

به نام خداوند بخشنده مهربان



دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد: مهندسی صنایع - صنایع

عنوان پایان نامه:

طراحی شبکه یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس در زنجیره تامین غیر قطعی

نگارش:

معصومه بیات

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر سید محمد معطر حسینی

سال تحصیل: شهریور ماه ۱۳۹۰

با سپاس بی دریغ از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر سید محمد معطر حسینی،
که در این راه راهنمای من بودند.

چکیده فارسی:

مدیریت کارای فعالیت های لجستیک به عنوان یک منبع مهم خلق مزیت های رقابتی پایدار، می تواند موجبات رضایت مشتریان و پاسخگویی به نیازهای خاص آنان را نیز فراهم آورد. با توجه تغییرات سریع اقتصاد، افزایش فشارهای بازارهای رقابتی و قوانین زیست محیطی، محدودیت منابع و همچنین مزیت های اقتصادی استفاده مجدد از محصولات بازگشتی، شرکت ها نه تنها موظف به تولید محصولات سبز می باشند بلکه نسبت به جمع آوری ضایعات محصولات استفاده شده نیز مسئولیت های بی شماری دارند. علاوه بر این از آنجا که موفقیت یک شرکت به توانایی یکپارچه سازی کارای ارتباطات خود در یک زنجیره تامین بستگی دارد، یکپارچه سازی طراحی شبکه لجستیک، اهمیت بسیار بالاتری نسبت به قبل پیدا کرده است. از آنجا که حجم سرمایه گذاری در تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه لجستیک، بیشتر از تصمیمات سطوح تاکتیکی و عملیاتی است، طراحی بهینه شبکه لجستیک به عنوان یک تصمیم استراتژیک، سهم قابل ملاحظه ای در کاهش هزینه ها و ارتقای سطح سرویس دهی زنجیره تامین دارد. اما عدم قطعیت حجم و کیفیت جریان های بازگشتی در لجستیک معکوس که تاثیر قابل ملاحظه ای بر بهینه سازی سطوح موجودی، حجم تولید، حمل و طراحی شبکه لجستیک یکپارچه دارد، یکی از مشکلات اساسی در مدل سازی و حل مدل های ریاضی مربوطه محسوب می شود.

یکی از زمینه های مغفول مانده در ادبیات موجود، طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس است که می تواند از ایجاد زیر بهینگی جلوگیری کند. طراحی شبکه زنجیره تامین، شامل توابع هدف چندگانه و متعارضی چون هزینه، سطح سرویس و پایداری شبکه می باشد اما در بسیاری از مقالات پیشین مدل های ریاضی تک هدفه ای ارائه شده است. همچنین در نظر گرفتن پارامترهای قطعی، تسهیلات بدون ظرفیت و طراحی شبکه های لجستیک تک محصولی یا مبتنی بر مورد مدل ها، از جمله ضعف های مدل های ارائه شده می باشد. لازم به ذکر در سال های اخیر روش های مختلف احتمالی و فازی برای مدل سازی عدم قطعیت مسئله توسعه داده شده است.

در این تحقیق یک مدل برنامه ریزی بازه ای عدد صحیح آمیخته چند هدفه چند محصولی، جهت طراحی زنجیره تامین حلقه بسته غیر قطعی ارائه شده است. پارامترها به صورت اعداد فازی تعریف شده و به منظور تطابق هر چه بیشتر مدل با واقعیت، ظرفیت تسهیلات در کلیه رده های زنجیره تامین محدود می باشد. در نهایت با مقایسه جواب های بهینه و نزدیک بهینه مدل، کارایی الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده بررسی می شود.

کلید واژه:

زنجیره تامین حلقه بسته، لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس، برنامه ریزی بازه ای، عدم قطعیت، اعداد فازی

Closed Supply Chain, Integrate Forward and Reverse Logistics, Interval Programming, Uncertainty, Fuzzy number.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۵	۱-۲- ضرورت تحقیق.....
۸	۱-۳- سوالات اصلی تحقیق.....
۹	۱-۴- رویکرد و متدولوژی تحقیق.....
۱۰	۱-۵- ساختار پایان نامه.....
۱۱	فصل دوم: مباحث نظری.....
۱۲	۲-۱- شبکه زنجیره تأمین.....
۱۲	۲-۱-۱- مدیریت زنجیره تأمین.....
۱۳	۲-۱-۲- طراحی شبکه زنجیره تأمین.....
۱۵	۲-۱-۳- لجستیک مستقیم.....
۱۵	۲-۱-۴- لجستیک معکوس.....
۱۹	۲-۱-۵- لجستیک حلقه بسته.....
۲۰	۲-۲- عدم قطعیت در مدل‌سازی ریاضی و روش حل.....
۲۰	۲-۲-۱- انواع عدم قطعیت.....
۲۳	۲-۲-۲- انتخاب روش مدل‌سازی عدم قطعیت مدل ریاضی مسئله.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۴	.....۳-۲-۲- نمایش فازی پارامترهای غیر قطعی مدل ریاضی
۲۷	.....۴-۲-۲- غیر فازی سازی پارامترهای مسئله
۲۸	.....۱-۴-۲-۲- غیر فازی سازی به روش برش لاندان
۳۴	.....۵-۲-۲- تصمیم گیری چند هدفه فازی
۳۶	.....۳-۲- روش حل غیر دقیق
۳۶	.....۱-۳-۲- دلیل استفاده از روش غیر دقیق
۳۶	.....۲-۳-۲- انتخاب روش غیر دقیق
۳۸	.....۱-۲-۳-۲- الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل ریاضی چند هدفه
۳۹	.....۲-۲-۳-۲- الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل ریاضی محدودیت دار
۳۹	.....۳-۳-۲- تشریح الگوریتم ژنتیک کلاسیک
۴۱	.....۴-۳-۲- الگوریتم ژنتیک مایکرو (μGA)
۴۱	.....۱-۴-۳-۲- علت انتخاب الگوریتم ژنتیک مایکرو
۴۳	.....فصل سوم: مرور ادبیات
۴۴	.....۱-۳- اهمیت طراحی شبکه لجستیک
۴۵	.....۲-۳- مفهوم یکپارچگی در طراحی شبکه لجستیک
۴۷	.....۳-۳- ویژگی های تاثیر گذار زنجیره تامین حلقه بسته

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۰	۳-۴- مرور ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین.....
۵۱	۳-۴-۱- مدل های قطعی طراحی شبکه زنجیره تامین.....
۵۱	۳-۴-۱-الف- مدل های قطعی طراحی شبکه لجستیک مستقیم.....
۵۵	۳-۴-۱-ب- طراحی مدل های قطعی شبکه لجستیک معکوس.....
۵۸	۳-۴-۱-ج- طراحی مدل های قطعی شبکه لجستیک یکپارچه.....
۶۳	۳-۴-۲- مدل های احتمالی طراحی شبکه زنجیره تامین.....
۶۳	۳-۴-۲-الف- طراحی مدل های احتمالی شبکه لجستیک مستقیم.....
۷۰	۳-۴-۲-ب- طراحی مدل های احتمالی شبکه لجستیک معکوس.....
۷۲	۳-۴-۲-ج- طراحی مدل های احتمالی شبکه لجستیک یکپارچه.....
۷۵	۳-۵- طبقه بندی ادبیات.....
۷۵	۳-۵-۱- اجزای لجستیک.....
۷۵	۳-۵-۲- مشخصات مسئله و فرض ها.....
۷۶	۳-۵-۳- نوع مدل سازی.....
۷۶	۳-۵-۴- خروجی ها.....
۷۷	۳-۵-۵- اهداف.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۸	.....۳-۵-۶- روش حل
۷۸	.....۳-۵-۷- پارامترهای غیر قطعی مدل
۸۲	.....۳-۶- طبقه بندی روش های مدل سازی و حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین
۸۲	.....۳-۶-۱- روش های مدل سازی شبکه زنجیره تامین
۸۵	.....۳-۶-۲- روش های تولید پارامترهای غیر قطعی مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین
۸۸	.....۳-۶-۳- روش های حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین
۹۳	.....۳-۷- نتیجه گیری مرور ادبیات
۹۷	..... فصل چهارم: تعریف مسئله و مدل سازی ریاضی
۹۸	.....۴-۱- تشریح مسئله مورد بررسی
۹۹	.....۴-۱-۱- تشریح فرآیند کار زنجیره تامین مورد بررسی
۱۰۲	.....۴-۱-۲- فرضیات مسئله
۱۰۴	.....۴-۱-۳- خروجی های مسئله
۱۰۴	.....۴-۱-۴- اهداف مسئله
۱۰۴	.....۴-۲- مدل ریاضی شبکه لجستیک یکپارچه
۱۱۵	.....۴-۳- خطی سازی مدل ریاضی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۱۸	فصل پنجم: روش حل.....
۱۲۰	۱-۵- روش حل قطعی مدل ریاضی.....
۱۲۱	۱-۱-۵- عملگرهای ریاضی در بازه ها.....
۱۲۲	۲-۱-۵- رتبه بندی بازه ها.....
۱۲۶	۳-۱-۵- مدل برنامه ریزی بازه ای مسئله.....
۱۳۱	۴-۱-۵- حل مدل چند هدفه قطعی ریاضی.....
۱۳۳	۵-۱-۵- سطح ریسک برنامه ریزی بازه ای.....
۱۴۳	۲-۵- روش حل غیر دقیق.....
۱۴۳	۱-۲-۵- نمایش کروموزوم ها براساس روش کدینگ اولویت محور.....
۱۴۹	۲-۲-۵- اعمال عملگر تقاطع.....
۱۵۲	۳-۲-۵- مکانیزم ایجاد تنوع در مجموعه جواب.....
۱۵۲	۴-۲-۵- تعریف تابع برازندگی.....
۱۵۲	۴-۲-۵- الف- تبدیل مسئله چند هدفه به یک مسئله تک هدفه.....
۱۵۴	۴-۲-۵- ب- تبدیل مسئله محدودیت دار به مسئله بدون محدودیت.....
۱۵۷	۵-۲-۵- اعمال مکانیزم انتخاب والد.....
۱۵۸	۶-۲-۵- مکانیزم انتخاب مجموعه جواب برای نسل بعد.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۶۰	..... ۷-۲-۵- مراحل اجرای CRW μ GA
۱۶۳	..... فصل ششم: نتایج محاسباتی
۱۶۴	..... ۱-۶- مسئله های مورد بررسی
۱۶۴	..... ۱-۱-۶- تولید پارامترهای فازی مسئله
۱۶۵	..... ۲-۱-۶- تولید مسئله های آزمایشی
۱۷۰	..... ۲-۶- تعیین مقدار مطلوب پارامتر θ
۱۸۳	..... ۳-۶- ارزیابی کارایی الگوریتم ابتکاری پیشنهادی
۱۹۱	..... ۴-۶- نتیجه گیری
۱۹۲	..... ۵-۶- تحقیقات آتی
۱۹۳	..... منابع انگلیسی
۲۰۱	..... منابع فارسی
۲۰۲	..... پیوست: برنامه کد شده در نرم افزار

