \sum_h \sum_j (H_j + O_j t_i) T_{lhju}$$

$$Zqu = \sum_l \sum_h \sum_j E Z u_{lhj} \quad (20)$$

$$E Z u_{lhj} = \sum_u \sum_i C q \cdot q_{lhj} S_{lhiju} \quad (21)$$

$$\forall l \in L, h \in H, j \in J \\ E Z u_{lhj} \geq Mo(W_{lh} - 1) \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (22)$$

$$E Z u_{lhj} \leq Mo(W_{lh}) \quad \forall l \in L, h \in H, j \in J \quad (23)$$

$$Zbu = \sum_u \sum_l \sum_h \sum_i \sum_j n_{ilhj} S_{lhiju} \quad (24)$$

$$- \sum_u \sum_k \sum_l \sum_h \sum_j m_{lhkj} y_{klhju}$$

$$\sum_i S_{lhiju} \leq Q_{lhj} \quad (25)$$

$$\forall l \in L, h \in H, j \in J, u \in U$$

$$\sum_i X_{ikju} \geq d_{kju} \quad (26)$$

$$\forall k \in K, j \in J, u \in U \\ \sum_l \sum_h \sum_j S_{lhiju} + \sum_k \sum_j X_{ikju} \leq Z_i \sum_j p_{ij} \quad (27)$$

$$\forall i \in I, u \in U$$

$$\sum_l \sum_h Y_{klhju} \leq \sum_i X_{ikju} \quad (28)$$

$$\forall k \in K, j \in J, u \in U$$

$$\alpha_j \sum_k Y_{klhju} \leq T_{lhju} \quad (29)$$

$$\forall l \in L, j \in J, h \in H, u \in U$$

$$\sum_k \sum_j Y_{klhju} \leq W_{lh} \sum_j Q_{lhj} \quad (30)$$

$$\forall l \in L, h \in H, u \in U$$

$$\sum_k Y_{klhju} = \sum_i S_{lhiju} + T_{lhju} \quad (31)$$

$$\forall l \in L, h \in H, j \in J, u \in U$$

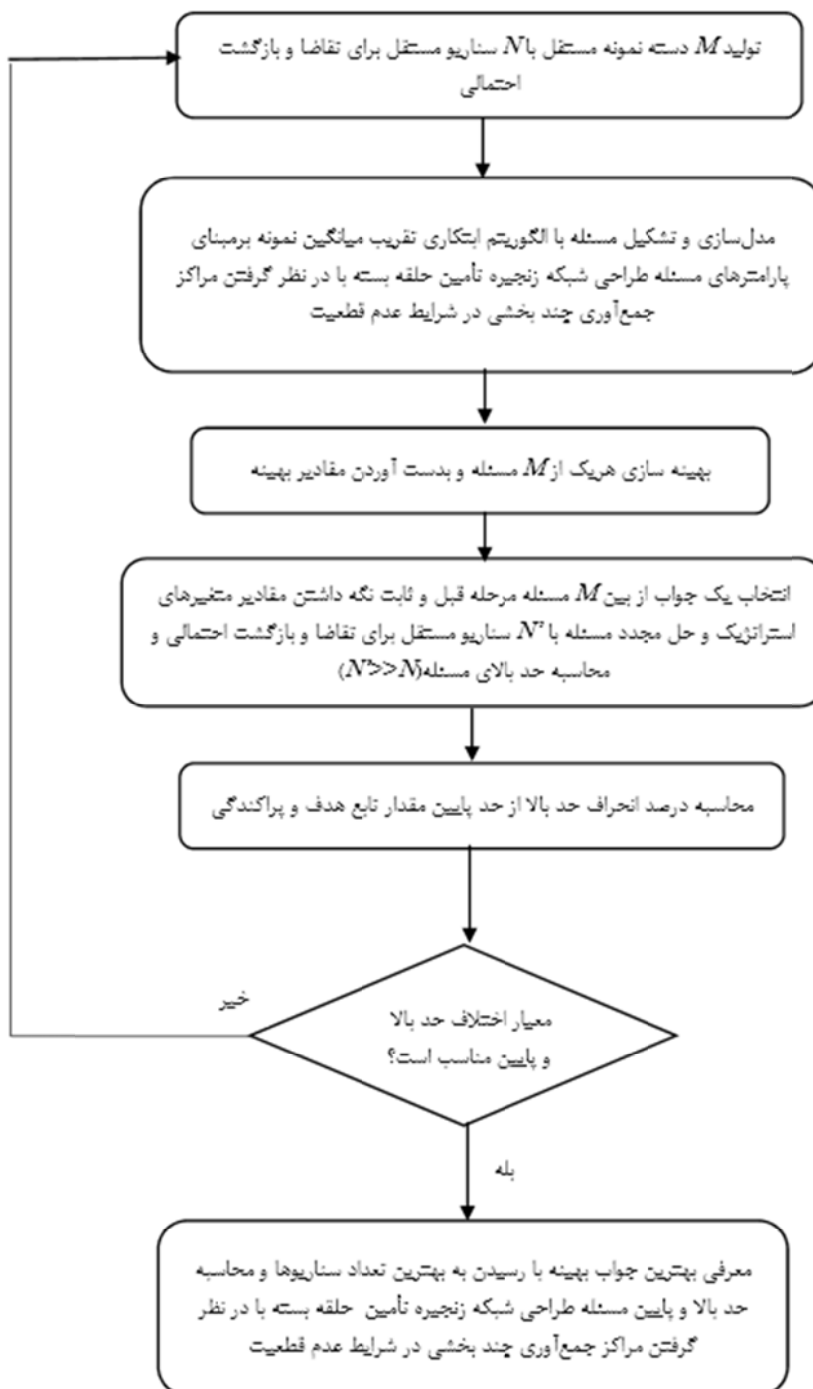
$$\sum_l \sum_h Y_{klhju} = r_{kju} \quad (32)$$