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴	جدول ۱-۱- مزایا و ارزش های ایجاد شده در زنجیره تأمین حلقه بسته.....
۱۹	جدول ۱-۱- مقایسه زنجیره تأمین مستقیم و معکوس (Kongar, ۲۰۰۴).....
۸۰	جدول ۱-۳- طبقه بندی ادبیات مربوط به طراحی زنجیره تامین قطعی.....
۸۱	جدول ۲-۳- طبقه بندی ادبیات مربوط به طراحی زنجیره تامین غیر قطعی.....
۸۶	جدول ۳-۳- طبقه بندی انواع پارامترهای غیر قطعی و روش های مدل سازی آن ها در مسائل طراحی زنجیره تامین غیر قطعی.....
۹۱	جدول ۳-۴- طبقه بندی روش های حل مربوط به مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی.....
۹۲	جدول ۳-۵- طبقه بندی روش های حل مربوط به مسائل طراحی زنجیره تامین غیر قطعی.....
۹۶	جدول ۳-۶- ویژگی های تحقیق حاضر.....
۱۰۵	جدول ۴-۱- مجموعه اندیس های مدل.....
۱۰۶	جدول ۴-۲- الف- پارامترهای مدل.....
۱۰۷	جدول ۴-۲- ب- پارامترهای مدل.....
۱۰۸	جدول ۴-۳- متغیرهای مدل.....
۱۱۳	جدول ۴-۴- الف- تشریح عبارات توابع هدف مدل ریاضی.....
۱۱۴	جدول ۴-۴- ب- تشریح عبارات توابع هدف مدل ریاضی.....
۱۱۵	جدول ۴-۵- تشریح محدودیت های مدل ریاضی.....
۱۴۲	جدول ۵-۱- بررسی مقادیر مختلف تابع ریسک بر اساس سطوح مختلف تصمیم.....
۱۴۶	جدول ۵-۲- روند الگوریتم کدینگ اولویت محور برای شکل ۵-۱۰ (Gen et al , ۲۰۰۶).....
۱۶۶	جدول ۶-۱- الف- منابع تولید تصادفی محتمل ترین مقدار پارامترهای مسئله.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۶۷	جدول ۶-۱-ب- منابع تولید تصادفی محتمل ترین مقدار پارامترهای مسئله.....
۱۶۸	جدول ۶-۱-ج- منابع تولید تصادفی محتمل ترین مقدار پارامترهای مسئله.....
۱۶۹	جدول ۶-۲- ابعاد مسائل آزمایشی تولید شده جهت بررسی.....
۱۷۱	جدول ۶-۳-الف- مقادیر تابع هدف اول و دوم به ازای مقادیر مختلف θ_1 و θ_2
۱۷۲	جدول ۶-۳-ب- مقادیر تابع هدف اول و دوم به ازای مقادیر مختلف θ_1 و θ_2
۱۷۳	جدول ۶-۴-الف- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۱.....
۱۷۴	جدول ۶-۴-ب- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۱.....
۱۷۶	جدول ۶-۵-الف- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۲.....
۱۷۷	جدول ۶-۵-ب- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۲.....
۱۷۸	جدول ۶-۶-الف- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۳.....
۱۷۹	جدول ۶-۶-ب- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۳.....
۱۸۰	جدول ۶-۷- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 در مسئله شماره ۴.....
۱۸۵	جدول ۶-۸-الف- خلاصه نتایج محاسباتی.....
۱۸۶	جدول ۶-۸-ب- خلاصه نتایج محاسباتی.....

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۱۴		شکل ۱-۲- ماتریس برنامه ریزی زنجیره تامین (Stadtler and Kilger, ۲۰۰۵).....	
۱۷		شکل ۲-۲- هرم گزینه های احیاء محصولات بازگشتی در زنجیره تامین معکوس (Kumar and Malegeant, ۲۰۰۶).....	
۲۱		شکل ۳-۲- رویکرد های تحلیل سیستم در مواجهه با پیچیدگی و میزان دقت (حسن شوندی، ۱۳۸۵).....	
۲۲		شکل ۴-۲- فضای عدم قطعیت (حسن شوندی، ۱۳۸۵).....	
۲۷		شکل ۵-۲- نمایش عدد فازی مثلثی.....	
۳۲		شکل ۶-۲- برش λ عدد فازی \tilde{A}	
۴۶		شکل ۱-۳- ساختار شبکه لجستیک (Fleischmann et al., ۲۰۰۴).....	
۸۲		شکل ۲-۳- طبقه بندی روش های مدل سازی مسائل زنجیره تامین قطعی.....	
۸۳		شکل ۳-۳- طبقه بندی روش های مدل سازی مسائل زنجیره تامین غیر قطعی.....	
۸۷		شکل ۴-۳- سهم روش های مختلف تولید مقادیر پارامترهای غیر قطعی در مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین غیر قطعی.....	
۸۹		شکل ۵-۳- سهم روش های مختلف حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین قطعی.....	
۹۰		شکل ۶-۳- سهم روش های مختلف حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین غیر قطعی.....	
۹۴		شکل ۷-۳- سهم مقالات لجستیک مستقیم/ معکوس/ یکپارچه در مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی و غیر قطعی.....	
۱۰۰		شکل ۱-۴- جریان مستقیم و معکوس محصولات در زنجیره تامین.....	
۱۰۲		شکل ۲-۴- شبکه لجستیک مستقیم و معکوس مورد بررسی.....	
۱۰۹		شکل ۳-۴- ساختار شبکه لجستیک بر اساس نماد های تعریف شده.....	
۱۲۴		شکل ۱-۵- وضعیت قرار گیری بازه ها (۱).....	

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۲۴	شکل ۵-۲- وضعیت قرار گیری بازه ها (۱)
۱۳۵	شکل ۵-۳- تحلیل ساختار درختی احتمالی بازه A , B (Wang & Hsu, ۲۰۱۰)
۱۳۹	شکل ۵-۴- وضعیت محدودیت بزرگتر مساوی با $\theta=1$
۱۳۹	شکل ۵-۵- وضعیت محدودیت کوچکتر مساوی با $\theta=1$
۱۴۰	شکل ۵-۶- وضعیت محدودیت بزرگتر مساوی با $\theta=0$
۱۴۰	شکل ۵-۷- وضعیت محدودیت کوچکتر مساوی با $\theta=0$
۱۴۱	شکل ۵-۸- وضعیت محدودیت بزرگتر مساوی با $\theta=-1$
۱۴۱	شکل ۵-۹- وضعیت محدودیت کوچکتر مساوی با $\theta=-1$
۱۴۴	شکل ۵-۱۰- نمونه یک شبکه با کدینگ اولویت محور (Gen et al., ۲۰۰۶)
۱۴۷	شکل ۵-۱۱- روش کدینگ اولویت محور مسئله
۱۵۰	شکل ۵-۱۲- الف- نحوه عملگر عملگر تقاطع یکنواخت
۱۵۱	شکل ۵-۱۲- ب- نحوه عملگر عملگر تقاطع یکنواخت
۱۵۹	شکل ۵-۱۳- نحوه انتخاب مجموعه جواب برای نسل بعد
۱۶۲	شکل ۵-۱۴- مراحل اجرای $CRW\mu GA$
۱۷۵	شکل ۶-۱- رابطه بین مقادیر مختلف تتا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۱
۱۸۱	شکل ۶-۲- رابطه بین مقادیر مختلف تتا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۲
۱۸۱	شکل ۶-۳- رابطه بین مقادیر مختلف تتا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۳
۱۸۲	شکل ۶-۴- رابطه بین مقادیر مختلف تتا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۴
۱۸۲	شکل ۶-۵- نمایش شبکه زنجیره تامین بهینه محصول اول در نمونه مسئله آزمایشی ۲

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۱۸۳	شکل ۶-۶- نمایش شبکه زنجیره تامین بهینه محصول دوم در نمونه مسئله آزمایشی ۲.....
۱۸۷	شکل ۶-۷- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۱.....
۱۸۸	شکل ۶-۸- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۲.....
۱۸۸	شکل ۶-۹- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۳.....
۱۸۸	شکل ۶-۱۰- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۴.....
۱۸۹	شکل ۶-۱۱- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۵.....
۱۸۹	شکل ۶-۱۲- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۶.....
۱۸۹	شکل ۶-۱۳- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۷.....
۱۹۰	شکل ۶-۱۴- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۸.....
۱۹۰	شکل ۶-۱۵- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۹.....
۱۹۰	شکل ۶-۱۶- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۱۰.....

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در اقتصادهای نوین مشتریان صاحبان قدرت هستند و به راحتی می توانند محصولات را مقایسه کرده و از رقبای مختلف خریداری کنند در نتیجه کلید موفقیت واحدهای تجاری، در تامین کالا در زمان معین، با کیفیت و کمیت صحیح با کمترین هزینه است. موسسات مجبور به ارائه بالاترین سطح سرویس به مشتریان هستند در حالیکه می بایست بطور همزمان هزینه ها را کاهش داده و حاشیه سود را ثابت نگه دارند (Xu et al., ۲۰۰۸). امروزه معیارهای موفقیت یک شرکت عبارتند از هزینه های پایین، زمان تولید و تدارک^۱ کوتاه، موجودی^۲ کم، تنوع محصول، زمان ارسال قابل اطمینان، سرویس دهی بهتر به مشتری، کیفیت بالاتر و ایجاد هماهنگی بین تقاضا، تامین و تولید (Gumus et al., ۲۰۰۹) که طبق مطالعات انجام شده توسط Amaro & Barbosa-Póvoa (۲۰۰۹) طراحی یک زنجیره تامین کارآمد، نقش بسیار مهمی در تحقق این معیارهای موفقیت ایفا می کند.

فعالیت های لجستیکی منجر به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در هزینه ها مربوط به فعالیت های زنجیره تامین می گردد در نتیجه مدیریت کارای فعالیت های لجستیکی علاوه بر اینکه یک منبع

۱. Lead time

۲. stock

مهم برای خلق مزیت های رقابتی پایدار است، می تواند موجبات رضایت مشتریان و پاسخگویی به نیازهای خاص آنان را نیز فراهم آورد. با توجه تغییرات سریع اقتصاد، افزایش فشارهای بازارهای رقابتی و قوانین زیست محیطی و همچنین مزیت های اقتصادی استفاده مجدد از محصولات بازگشتی، شرکت ها نه تنها موظف به تولید محصولات سبز^۱ می باشند بلکه نسبت به جمع آوری ضایعات محصولات استفاده شده نیز مسئولیت های بی شماری دارند، به همین علت زنجیره تامین سبز و لجستیک یکپارچه اهمیت بسیار بالاتری نسبت به قبل پیدا کرده است.

ساختار مناسب شبکه زنجیره تامین به عنوان یک مزیت پایدار، به شرکت ها کمک می کند تا بر تغییرات فزاینده محیطی فائق شوند. بر خلاف زنجیره تامین مرسوم، برنامه ریزی زنجیره تامین سبز نیازمند عملیات اضافی بازیافت و احیا می باشد. با مدیریت صحیح لجستیک معکوس علاوه بر رعایت ملاحظات زیست محیطی، صرفه جویی اقتصادی قابل ملاحظه ای در تولید، دفع و حمل و نقل محصولات حاصل می گردد. در دهه های اخیر شرکت های بسیاری با تمرکز بر روی فعالیت های مربوط به بازیافت و احیای محصولات بازگشتی، سودهای قابل ملاحظه ای را به دست آورده اند (Üster et al., ۲۰۰۷). اما بر اساس مطالعات انجام شده توسط Kumar and Malegeant (۲۰۰۶) برخی از واحدهای صنعتی تمایلی به پرداختن به مسائل مدیریت جریان های بازگشتی در زنجیره تامین از خود نشان نمی دهند که در ذیل به برخی از این دلایل اشاره می شود.

- ✓ نبود اطلاعات کافی در زمینه زنجیره تامین حلقه بسته.
- ✓ تمایل شرکت ها برای تمرکز بر فعالیت اصلی کسب و کار.
- ✓ نیاز به سرمایه گذاری اولیه بالا به منظور ایجاد زنجیره تامین حلقه بسته (هزینه لجستیک معکوس در زنجیره تامین حلقه بسته شامل هزینه های جمع آوری، حمل و نقل، ساخت مجدد، و هزینه های راه اندازی تسهیلات مورد نیاز می باشد).

۱. environmentally friendly

✓ افزایش پیچیدگی در مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته (طراحی محصولات با قابلیت احیاء و مهندسی مجدد، مدیریت اطلاعات محصولات، ارزیابی سناریوهای عمر محصول و ...).

✓ ترس از خدشه دار شدن اعتبار شرکت به دلیل پایین تر بودن کیفیت و استاندارد محصولات احیاء شده.

✓ وجود عدم قطعیت در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته، نظیر عدم قطعیت در حجم محصولات بازگشتی، حجم محصولات قراضه و احیاء شده، زمان پردازش و

علیرغم مشکلات فوق Fidler (۲۰۰۰) مزایایی را برای پیاده سازی زنجیره تأمین حلقه بسته برمی شمرد که خلاصه آن در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- مزایا و ارزش های ایجاد شده در زنجیره تأمین حلقه بسته

محیط زیست	ارزش ایجاد شده	خدماتی بازار
<ul style="list-style-type: none"> • کاهش اثرات زیست محیطی • رعایت قوانین • قابل اطمینان بودن کالاهای معیوب بازگشتی 	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش ریسک تعهدات • کسب ارزش از مواد و قطعات • کسب ارزش نیروی انسانی • کاهش هزینه های دفع • کاهش ریسک اسقاط به دلیل بازگشت به موقع محصولات • کاهش تولید قطعات یدکی جدید • کاهش بازگشت 	<ul style="list-style-type: none"> • خدمات پس از فروش سطح رضایتمندی مشتریان را بهبود می بخشد • کاهش زمان تحقیق و توسعه و بازاریابی • افزایش دسترسی به قطعات یدکی • به روز رسانی به موقع به دلیل بازگشت سریع محصولات • بهبود کیفیت محصولات از طریق مهندسی مجدد • تعمیرات زود هنگام • سازگاری با محیط زیست

۲-۱- ضرورت تحقیق

از تاریخ ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ ارزش کلی کالاهای بازگشتی در ایالات متحده ۶۲ میلیارد دلار و هزینه حمل و نقل این کالاها ۴۰ میلیارد دلار تخمین زده شده این در حالی است که نرخ بازگشت کالا از خرده فروشی ها به طور میانگین ۶ درصد و از خرده فروشی های اینترنتی (online) بین ۲۰ تا ۳۰ درصد برآورد شده است (Min et al., ۲۰۰۶a). همچنین بر اساس دسته بندی آژانس حمایت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA)^۱ تنها سه دسته کلی ضایعات وجود دارد، ضایعات جامد شهری (MSW)^۲، ضایعات خطر ناک (HW)^۳ که نیازمند عملیات بازیافت و یا انهدام ایمن هستند و ضایعات رادیواکتیو (Kumar and Malegeant, ۲۰۰۶). بر اساس اعلام EPA، در سال ۲۰۰۰، بیش از ۲۰،۰۰۰ کسب و کار در ایالات متحده، حجم بسیار زیادی بالغ بر ۳۲ میلیون تن MSW تولید کرده که نسبت به سال ۱۹۶۰ رشد ۱۶۰ درصدی داشته، این در حالی است که رشد جمعیت در بازه زمانی مذکور ۵۶ درصد بوده است. میزان تولید ضایعات سرانه هر فرد از سال ۱۹۶۰، روزانه ۲/۷ پوند، در سال ۲۰۰۰ بطور تقریبی به روزانه ۴/۵ پوند - ۰/۸ تن در سال- رسیده است. در دهه اخیر تولید سرانه ضایعات نسبتاً ثابت باقی مانده است و حجم MSW بازیافت شده با رشدی بیشتر از ۱۱۰٪، از ۵/۶ میلیون تن و به ۶۹/۹ میلیون تن در کل رسیده است (Kumar and Malegeant, ۲۰۰۶).