$$\forall k \in K, j \in J, u \in U$$

$$X_{ikju} Y_{klhju}, S_{lhiju}, T_{lhju} \geq 0 \quad (33)$$

$$\forall l \in L, h \in H, j \in J, u \in U$$

رویکرد احتمالی این مسئله به صورت برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای می‌باشد که در مرحله اول، تصمیم قطعی است ولی در



شکل (۲): فلوچارت الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه برای مساله مورد بررسی

شده است. نتایج به روشنی نشان می‌دهد که چند بخشی در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری علاوه بر اینکه باعث کاهش هزینه‌ها (هزینه احداث) می‌گردد، همزمان نیز کیفیت محصول بازیافتی بهبود و صرفه‌جویی حاصل از بازیافت افزایش می‌یابد. همچنین کاهش هزینه‌ها منطقی به نظر می‌رسد زیرا به جای احداث و راه‌اندازی تمام قسمت‌های یک مرکز جمع‌آوری تنها بخش‌هایی از آن که مورد نیاز است احداث می‌گردد. بهبود کیفیت نیز به این دلیل می‌باشد که برای هر یک از بخش‌ها سطح کیفیتی در نظر گرفته شده به طوری که بخشی که در طبقه بالاتر قرار می‌گیرد، نسبت به طبقات دیگر

نتایج بدست آمده از آن‌ها بیان شده است. در مثال اول تعداد کارخانه‌ها ۴ و این تعداد در مثال دوم ۳ و مقادیر تمامی پارامترها در دو مثال کاملاً متفاوت فرض شده است.

۴-۱- تحلیل حساسیت بر روی مدل‌سازی مسئله

۴-۱-۱- تحلیل حساسیت روی مدل‌سازی مسئله با در نظر

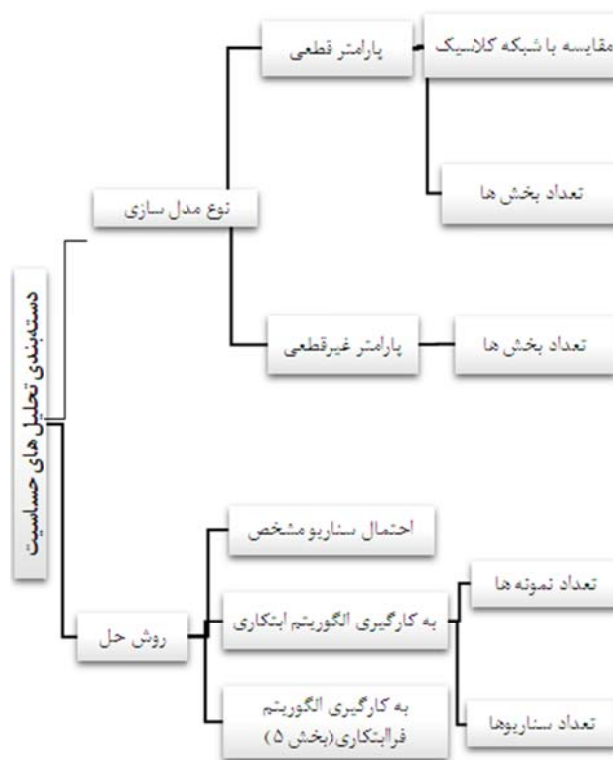
گرفتن پارامترهای قطعی

در این بخش ابتدا تحلیل حساسیت روی مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن پارامترهای قطعی انجام شده و نتایج آن در جدول (۲) آورده

است و نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. نتایج بیانگر این است که با افزایش تعداد بخش‌ها، مقادیر تابع هدف بهبود می‌یابند. در صورتی که تعداد بخش‌ها از حدی بیشتر شود، هزینه‌های احداث بخش‌ها بیشتر از هزینه احداث مراکز جمع‌آوری در حالت کلاسیک می‌شود تا جایی که افزایش هزینه‌ها بر سود کیفیت غلبه می‌کند. در شکل (۴) اثر افزایش تعداد بخش‌های مراکز جمع‌آوری بر روی تابع هدف نشان داده شده است. بنابراین نتیجه بررسی این تحقیق حاکی از آن است که چند بخشی در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری باعث بهبود شبکه حلقه بسته می‌شود لیکن تعداد بخش‌ها یک متغیر تصمیم در شبکه خواهد بود.



شکل (۴): اثر افزایش تعداد بخش‌های مراکز جمع‌آوری بر روی تابع هدف دو مثال ارائه شده



شکل (۳): دسته‌بندی تحلیل‌های حساسیت انجام شده در مقاله

سطح کیفیت بالاتری دارد و در مقایسه با حالتی که برای تمام محصولات بازگشتی تنها یک سطح کیفیت در نظر گرفته می‌شود، بهبود بیشتری خواهد داشت. از طرف دیگر این مدل با در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری چند بخشی و پارامترهای M_{ihkj} و N_{ihij} ، مشتری را به تحویل سریعتر محصول خود تشویق می‌کند با این کار درصد محصولات خراب کمتر و در عوض محصولات بیشتری به چرخه تولید فرستاده می‌شوند و در هزینه‌های بازیافت محصول مصرفی صرفه‌جویی می‌شود.

در قسمت بعدی تغییرات تابع هدف نسبت به افزایش تعداد بخش‌های مراکز جمع‌آوری در شرایط قطعی مورد بررسی قرار گرفته

جدول (۲): نتایج حاصل از مقایسه شبکه کلاسیک با مدل شبکه پیشنهادی در شرایط قطعی

مثال	مدل	Z	Zc	Zq	Zb
۱	شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته کلاسیک	۱۴۸۲۸۷۳۰	۲۱۰۶۹۷۶۰	۶۱۴۹۱۶۷	۹۱۸۶۱
	مسئله پیشنهادی چند بخشی	۱۳۰۴۷۶۵۰	۲۰۹۷۶۲۷۰	۷۸۲۷۶۳۱	۱۰۰۹۸۱
۲	شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته کلاسیک	۱۶۰۰۵۹۷۰	۱۶۰۹۲۳۷۰	۲۱۰۶۰۰	۱۲۴۲۰۰
	مسئله پیشنهادی چند بخشی	۱۵۹۱۲۷۸۰	۱۶۰۱۵۳۸۰	۲۹۱۶۰۰	۱۸۹۰۰۰

جدول (۳): نتایج حاصل از تغییرات تابع هدف نسبت به افزایش تعداد بخش‌های مراکز جمع‌آوری ($|H|$) در شرایط قطعی

مثال	$ H $	Z	Zc	Zq	Zb
۱	۱	۱۴۸۲۸۷۳۰	۲۱۰۶۹۷۶۰	۶۱۴۹۱۶۷	۹۱۸۶۱
	۳	۱۳۰۴۷۶۵۰	۲۰۹۷۶۲۷۰	۷۸۲۷۶۳۱	۱۰۰۹۸۱
	۵	۹۶۵۱۸۳۱	۱۹۶۰۰۰۴۰	۹۸۱۰۸۹۰	۱۳۷۳۱۴
	۷	۶۶۲۷۶۲۱	۱۸۲۱۲۸۳۰	۱۱۴۳۶۰۸۰	۱۴۹۱۲۳
	۹	۱۰۰۰۱۱۷۰	۱۹۳۳۶۵۷۰	۹۲۱۳۸۷۶	۱۲۱۵۳۱
۲	۱	۱۶۰۰۵۹۷۰	۱۶۰۹۲۳۷۰	۲۱۰۶۰۰	۱۲۴۲۰۰
	۳	۱۵۹۱۲۷۸۰	۱۶۰۱۵۳۸۰	۲۹۱۶۰۰	۱۸۹۰۰۰
	۵	۱۴۰۱۹۴۰۰	۱۴۷۱۰۶۰۰	۴۰۵۰۰۰	۲۸۶۲۰۰
	۷	۱۴۹۸۳۱۸۰	۱۵۶۶۰۳۸۰	۳۹۳۸۰۰	۲۸۳۴۰۰
	۹	۱۵۷۲۵۱۸۰	۱۶۲۶۰۳۸۰	۳۲۹۰۰۰	۲۰۶۲۰۰

هزینه‌های احداث بخش‌ها بیشتر از هزینه احداث مراکز جمع‌آوری در حالت کلاسیک می‌گردد تا جایی که افزایش هزینه‌ها بر سود کیفیت غلبه می‌کند. این حد در دو مثال ارائه شده در جدول (۴) با علامت(*) مشخص شده است. بعبارت دیگر نتایج حالت قطعی در حالت غیر قطعی نیز صادق می‌باشد.