امروزه سهم زیادی از قیمت محصولات و خدمات را فعالیت های لجستیکی به خود اختصاص می دهد، با توجه به افزایش سهم هزینه های محصولات بازگشتی و کاهش تدریجی حاشیه سود، مدیریت صحیح و بهینه محصولات بازگشتی با صرفه جویی در هزینه های حمل و نقل، موجودی و انبارداری می تواند به عنوان یک مزیت رقابتی برای شرکت های محسوب شود، به همین دلیل برخی شرکت ها در صدد برنامه ریزی فرآیند لجستیک معکوس و ایجاد فرصت هایی برای صرفه جویی اقتصادی و بهبود خدمت دهی برآمده اند (Min et al., ۲۰۰۶b). علاوه بر این Shear et al. (۲۰۰۳)

۱. United State Environmental protection Agency

۲. municipal solid waste

۳. hazardous waste

دریافتند که هزینه های حمل و جابجایی محصولات مرجوعی می تواند به ۵۰ دلار به ازای هر کالا برسد که این مبلغ در مواردی ۳ برابر بیشتر از هزینه های حمل کالا به مقاصد دور دست است، همچنین Poirier (۲۰۰۴) در تحقیقی نشان داده است که شرکت هایی که از شبکه زنجیره تامین کارآمدی برخوردار هستند از کاهش ۴۰ درصدی هزینه ها و ۳۰ درصدی حجم موجودی و افزایش ۴۴ درصدی سطح سرویس دهی به مشتریان بهره مند می گردند.

ملزومات قانونی، حساسیت های زیست محیطی و سود آوری اقتصادی، از جمله عوامل محرک اصلی شرکت های جهت طراحی، برنامه ریزی، اجرا و کنترل لجستیک معکوس می باشند، همچنین از دیدگاه اقتصادی، شرکت ها می توانند به طور مستقیم از سود حاصل از احیا و بازیافت محصولات بازگشتی استفاده کنند و یا با ارائه خدمات پس از فروش و کسب رضایت بیشتر مشتریان، به طور غیر مستقیم سود بیشتری برای شرکت فراهم آورند. همانطور که اشاره شده به دلیل محدودیت منابع و انرژی، پایداری به یکی از مسائل مهم در حفاظت از محیط زیست تبدیل شده است، همچنین با افزایش آگاهی از نحوه استفاده و ساخت مجدد محصولات و تأثیر آن بر کاهش استفاده از مواد خام، محصولات مستعمل اهمیت ویژه برای بنگاه های اقتصادی پیدا کرده اند. این امر منتج به مفهوم مدیریت زنجیره تامین سبز^۱ و مشکلات مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته می گردد (Wang and Hsu, ۲۰۱۰).

افزایش رقابت در محیط کسب و کار باعث افزایش روند همکاری بین شرکت ها به عنوان اعضای یک زنجیره تامین شده است. موفقیت یک شرکت به توانایی دست یابی به یکپارچه سازی کارای ارتباطات خود در یک زنجیره تامین بستگی دارد. یکپارچه سازی طراحی شبکه لجستیک نیز به همین دلیل از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از زمینه های مناسب و مغفول مانده برای یکپارچه سازی در شبکه های لجستیک، طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس است که می تواند منجر به جلوگیری از زیر بهینگی ناشی از طراحی جداگانه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس گردد. از آنجا که

^۱.green supply chain

حجم سرمایه گذاری در تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه لجستیک بیشتر از تصمیمات سطوح تاکتیکی و عملیاتی است و همچنین به دلیل اینکه تصمیمات استراتژیک، قبل از تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی اتخاذ می گردند و در نتیجه برای تصمیمات سطوح پایین تر نقش محدودیت را بازی می کنند، طراحی بهینه شبکه لجستیک به عنوان یک تصمیم استراتژیک، سهم بیشتری در کاهش هزینه ها و تحویل به موقع دارد (Meepetchdee and Shah, ۲۰۰۷). در دهه اخیر بسیاری از شرکت های مهم مانند دل^۱، جنرال موتور^۲، کداک^۳ و زیراکس^۴ توجه ویژه ای به ساخت مجدد، تعمیرات و به طور کلی احیا محصولات برگشتی داشته اند (Üster et al., ۲۰۰۷).

با توجه به مطالعات انجام شده توسط kongar (۲۰۰۴)، در رابطه با مقایسه ویژگی های لجستیک مستقیم و معکوس، یکی از عمده مشکلات مرتبط با مدیریت لجستیک معکوس به ماهیت پویا و پیچیده و عدم قطعیت قابل ملاحظه ای که در حجم و کیفیت جریان های بازگشتی وجود دارد، باز می گردد. این عدم قطعیت می تواند سطوح موجودی، حجم تولید، حمل و در نتیجه طراحی شبکه لجستیک یکپارچه را تحت تاثیر قرار دهد. در نتیجه مدل سازی این عدم قطعیت و حل مدل های ریاضی بدست آمده است یکی از اساسی ترین مشکلات مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته محسوب می گردد.

۱. Dell
۲. General Motors (GM)
۳. Kodak
۴. Xerox

۳-۱- سوالات اصلی تحقیق

طراحی شبکه لجستیک به عنوان یکی از مهمترین مسائل استراتژیک در مدیریت زنجیره تامین، بر عملکرد زنجیره تامین تاثیر مثبت قابل ملاحظه ای دارد. شبکه لجستیک، شبکه ای از تامین کننده، تولیدکننده، توزیع کننده، و کانال های بین آن ها و مشتریان است که با هدف تامین مواد خام، تبدیل مواد خام به محصول و ارائه این محصول به مشتریان با استفاده از روشی مناسب، طراحی شده است. تصمیم گیری های شبکه لجستیک شامل تعیین تعداد، مکان و ظرفیت تسهیلات و میزان جریان بین این تسهیلات می باشد (Amiri, ۲۰۰۶). با توجه به مطالب فوق هدف این تحقیق ارائه مدلی برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته غیر قطعی به منظور جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی است. سوالات اصلی این تحقیق که مدل ارائه شده باید قادر به پاسخگویی به آن باشد عبارتند از:

✓ تعداد بهینه مراکز لجستیکی در هر رده چه تعداد است؟

✓ مکان بهینه استقرار مراکز لجستیکی کجا است؟

✓ نحوه بهینه ارتباط بین رده های مختلف در شبکه به چه صورت است؟

✓ حجم کالای حمل شده بین رده های مختلف چه مقدار است؟

۱-۴- رویکرد و متدولوژی تحقیق

بر اساس مرور ادبیات موجود و به منظور تطابق کامل مدل با واقعیت، کلیه پارامترهای سیستمی و محیطی شبکه زنجیره تامین به طور غیر قطعی در نظر گرفته شده و برای مدل سازی این عدم قطعیت از مفهوم تئوری مجموعه فازی استفاده شده است. با توجه به سابقه بکارگیری ضرایب بازه ای جهت مدل سازی عدم قطعیت، در این تحقیق نیز با استفاده از روش برش لاند، اعداد فازی به بازه های قطعی تبدیل شده و مدل برنامه ریزی بازه ای عدد صحیح آمیخته غیر خطی چند هدفه مسئله تولید می گردد. همچنین به منظور تسهیل فرآیند تصمیم گیری و تحلیل ریسک، دو معیار اندیس عدم دقت مجذور میانگین^۱ (MSII) و وضعیت تصمیم گیرنده^۲ (سطوح خوش بینانه^۳ و بدبینانه^۴) جهت تحلیل فاصله اطمینان^۵، و امکان مقایسه (سبک سنگین کردن)^۶ ریسک و مقدار مورد انتظار تابع هدف، ارائه شده است. در نهایت با استفاده از تکنیک تغییر متغیر و تعریف تابع عضویت فازی اهداف، مدل غیر خطی چند هدفه به یک مدل خطی تک هدفه تبدیل می گردد.

به دلیل افزایش پیچیدگی مسئله در ابعاد متوسط و بزرگ، جواب های نزدیک به بهینه مدل با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده، تولید و به منظور اعتبار سنجی راه حل ابتکاری پیشنهاد شده، این جواب ها با جواب های بهینه نرم افزار LINGO ۹، مقایسه می گردد.