جدول (۴): نتایج حاصل از آنالیز حساسیت بر روی تعداد

مثال	$ H $	مقدار تابع هدف (حد بالا)	حد پایین درصد انحراف
۱	۳	۲۰۲۶۶۰۴۰	۲۰۰۸۳۶۹۰
	۴	۱۹۹۵۴۹۳۰	۱۹۸۱۳۸۶۰
	۵	۲۰۲۸۷۳۶۰	۲۰۱۷۱۸۵۰
	۷*	۱۹۵۹۰۶۵۶	۱۹۴۸۷۹۹۰
	۱۰	۱۹۶۲۲۱۰۰	۱۹۳۰۳۲۳۰
۲	۳	۲۴۰۱۰۸۱۰	۲۳۴۶۲۶۹۰
	۴	۲۲۶۵۱۸۸۰	۲۲۳۰۵۷۴۰
	۵*	۲۲۷۲۹۰۲۰	۲۲۵۵۸۲۸۰
	۷	۲۳۰۸۲۸۱۰	۲۲۶۷۹۵۶۰
	۱۰	۲۵۰۴۹۸۲۰	۲۴۵۶۷۷۹۰

۴-۲- تحلیل حساسیت بر روی روش حل

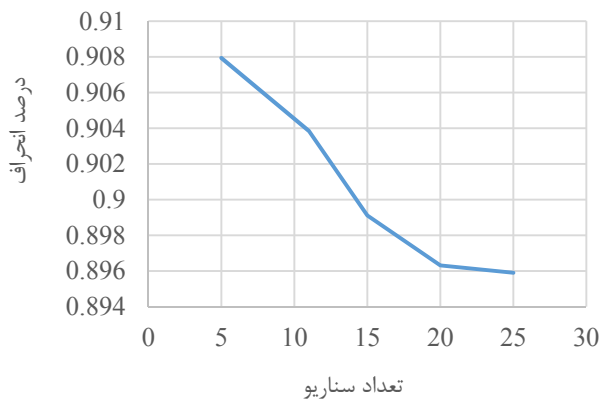
در این قسمت به بررسی نتایج به‌دست آمده از دو رویکرد احتمالی پرداخته می‌شود، رویکرد اول بر پایه سناریو که تعداد سناریوها محدود و با احتمال مشخص می‌باشند (رویکردی که در مطالعه حسن‌زاده و ژانگ [۵] استفاده شد). در این رویکرد جهت تعیین امید ریاضی از مجموع حاصل ضرب احتمالات هر سناریو در مقدار بهینه بدست آمده از مرحله دوم به ازای هر سناریو استفاده می‌شود. روش دوم، الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه می‌باشد که بر پایه سناریو با تعداد نامحدود سناریوها و با احتمال نامشخص می‌باشند.

برای مقایسه این دو روش لازم است مراحلی که در الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه انجام می‌شود بر روی رویکرد اول نیز اجرا گردد، اما باید به این نکته توجه شود که رویکرد اول تنها در مواقعی که تعداد سناریوها محدود و با احتمال مشخص می‌باشند قابل استفاده است حال بایستی رویکرد دوم نیز با همین تعداد سناریو حل گردد تا نتایج این دو رویکرد قابل مقایسه باشند. نتایج بدست آمده (با در نظر گرفتن ۵ سناریو و ۳ دسته نمونه) در جدول (۵) آورده شده است.

۴-۱-۲- تحلیل حساسیت روی مدل‌سازی مسئله با در نظر

گرفتن تقاضا و بازگشت احتمالی

در این بخش، تحلیل حساسیت بر روی افزایش تعداد بخش‌های مراکز جمع‌آوری در شرایط عدم قطعیت انجام شده و نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. نتایج حاصل از الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه نشان می‌دهد که با افزایش تعداد بخش‌های مراکز جمع‌آوری، درصد انحراف حد بالا و پایین کاهش می‌یابد. همانطور که در حالت قطعی بودن پارامترهای مسئله به این نتیجه رسیدیم که با افزایش تعداد بخش‌ها، هزینه‌ها کاهش، کیفیت محصول باز یافتی و صرفه جویی حاصل از باز یافت افزایش می‌یابد. اما این روند تا پایان بدین صورت نمی‌باشد و اگر تعداد بخش‌ها از حدی بیشتر شود،



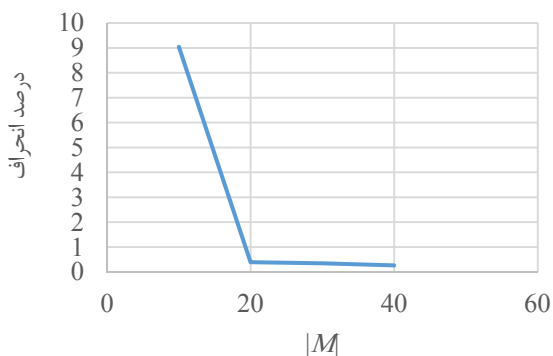
شکل (۵): اثر افزایش تعداد سناریوها بر درصد انحراف

از طرف دیگر در این روش با افزایش دفعات نمونه گیری نیز درصد انحراف بین دو حد کاهش می یابد که نتایج بدست آمده نتایج پیشین مطالعه کانتراس و همکاران [۳۰] را تأیید می کند. با این ترتیب می توان به صحت عملکرد روش حل پیشنهادی پی برد. نتایج در جدول (۷) و نمودار تغییرات در شکل (۶) نشان داده شده است.