۱. Mean Square Imprecision Index (MSII)

۲. DM's attitude

۳ optimistic

۴. pessimistic

۵. confidence interval analysis

۶. trade off

۱-۵- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در شش فصل تنظیم شده است. در فصل دوم برخی از اصطلاحات و مفاهیم اولیه و اساسی مربوط به طراحی شبکه زنجیره تامین و اصول، مبانی و ابزارهای بکار گرفته شده در مدل سازی ریاضی، تشریح شده و در فصل سوم ادبیات مربوط به طراحی شبکه های لجستیک (مستقیم، معکوس و یکپارچه قطعی و غیر قطعی) بررسی و بر اساس معیارهای تعریف شده ای طبقه بندی و کدینگ می گردد. در فصل چهارم علاوه بر بیان فرضیات مسئله و تعیین خروجی ها و توابع اهداف مربوط به مسئله طراحی زنجیره تامین حلقه بسته، پارامترها، متغیرها و مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته مسئله ارائه شده و با اعمال تغییراتی، مدل فوق به یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته تبدیل می شود.

در فصل پنجم ابتدا با استفاده از روش برش لاندا ارزش بازه ای اعداد فازی مربوط به پارامترهای غیر قطعی تعیین و مدل برنامه ریزی بازه ای عدد صحیح آمیخته خطی مسئله ارائه شده و همچنین به دلیل پیچیدگی بالای مدل طراحی شده، راه حلی ابتکاری بر مبنای الگوریتم ژنتیک توسعه داده می شود. سرانجام در فصل ششم به منظور نمایش کارایی الگوریتم پیشنهادی، پس از تولید مجموعه ای از مسائل آزمایشی، جواب های بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با جواب های بهینه دقیق بدست آمده از حل برخی از این مسائل آزمایشی در اندازه های کوچک توسط نرم افزار **Lingo 9**، مقایسه می شود.

فصل دوم

مباحث نظری

در این فصل ابتدا برخی از اصطلاحات و مفاهیم اولیه و اساسی مربوط به شبکه زنجیره تامین تشریح شده و پس از آن اصول، مبانی و ابزارهای بکار گرفته شده در مدل سازی ریاضی و روش های حل قطعی و غیر قطعی مدل ریاضی مسئله، ارائه می گردد.

۲-۱- شبکه زنجیره تامین

۲-۱-۱- مدیریت زنجیره تامین^۱

زنجیره تامین مجموعه ای از تأمین کنندگان، تسهیلات، محصولات، مشتریان و روش های کنترل موجودی، خرید و توزیع می باشد که با تولید محصول از مواد خام تأمین شده توسط تأمین کنندگان آغاز و با مصرف محصولات توسط مشتریان خاتمه می یابد. جریان مواد بین تأمین کننده و مشتری، از رده های مختلفی می گذرد که هر یک ممکن است شامل تسهیلات زیادی باشند (Altiparmak et al., ۲۰۰۶). بطور سنتی، سازمان های برنامه ریزی، تولید و خرید، بازاریابی، توزیع در یک زنجیره تامین بصورت مستقل فعالیت می کنند. این سازمان ها هر یک اهداف شخصی خود را

۱. Supply chain Management

دارند که معمولاً در تناقض با یکدیگر می باشد، در نتیجه نیاز به مکانیزمی برای یکپارچه سازی این عملکردهای مختلف وجود دارد. مدیریت زنجیره تأمین (SCM)، در اوایل ۱۹۹۰ با برنامه ریزی و مدیریت ساخت/ تولید، حمل و نقل و توزیع، استراتژی معینی را جهت تحقق یکپارچه سازی مورد نظر و بهبود محیط صنعتی، ارائه کرد (Altiparmak et al., ۲۰۰۶; Xu et al., ۲۰۰۸).

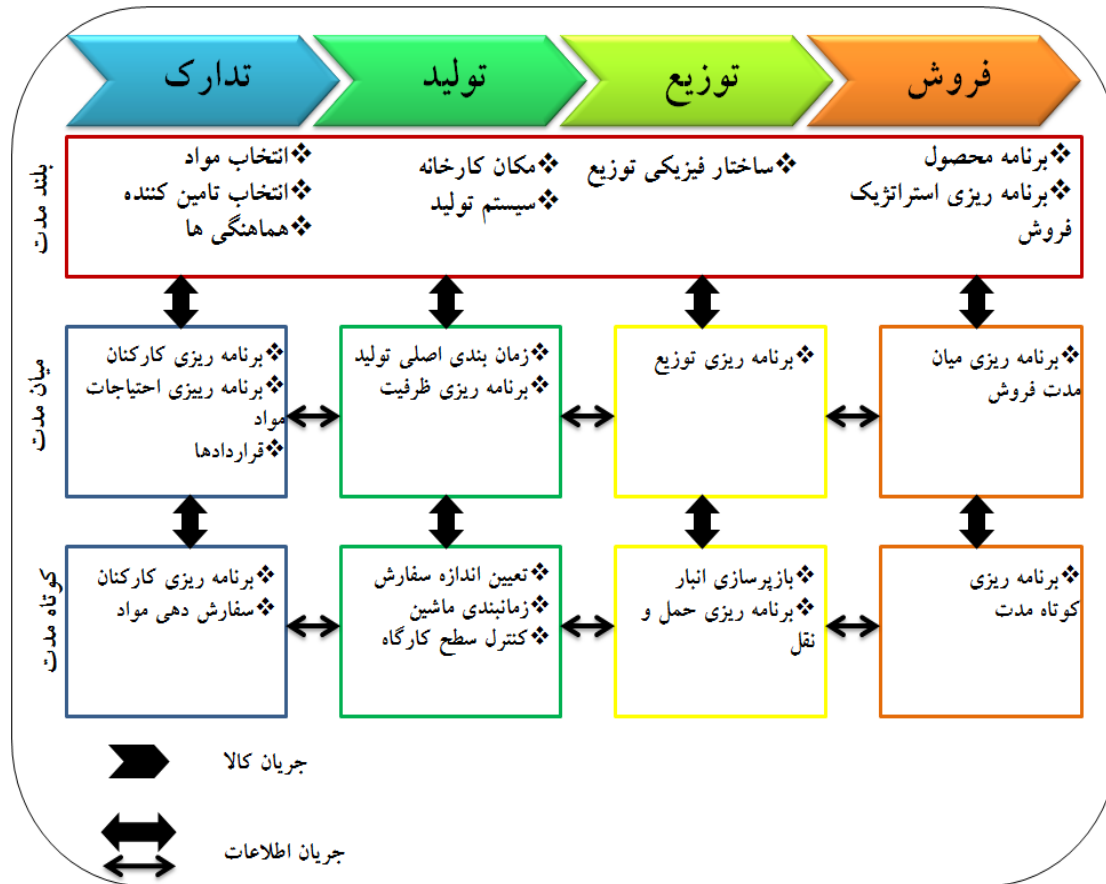
همچنین مدیریت زنجیره تأمین را می توان مدیریت کلیه جریان های داده، مالی و محصول، طی مراحل مختلف زنجیره (مشتریان، خرده فروشان، توزیع کنندگان، تولیدکنندگان و تامین کنندگان)، با هدف ماکزیمم سازی سودآوری نهایی، تعریف کرد (Mahnam et al., ۲۰۰۹). امروزه رقابت دیگر بین شرکت ها نیست بلکه بین زنجیره های تامین است که خود متشکل از چندین شرکت می باشند. کارایی یک شبکه تامین، وابسته به کارایی ضعیف ترین عضو زنجیره است در نتیجه اساسی ترین اولویت در مدیریت صحیح زنجیره تامین، طراحی شبکه زنجیره تامین به شیوه ای مناسب می باشد (Gumus et al., ۲۰۰۹).

۲-۱-۲- طراحی شبکه زنجیره تأمین

هماهنگی و یکپارچه سازی فعالیت های اصلی تجاری انجام شده توسط سازمان ها، فرآیند برنامه ریزی زنجیره تامین را به یکی از مهمترین فرآیندهای موجود در مدیریت زنجیره تامین تبدیل نموده است. طراحی شبکه زنجیره تأمین^۱ بخشی از برنامه ریزی زنجیره تامین^۲ است که هدف از آن ایجاد بستری مناسب جهت مدیریت موثر و کارای زنجیره تأمین می باشد. ماتریس برنامه ریزی زنجیره تامین (شکل ۱-۲) وظایف برنامه ریزی را در بعد افق زمانی و فرآیندهای زنجیره تامین طبقه بندی می کند. وظایف بلند مدت در یک کادر تنها نمایش داده شده است تا خصوصیت جامع برنامه ریزی استراتژیک را روشن سازد (Stadtler and Kilger , ۲۰۰۵).

۱. Supply Chain Network Design

۲. Supply Chain Planning Matrix



شکل ۱-۲- ماتریس برنامه ریزی زنجیره تامین (Stadtler and Kilger, ۲۰۰۵)

طراحی شبکه زنجیره تامین به عنوان یکی از جامع ترین مسائل تصمیم گیری استراتژیک، شامل توابع هدف چندگانه و متعارضی چون هزینه، سطح سرویس و بهره برداری از منابع، می باشد که به منظور کارآمد کردن عملکرد بلند مدت کل زنجیره تامین، می بایست بهینه گردند (Altiparmak et al., ۲۰۰۶). به طور کلی طراحی شبکه زنجیره تامین در شبکه های مستقیم^۱ و معکوس^۲ شامل کلیه فعالیت های مربوط به تعیین تعداد، مکان، ظرفیت تسهیلات، سطح ذخیره موجودی واسطه ای^۳ و حجم جریان بین این تسهیلات می باشد (Fleischmann et al., ۲۰۰۴).

۱. forward networks
۲. reverse network
۳. buffer inventory

مدل های برنامه ریزی استراتژیک، طراحی و پیکر بندی زنجیره تامین را در بلند مدت، بین ۵ تا ۱۰ سال، تحت تاثیر قرار می دهد. مدل های برنامه ریزی تاکتیکی، استفاده از منابع مختلف، از جمله کارخانه ها، انبارها، تامین کنندگان، مراکز توزیع و حمل و نقل و ... را طی زمان برنامه ریزی ۱ یا ۲ ساله، بهینه می سازند و مدل های برنامه ریزی عملیاتی در ارتباط با زمانبندی و توالی عملیات، تعیین اندازه انباشته و مسیر یابی وسائط حمل و نقل می باشد که معمولاً این مدل ها در برنامه ریزی دوره های زمانی ۱ تا ۲ هفته بکار گرفته می شوند.

۲-۱-۳- لجستیک مستقیم^۱

لجستیک مستقیم، شبکه ای از تسهیلات و مراکز توزیع است که وظیفه تامین، حمل و نقل و توزیع مواد اولیه، نیمه کاره و محصولات تکمیل شده به مشتری را بر عهده دارد (Kannan et al., ۲۰۱۰). در لجستیک مستقیم، پس از تولید، توزیع کننده محصول را به منظور تأمین تقاضا به دست مشتری که معمولاً در انتهای فرآیند قرار دارد، می رساند (Wang & Hsu, ۲۰۱۰).

۲-۱-۴- لجستیک معکوس^۲

لجستیک معکوس بر روی جریان های بازگشتی مواد از مشتریان به تامین کننده (یا یک نقطه جایگزین) با هدف ماکزیمم سازی حجم محصول بازگشتی یا مینیمم سازی مجموع هزینه های لجستیک معکوس، تمرکز دارد (Kannan et al., ۲۰۱۰). همچنین Rogers and Tibben-Lembke (۱۹۹۹) تعریف جامعی از زنجیره تامین معکوس^۳ ارائه کرده اند: “فرآیند برنامه ریزی، راه اندازی و

۱. forward Logistics

۲. reverse Logistics

۳. reverse supply chain

کنترل جریان کارا و مقرون به صرفه مواد خام، موجودی، محصولات و اطلاعات مربوطه از نقطه مصرف به نقطه مبدا به منظور کسب مجدد ارزش یا انهدام".

توزیع جریان کالاهای بازگشتی می تواند از طریق کانال های اصلی جریان مستقیم، کانال های جداگانه جریان معکوس و یا ترکیبی از این دو حالت صورت پذیرد (Kannan et al., ۲۰۱۰). به دلیل محدودیت منابع و انرژی، پایداری به یکی از مسائل مهم در حفاظت از محیط زیست تبدیل شده است. در نتیجه به منظور جلوگیری از اتلاف ضایعات مواد، در طول چرخه حیات^۱ محصولات، کلیه سازمان های می بایست تسهیلات مربوط به فرآیند ۳R (بازیافت^۲، استفاده مجدد^۳ و احیاء^۴) را در شبکه لجستیکی معکوس خود در نظر بگیرند (Wang & Hsu, ۲۰۱۰).

Kumar and Malegeant (۲۰۰۶) عملیات احیا و بازیافت صورت گرفته بر محصولات

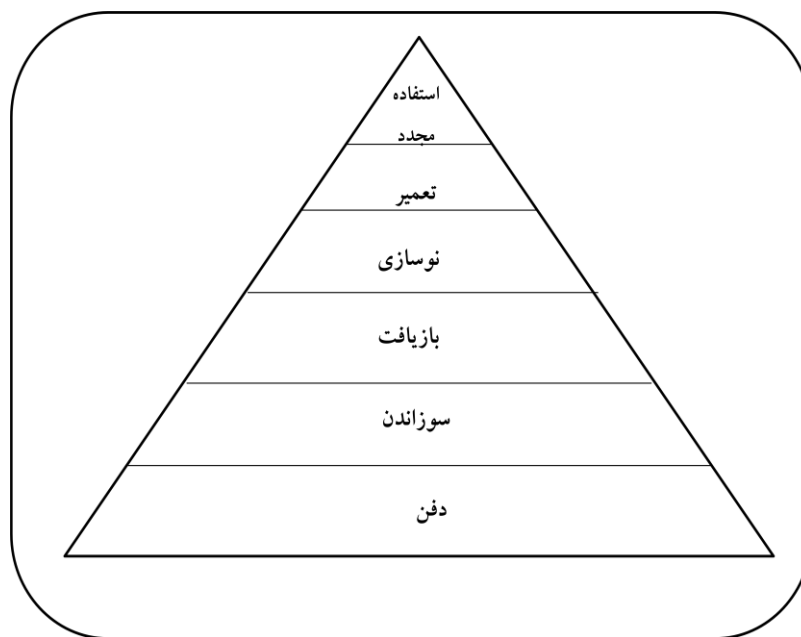
بازگشتی را به موارد زیر تقسیم کرده اند:

- ✓ **تعمیر و استفاده مجدد^۵:** عبارت است از استفاده مجدد از محصولات دست دوم. لازم به ذکر است کیفیت محصولات تعمیر شده ممکن است پایین از محصولات جدید باشد.
- ✓ **نوسازی^۶:** ارتقاء کیفی محصولات دست دوم تا سطح مشخصی، با تعویض برخی قطعات و ارتقاء تکنولوژی ساخت و مونتاژ محصولات با تکنولوژی های پیشرفته تر.
- ✓ **بازسازی^۷:** تجزیه^۱ محصولات به اجزا و بازرسی دقیق و جایگزینی قطعات خارج از رده ی شکسته به منظور ارتقاء کیفی محصولات دست دوم تا سطح استاندارد.

۱.life cycle
۲.Recycling
۳.Reuse
۴.Recovery
۵.repair and reuse
۶.refurnishing
۷.remanufacturing

✓ **قطعه قطعه کردن^۲**: احیاء قطعات قابل استفاده مجدد^۳ از محصولات دست دوم جهت استفاده در یکی از سه فرآیند فوق.

✓ **بازیافت**: جداسازی و استفاده مجدد از مواد و قسمت های مختلف محصولات دسته دوم در تولید محصول اصلی و یا سایر محصولات.



شکل ۲-۲- هرم گزینه های احیاء محصولات بازگشتی در زنجیره تامین معکوس (Kumar and Malegeant, ۲۰۰۶)

در شکل ۲-۲ با حرکت به سمت قله هرم، هزینه عملیات احیا و بازیافت افزایش می یابد. به طور کلی عملیات صورت گرفته در لجستیک معکوس عبارتند از (Kumar and Malegeant, ۲۰۰۶):

-
۱. disassembling
 ۲. cannibalization
 ۳. reusable

✓ جمع آوری: دریافت و انبار محصولات، قطعات و مواد استفاده شده و حمل آنها به نقاطی برای عملیات ثانوی.

✓ بازرسی و جمع آوری: آزمایش، جداسازی، دسته بندی، انبار و قطعه قطعه کردن که منجر به تقسیم جریان بازگشتی^۱ به جریان احیا و یا بازیافت و انهدام.

✓ پردازش/ ساخت مجدد^۲: تبدیل محصولات قابل احیا دست دوم به محصولات قابل استفاده، با استفاده از عملیات جداسازی، قطعه قطعه کردن، تعمیر و جایگزینی.

✓ دفع: سوزاندن و یا دفن ایمن محصولات، مواد و قطعات غیر قابل استفاده.

✓ توزیع مجدد^۳: انبار، حمل و فروش اقلام قابل استفاده به مصرف کنندگان بالقوه جدید.

بر اساس مطالعات انجام شده توسط kongar (۲۰۰۴)، ویژگی های زنجیره تامین مستقیم و معکوس در جدول ۱-۱ آورده شده است.