جدول (۷): نتایج حاصل از افزایش دفعات نمونه گیری (M) در

الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه (مثال دوم)

تعداد کل سناریوها	M	مقدار تابع هدف (حد بالا)	حد پایین	درصد انحراف
۱۰	۲۱۸۶۲۰۸۰	۲۰۰۴۹۳۰۰	۹۰۴	
۲۰	۲۰۰۶۰۹۸	۱۹۹۸۳۸۴۰	۰۳۸	
۳۰	۲۰۰۵۴۰۵۰	۱۹۴۶۷۱۱۰	۰۳۴	
۴۰	۱۹۹۵۸۷۷۰	۱۹۹۰۷۴۸۰	۰۲۵	



شکل (۶): اثر افزایش دفعات نمونه گیری بر درصد انحراف

جدول (۵): نتایج حاصل از دو رویکرد احتمالی

مثال	رویکرد	رویکرد اول	رویکرد دوم
۱	مقادیر	۳۳۷۰۱۵۰۰	۲۰۲۶۶۰۴۰
	حد بالا	۳۳۰۳۷۲۰۰	۲۰۰۸۳۶۹۰
۲	مقادیر	۳۶۷۵۶۲۶۹	۲۴۰۱۰۸۱۰
	حد بالا	۳۵۸۸۲۰۸۳	۲۳۴۶۲۶۹۰
۳	مقادیر	۲۰۱	۰۹۰
	درصد انحراف حد بالا از پایین	۲.۴۳	۲.۳۳

نتایج بدست آمده نشان می دهد که الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه علاوه بر اینکه محدودیتی در تعداد سناریوها ایجاد نمی کند، در مقایسه با رویکرد اول، روشی مناسب تر است زیرا درصد انحراف حد بالا از حد پایین (Gap) کمتری دارد.

در مرحله بعد تحلیل حساسیت بر روی تعداد سناریوهای الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه صورت گرفته است که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده و همچنین در شکل (۵) اثر افزایش تعداد سناریوها بر درصد انحراف حد بالا از پایین نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش تعداد سناریوها، درصد انحراف حد بالا از حد پایین کمتر می شود تا حدی که تقریباً به صفر می رسد در این حالت حد بالا و پایین به هم نزدیک می شوند و جواب بهینه بدست می آید که نتایج به دست آمده نتایج پیشین مطالعه کانتراس و همکاران [۳۰] را تأیید می کند. با این ترتیب می توان به صحت عملکرد روش حل پیشنهادی پی برد.

جدول (۶): نتایج حاصل از افزایش تعداد سناریوهای (N)

الگوریتم ابتکاری (مثال ۱)

N	مقدار تابع هدف (حد بالا)	حد پایین	درصد انحراف
۵	۲۰۲۶۶۰۴۰	۲۰۰۸۳۶۹۰	۰.۹۰۷
۱۱	۲۰۲۴۴۹۸۰	۲۰۰۶۳۶۳۵	۰.۹۰۳
۱۵	۲۰۲۲۶۴۶۶	۲۰۰۴۶۲۲۸	۰.۸۹۹
۲۰	۲۰۱۸۹۴۳۸	۲۰۰۱۰۰۸۶	۰.۸۹۶
۲۵	۲۰۱۱۴۴۶۰	۱۹۹۶۸۹۵۸	۰.۸۹۵

ای که از الگوریتم فرا ابتکاری بدست می‌آید، به میزان ۰.۰۲۹ با نتیجه‌ی روش دقیق انحراف دارد که این مقدار در سایزهای بزرگ قابل چشم‌پوشی است.

جدول (۸): نتایج حاصل از دو روش دقیق و الگوریتم فرا

ابتکاری طراحی شده برای سایز کوچک مسئله

الگوریتم	مقدار تابع هدف (حد بالا)	حد پایین	درصد انحراف
تقریب میانگین نمونه	۲۰۸۹۷۱۰۰	۱۹۹۲۷۸۶۰	۴.۸۶
ترکیبی ژنتیک	۲۱۵۲۴۰۰۰	۱۹۹۶۶۶۵۳	۷.۷۹

نتایج حل مسئله پیشنهادی در سایزهای متوسط و بزرگ استفاده از روش حل فرا ابتکاری در جدول (۹) آورده شده است:

جدول (۹): نتایج حاصل از الگوریتم فرا ابتکاری در سایز بزرگ

مسئله

درصد انحراف	حد پایین	مقدار تابع هدف (حد بالا)	L	K	J	I
۳.۶۷	۸۶۲۰۷۹۹۰	۸۹۳۷۸۶۸۰	۵	۸	۵	۱۰
۱۰.۰۹	۱۲۵۵۶۹۷۷۶	۱۳۸۲۴۲۵۲۰	۷	۱۰	۶	۱۲
۷.۴۲	۳۷۸۲۷۲۴۹۷	۴۰۶۳۶۱۲۱۹	۱۰	۱۵	۱۰	۱۵
۲۰.۷۳	۱۰۰۵۴۳۲۹۹۵	۱۲۱۳۹۵۵۸۷۰	۱۵	۱۸	۱۵	۲۰

بر اساس نتایج مندرج در جدول (۹) و با عنایت به آن که درصد انحراف بین حدود بالا و پایین نسبتاً پایین است، نتایج بدست آمده قابل پذیرش می باشند.

۶- نتایج کلی و پیشنهادات آتی

اعتبارسنجی مدل پیشنهادی با استفاده از چند مثال عددی، نشان داده می‌شود. نتایج حاصل بیانگر این است که چند بخشی در نظر گرفتن مراکز جمع‌آوری علاوه بر این که باعث بهبود کیفیت محصول بازیافتی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود، منجر به کاهش هزینه‌های احداث و راه‌اندازی نیز می‌گردد. هدف اصلی از چند بخشی کردن مراکز جمع‌آوری و بازیافت محصولی مصرفی، این است که مشتری همیشه بتواند محصولی مرغوب‌تر و با هزینه کمتر در دسترس داشته باشد و دولت نیز به اهداف خود یعنی کاهش آسیب به محیط زیست و استفاده کمتر از منابع خام برسد. برای حل این مسئله، الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه با استفاده از نرم‌افزار گمس ارائه شده است که علاوه بر این که محدودیتی در تعداد سناریوها ایجاد نمی‌کند، حد بالا و پایین جواب بهینه و درصد انحرافات را محاسبه می‌کند. با افزایش تعداد سناریوها درصد انحراف حد بالا از حد پایین کمتر شده و به جواب بهینه نزدیک‌تر می‌شود. حل مسئله در سایزهای نسبتاً بزرگ با روش حل دقیق غیرممکن است، بنابراین از الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیبی استفاده شد.

۵- تحلیل داده‌ها با استفاده از روش حل فرا ابتکاری

با عنایت به آنکه مسئله یک مسئله Np-Hard است، با افزایش سایز مسئله، حل مسئله با روش حل به کار برده شده در سایزهای نسبتاً بزرگ غیرممکن است، بنابراین حل مسئله پیشنهادی با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ضروری می‌باشد. در ادامه جزئیات الگوریتم طراحی شده اشاره می‌شود.

مسئله پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک، حل می‌شود. این الگوریتم از طبیعت و نظریه تکامل داروین الهام گرفته است و بر اساس میزان مطلوبیت اعضای جمعیت نسل بعدی مشخص می‌گردد. گام‌ها و اجزاء الگوریتم ترکیبی ژنتیک پیشنهادی، به صورت زیر می‌باشند:

گام اول: نمایش جواب‌های اولیه به صورت کروموزوم می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی ژنتیک، تنها بر روی ساختار جواب مربوط به بخش‌های مراکز جمع‌آوری، عملگرها اعمال می‌گردند. این ساختار به صورت شکل (۷) است.

۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل (۷): ساختار جواب بخش‌های مراکز جمع‌آوری

این ساختار، برداری با طول $H \times L$ (که H تعداد بخش‌ها و L تعداد مراکز جمع‌آوری) می‌باشد، H قسمت اول مربوط به مرکز جمع‌آوری اول و H قسمت دوم مربوط به مرکز جمع‌آوری دوم و نهایتاً H قسمت آخر مربوط به L امین مرکز جمع‌آوری می‌باشد. در مثال بالا $H=3$ و $L=3$ می‌باشد، مقادیر یک نشان دهنده فعال بودن آن بخش از مرکز جمع‌آوری می‌باشد و در غیر این صورت برابر صفر و غیر فعال است. ساختارهای دیگر به صورت ماتریس تعریف شده‌اند و میزان جریان‌ات انتقالی را نشان می‌دهد.

گام دوم: در این گام از عملگر تقاطع استفاده می‌شود به گونه ای که از بین کروموزوم‌های جمعیت اولیه دو کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب می‌گردند، سپس از تقاطع تک نقطه‌ای تصادفی جهت تعیین نقطه تقاطع بین دو کروموزوم استفاده می‌گردد. این عملگر باعث حفظ تشابه بین فرزندان و والدین می‌گردد زیرا بخشی از ژن‌های والدین را در خود حفظ می‌کند.