۱.reverse flow
۲.re-processing
۳.re-distribution

جدول ۱-۱- مقایسه زنجیره تأمین مستقیم و معکوس (Kongar, ۲۰۰۴)

زنجیره تأمین مستقیم	زنجیره تأمین معکوس
سهولت پیش بینی	پیش بینی دشوار
منفعت گرا ^۱	محصول گرا ^۲
واگرا	همگرا
کیفیت باثبات محصولات	کیفیت ناپایدار محصولات
بسته بندی باثبات محصولات	بسته بندی ناپایدار محصولات
ترکیب باثبات محصولات	ترکیب ناپایدار محصولات
مسیرهای حمل و نقل معین	مسیرهای حمل و نقل نامعین
معین بودن ویژگی مشخصه های اصلی	نا معین بودن ویژگی مشخصه های اصلی
ثبات قیمتی بیشتر	ثبات قیمتی پایین تر (قیمت تحت تأثیر عوامل متعددی است)
سرعت عامل تأثیر گذاری است	سرعت عامل تأثیر گذاری نیست
فاکتورهای هزینه ای به راحتی قابل شناسایی هستند	شناسایی فاکتورهای هزینه ای دشوار است
مدیریت موجودی پایا و با ثبات	مدیریت موجودی بدون ثبات
سهولت مدیریت طول عمر محصول	پیچیدگی مدیریت طول عمر محصول
تکنیک ها بازاریابی واضح	تأثیر عوامل پیچیده بسیار زیاد بر تکنیک های بازاریابی
وضوح بالای فرآیند	وضوح پایین فرآیند

۲-۱-۵- لجستیک حلقه بسته^۳

زنجیره تأمین حلقه بسته (CLSC)^۴ در حال حاضر از اهمیت بالایی برخوردار است. CLSC در برگیرنده زنجیره تأمین مستقیم و معکوس می باشد. زنجیره تأمین مستقیم اساساً در برگیرنده جریان مواد و محصولات از تأمین کننده های بالا دستی تا مصرف کنندگان پایین دستی است در حالیکه زنجیره

۱. profit benefit oriented
۲. product benefit oriented
۳. closed loop logistics
۴. Closed Loop Supply Chain (CLSC)

تامین معکوس شامل جریان محصولات مصرف شده یا فروخته نشده از مشتریان به بالای زنجیره تامین به منظور بازیافت و یا استفاده مجدد است (Wang & Hsu, ۲۰۱۰).

۲-۲- عدم قطعیت در مدلسازی ریاضی و روش حل

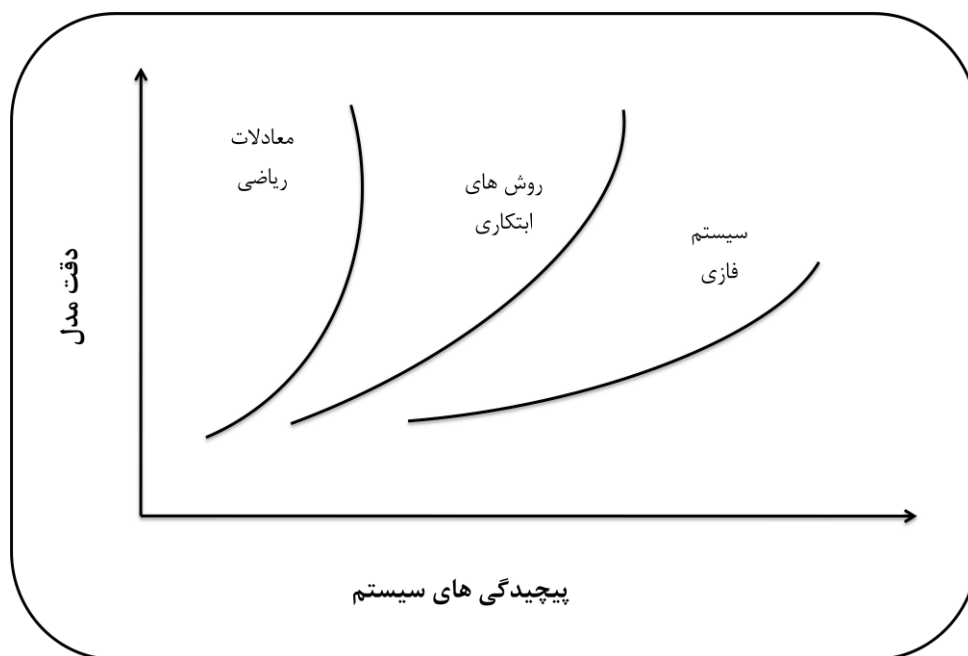
ماهیت پویا و پیچیده زنجیره تامین عدم قطعیت قابل ملاحظه ای را در عملکرد و تصمیم گیری های مربوط به برنامه ریزی شبکه زنجیره تامین ایجاد می کند. عدم قطعیت یکی از اساسی ترین مشکلات مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته می باشد. در لجستیک مستقیم تقاضای غیر قطعی، سطوح موجودی، حجم تولید و حمل را تحت تاثیر قرار می دهد اما فاکتورهای غیر قطعی موجود در زنجیره تامین معکوس بسیار پیچیده تر از فاکتورهای غیر قطعی زنجیره تامین مستقیم است. تخمین نا صحیح بر اساس اطلاعات نامعلوم و مشکوک منجر به تخمین کمتر یا بیشتر از واقع پارامترها می شود. مدل های مناسبی که قابلیت غلبه بر عدم قطعیت را داشته باشند، وجود ندارد؛ در نتیجه مشکل اساسی، مدل سازی این عدم قطعیت و حل مدل های ریاضی بدست آمده است. در مدل سازی، شناسایی پارامترهای غیر قطعی و نمایش دقیق^۱ آن ها به گونه ریاضی، مسئله اساسی است. در این فصل ابتدا انواع عدم قطعیت و روش های مدل سازی آن ها بررسی شده، سپس با توجه به ماهیت غیر قطعی پارامترهای مسئله، روش مناسب مدل سازی در فصل پنجم ارائه می گردد.

۲-۲-۱- انواع عدم قطعیت

مسائل دنیای واقعی معمولاً به دلیل وجود ابهام و عدم قطعیت در تعریف و درک، ساختار پیچیده ای دارند. در بیان و تحلیل کامل مسئله، نیاز به اطلاعات کافی و دقیق است اگر به دلایل مختلف اطلاعات کافی و دقیق در دسترس نباشد می بایست از ظرفیت استدلال تقریبی انسان جهت حل این مشکل استفاده نمود (حسن شوندی، ۱۳۸۵).

۱. precisely

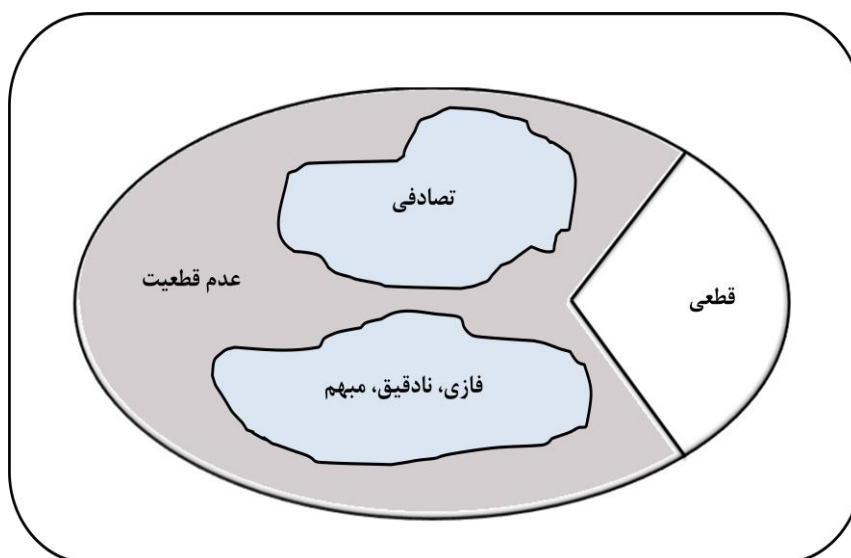
انتخاب روش و رویکرد مناسب برای مدل سازی یک سیستم بستگی به میزان پیچیدگی آن سیستم و پیچیدگی ارتباط معکوس با میزان شناخت و دانش انسان از سیستم دارد که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. اگر انسان شناخت کافی از سیستم نداشته باشد مجبور است دقت مورد انتظار از مدل را با شناخت خود از سیستم منطبق نماید. با توجه به اصل ناسازگاری (zadeh, ۱۹۷۸)، هرچه میزان آگاهی از یک سیستم افزایش یابد، پیچیدگی سیستم کاهش و دقت درک و تحلیل سیستم افزایش می یابد. به عبارت دیگر زمانی که پیچیدگی سیستم کاهش می یابد، دقت روش مدل سازی افزایش یافته و لذا ابزار مفیدی برای تحلیل سیستم ها مهیا می شود.