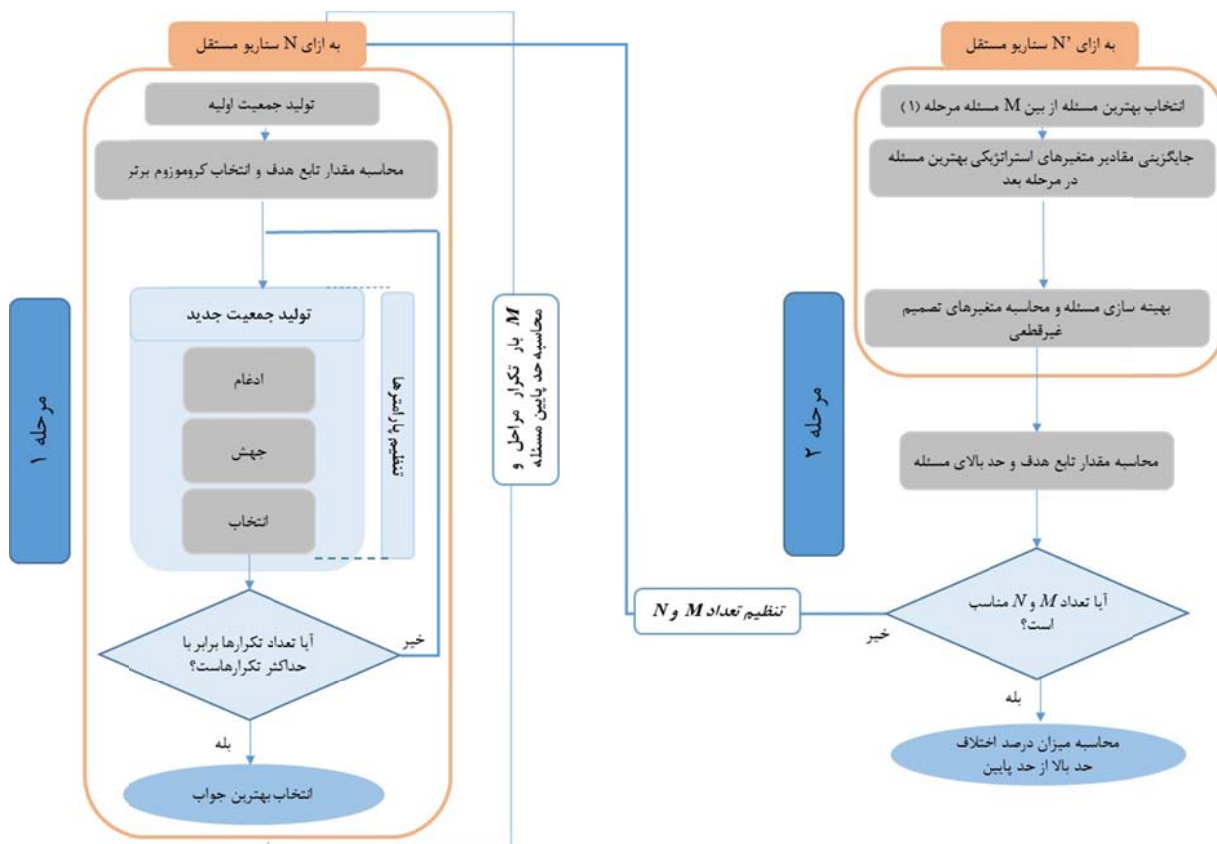
گام سوم: در گام آخر از عملگر جهش استفاده می‌گردد. این عملگر ابتدا دو ژن از کروموزوم را به تصادف انتخاب می‌کند و سپس محتوای آن ژن‌ها را تغییر می‌دهد.

پس از پایان تمامی تکرارهای الگوریتم، برترین کروموزوم بر حسب مطلوبیت مشخص می‌شود. مطالب گفته شده کلیتی از الگوریتم پیشنهادی است، در ادامه فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیب شده با الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین (GA-SAA) در شکل (۸) ارائه شده است.

جدول (۸) نتایج حاصل از دو روش دقیق و الگوریتم فرا ابتکاری طراحی شده برای سایز کوچک این مسئله را نشان می‌دهد. نتیجه

مدلی واقعی تر با پارامتر ظرفیت غیرقطعی، در نظر گرفتن تقاضا، بازگشت پویا و در نظر گرفتن انبارها به منظور نزدیک تر شدن مسئله به دنیای واقعی می باشند.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت بر روی مدل سازی و روش حل نشان دهنده اعتبار مدل و همچنین روش حل ارائه شده است. پیشنهاداتی که برای بهبود این نوع مسائل به نظر می رسد، ارائه



شکل (۸): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیب شده با الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه

uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1): 61-71.

- [7] Zarandi, M.H.F., Sisakht, A.H., Davari, S. (2011). Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56(5-8): 809-821.
- [8] Pishvae, M.S., Torabi, S.A., Razmi, J. (2012). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 62(2): 624-632.
- [9] Paksoy, T., Pehlivan, N.Y., Özceylan, E. (2012). Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: a case study of an edible vegetable oils manufacturer. *Applied Mathematical Modelling*, 36(6): 2762-2776.
- [10] Kadavevaramath, R.S., Chen, J.C., Latha Shankar, B., Rameshkumar, K. (2012). Application of particle swarm intelligence algorithms in supply chain network architecture optimization. *Expert Systems with Applications*, 39(11): 10160-10176.
- [11] Ramezani, M., Bashiri, M., Tavakkoli-

مراجع

- [1] Yang, G.F., Wang, Z.P., Li, X.Q. (2009). The optimization of the closed-loop supply chain network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1): 16-28.
- [2] Pishvae, M.S., Torabi, S.A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy sets and systems*, 161(20): 2668-2683.
- [3] Wang, H.F., Hsu, H.W. (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers & Operations Research*, 37(2): 376-389.
- [4] Pishvae, M.S., Razmi, J., Torabi, S.A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy sets and systems*, 206: 1-20.
- [5] Amin, S.H., Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165-4176.
- [6] Lee, D.H., Dong, M. (2009). Dynamic network design for reverse logistics operations under

- configurations on carbon footprints: A case study in copiers. Resources, conservation and recycling, 55(12): 1196-1205.
- [22] Xu, J., Liu, Q., Wang, R. (2008). A class of multi-objective supply chain networks optimal model under random fuzzy environment and its application to the industry of Chinese liquor. Information Sciences, 178(8): 2022-2043.
- [23] Biehl, M., Prater, E., Realf, M.J. (2007). Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems. Computers & Operations Research, 34(2): 443-463.
- [24] Fernandes, A.S., Gomes-Salema, M.I., Barbosa-Povoa, A.P. (2010). The retrofit of a closed-loop distribution network: the case of lead batteries. Computer Aided Chemical Engineering, 28: 1213-1218.
- [25] Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K. (2010). A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. Applied Mathematical Modelling, 34(3): 655-670.
- [26] Pishvaei, M.S., Razmi, J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. Applied Mathematical Modelling, 36(8): 3433-3446.
- [27] Olugu, E.U., Wong, K.Y. (2012). An expert fuzzy rule-based system for closed-loop supply chain performance assessment in the automotive industry. Expert Systems with Applications, 39(1): 375-384.
- [28] Kusumastuti, R. D., Piplani, R., & Hian Lim, G. (2008). Redesigning closed-loop service network at a computer manufacturer: A case study. International Journal of Production Economics, 111(2): 244-260.
- [29] Yang, P.C., Wee, H.M., Chung, S.L., Ho, P.C. (2010). Sequential and global optimization for a closed-loop deteriorating inventory supply chain. Mathematical and Computer Modelling, 52(1): 161-176.
- [30] Contreras, I., Cordeau, J.F., Laporte, G. (2011). Stochastic uncapacitated hub location. European Journal of Operational Research, 212(3): 518-528.
- 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): 328-344.
- [12] Jouzdani, J., Sadjadi, S.J., Fathian, M. (2013). Dynamic Dairy Facility Location and Supply Chain Planning Under Traffic Congestion and Demand Uncertainty: A Case of Tehran, Applied Mathematical Modelling.
- [۱۳] بشیری مهدی و شرافتی مهتاب (۱۳۹۲). طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی، دوره ۱، شماره ۱، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، صفحه ۲۵-۳۶.
- [14] Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. European Journal of Operational Research, 177(3): 1599-1609.
- [۱۵] زارعیان جهرمی ح و همکاران (۱۳۹۳). مدل بهینه‌سازی چندهدفه استوار در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار، دوره ۲، شماره ۳، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، صفحه ۹۳-۱۱۱.
- [16] Pohlen, T.L., Farris, M.T. (1992). Reverse logistics in plastics recycling. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 22(7): 35-47.
- [17] Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P. (2008). A goal programming model for paper recycling system. Omega, 36(3): 405-417.
- [18] González-Torre, P.L., Adenso-Díaz, B. (2006). Reverse logistics practices in the glass sector in Spain and Belgium. International Business Review, 15(5): 527-546.
- [19] Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: a case study. European Journal of Operational Research, 110(2): 199-214.
- [20] Nagurney, A., Toyasaki, F. (2005). Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 41(1): 1-28.
- [21] Krikke, H. (2011). Impact of closed-loop network



Design of closed-loop supply chain network with considering of multi-part collection centers under uncertainty with two heuristic and meta-heuristic algorithms

M. Bashiri*, M. Shiri

Department of Industrial Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 September 2014

Accepted 26 May 2015

Keywords:

Closed-loop supply chain network

Multi-part collection centers

Uncertainty

Sample average approximation algorithm

proposed hybrid genetic algorithm

ABSTRACT

Supply chain network design is an essential subject to achieve a competitive advantage in today's market. In addition, recycling and recovering of products because of environmental aspects and decreasing of raw material consumption is a vital subject. This paper proposes a design of closed-loop supply chain network with considering of multi-part collection centers under uncertainty to obtain minimum environmental damage as well as decreasing total costs. Because of uncertainty nature of related data in the real world, it is essential to use uncertainty approaches in the proposed network. In this regard, we suppose that demand and recovery are defined in stochastic environment. In reality, we apply a heuristic algorithm named as Sample average approximation algorithm with scenario based. By increasing the size of problems, the proposed hybrid genetic-SAA algorithm is used. Validity of the proposed model is illustrated through numerical examples. Results show that with consideration of multi-part collection centers, not only recovered products and recycling saving costs are improved but also, customers can receive higher quality products with satisfying of government because of environmental damage reduction.

* Corresponding author. Mahdi Bashiri

Tel.: 021-51212092; E-mail addresses: bashiri@shahed.ac.ir