شکل ۲-۳- رویکرد های تحلیل سیستم در مواجهه با پیچیدگی و میزان دقت (حسن شوندی، ۱۳۸۵)

ماهیت و رفتار سیستم هایی که پیچیدگی و عدم دقت ناچیز دارند را می توان با استفاده از معادلات ریاضی به طور دقیق مدل سازی و تحلیل نمود (شکل ۲-۳). برای سیستم هایی که پیچیدگی و عدم قطعیت آنها کمی بیشتر از گروه اول است، به شرطی که به اندازه کافی داده از آن ها در اختیار باشد،

استفاده از روش های ابتکاری مدرن مانند شبکه عصبی و هوش مصنوعی، مناسب می باشد. در نهایت منطق فازی بهترین وسیله برای مدل سازی سیستم هایی با پیچیدگی و عدم قطعیت زیاد است، که اطلاعات کافی و دقیقی از آن ها در دسترس نیست و یا اطلاعات در اختیار، مبهم و غیر صریح می باشد. باید توجه داشت که در این حالت دقت مدل کاهش می یابد.



شکل ۲-۴- فضای عدم قطعیت (حسن شوندی، ۱۳۸۵)

عدم قطعیت می تواند ناشی از شانس (تصادفی بودن)، ابهام، کمبود دانش و آگاهی و یا عدم دقت باشد (شکل ۲-۴). نظریه های احتمال برای مدل سازی عدم قطعیت هایی که ناشی از رویداد های تصادفی است کاربرد دارد در حالی که نظریه فازی، عدم قطعیت غیر تصادفی را پشتیبانی می کند. به عبارت دیگر سیستم های فازی برای مدل سازی موارد زیر مناسب می باشند:

۱. عدم قطعیت ناشی از اطلاعات ناقص و ناکافی

۱،۱. ضعف دانش در شناخت پیچیدگی های یک پدیده

۱،۲. ضعف ابزار موجود در اندازه گیری یک پدیده

۲. عدم قطعیت ناشی از عدم شفافیت و عدم صراحت مربوط به ماهیت و ذات خود پدیده ها و ویژگی

ها

۲-۲-۲- انتخاب روش مدل سازی عدم قطعیت مدل ریاضی مسئله

عوامل غیر قطعی موجود در زنجیره تامین معکوس، بسیار پیچیده تر از عدم قطعیت های موجود در زنجیره تامین مستقیم است و تخمین و قضاوت نادرست بر اساس اطلاعات غیر قطعی، منجر به بالا رفتن ریسک از دست دادن اطلاعات می گردد، در نتیجه در این کار با توجه به عدم قطعیت ذاتی پارامترهای مسئله و قابلیت نمایش فازی^۱ در بیان الگوهای غیر قطعی، از اعداد فازی جهت تشریح کلیه عوامل غیر قطعی و برنامه ریزی ریاضی فازی^۲، استفاده شده است. لازم به ذکر است در فصل سوم با جزئیات بیشتری به بررسی سایر روش های مرسوم جهت مدل سازی عدم قطعیت موجود در مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین پرداخته می شود.

در برنامه ریزی های ریاضی مرسوم، معمولاً خبرگان پارامترهای مسئله را با مقادیر قطعی تعیین می کنند. اما در دنیای غیر قطعی و غیر صریح، تعیین دقیق این پارامترها امکان پذیر نمی باشد (Sengupta et al.; ۲۰۰۱). در نتیجه به منظور توسعه متدولوژی تحقیق در عملیات^۳ مناسب، از رویکردهای فازی و تصادفی جهت نمایش این عناصر غیر قطعی در مسائل تصمیم گیری استفاده می شود. در مسائل برنامه ریزی فازی، محدودیت های و اهداف به صورت مجموعه های فازی^۴ با توابع عضویت^۵ معلوم، و در مسائل برنامه ریزی تصادفی^۶، ضرایب به صورت متغیرهای تصادفی با توزیع احتمالی^۷ مشخص در نظر گرفته می شوند. توابع عضویت و توزیع های احتمال نقش بسیاری مهمی در

۱. fuzzy Presentation

۲. fuzzy mathematical programming

۳. operation research

۴. fuzzy sets

۵. membership function

۶. stochastic programming

۷. probability distribution

متد های مربوطه دارند. در حالیکه در واقعیت همواره تعیین تابع عضویت یا توزیع احتمال برای تصمیم گیرنده^۱ (DM) ساده نیست. در مواردی استفاده از ضرایب بازه ای جهت مدل سازی این عدم قطعیت مناسب می باشد لازم به ذکر است با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته در مسائل تصمیم گیری آن طور که شایسته است به آن پرداخته نشده است. در این روش با استفاده از روش برش لاند، اعداد فازی به بازه های قطعی تبدیل می شوند. بازه های تعریف شده حدود ممکن تغییرات پارامتر را معین می کنند. در برنامه ریزی فازی تبدیل مدل فازی به مدل قطعی به گونه ای اطلاعات اصلی حفظ گردد، مسئله اصلی است. از آنجا که رویکرد (Carlsson and Fuller (۲۰۰۱)، امکان ترکیب کردن کلیه سطوح پارامترهای فازی را با استفاده از میانگین امکانی فراهم می آورد. در این تحقیق نیز از این روش برای تبدیل مدل فازی به مدل بازه ای استفاده شده است.

۲-۲-۳- نمایش فازی پارامترهای غیر قطعی مدل ریاضی

مجموعه های کلاسیک^۲ و فازی زیر مجموعه هایی از یک مجموعه مرجع^۳ می باشند. مجموعه کلاسیک دارای مرز دقیق، صریح و معین می باشد، بنابراین هر المان از مجموعه مرجع یا به مجموعه کلاسیک تعلق دارد یا ندارد. منطق فازی اولین بار توسط Zadeh (۱۹۶۵) مطرح شد. بر اساس این منطق اگر X مجموعه ای از عناصر x باشد آن گاه مجموعه فازی \tilde{A} در X مجموعه زوج های مرتب به شرح ذیل است:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1], \forall x \in R\} \quad (۱ - ۲)$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ تابع عضویت یا درجه عضویت x در \tilde{A} است. تابع عضویت، مجموعه X را به فضای M تصویر می کند. اگر فضای تابع عضویت (M)، تنها شامل اعداد صفر و یک باشد آنگاه مجموعه

۱. Decision Maker

۲. crisp sets

۳. universal sets

مورد نظر، یک مجموعه کلاسیک و اگر M شامل اعداد حقیقی بین صفر و یک باشد، آن گاه مجموعه مورد نظر، یک مجموعه فازی خواهد بود.

اعداد فازی که زیر مجموعه های فازی خاصی از مجموعه اعداد حقیقی هستند در بیشتر مسائل کاربردی استفاده می شوند. در این مدل نیز پارامترهای غیر قطعی (نظیر تقاضا، حجم جیان بازگشتی، هزینه ها، زمان حمل و نقل، نرخ بازیافت و احیا و ..) به منظور واقعی تر شدن تصمیمات مرتبط با طراحی شبکه لجستیک و مکان یابی تسهیلات، بصورت اعداد فازی در نظر گرفته شده اند. یکی از عوامل مهم در استفاده از تئوری مجموعه های فازی برای حل مسائل واقعی، توجه به کارایی محاسباتی آن است. انجام محاسبات با اعداد فازی دارای مشکلات و پیچیدگی های زیادی است، برای حل این مشکل (Dubois & Prade (۱۹۸۷) اعداد فازی LR را پیشنهاد دادند. اعمال جبری با این اعداد بسیار ساده و دارای یک الگوی مشخص است و کاربرد این اعداد، باعث افزایش کارایی محاسبات بدون محدود کردن کلیت آن می شود. ساختار و قواعد مذکور موجب شده که در عمل عمدتاً از این اعداد فازی استفاده شود.

عدد فازی \tilde{M} از نوع LR است، اگر تابعی مانند L (برای چپ) و R (برای راست) و اعداد اسکالر $(\alpha, \beta > 0)$ وجود داشته باشد به طوری که:

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) & x \leq m \\ R\left(\frac{x-m}{\beta}\right) & x > m \end{cases} \quad (2-2)$$

که در آن m یک عدد حقیقی برابر میانگین \tilde{M} است و α و β به ترتیب پهنای بازه چپ و راست می باشند. \tilde{M} را به صورت $(m, \alpha, \beta)_{LR}$ نشان می دهند. از توابع مختلفی برای نمایش $L(x)$ و $R(x)$ استفاده می شود. به طور کلی توابع LR دارای مشخصاتی به شرح زیر می باشد:

۱. L و R توابعی نزولی از $[0, 1] \rightarrow R^+$ می باشند.

$$\begin{aligned}
& 2. \quad L(0) = R(0) = 1 \\
& 3. \quad L(x) < 1, R(x) < 1 \quad \forall x > 0 \\
& 4. \quad L(x) > 0, R(x) > 0 \quad \forall x < 1 \\
& 5. \quad L(1) = R(1) = 0 \quad \text{یا} \quad [L(x) > 0; \forall x, L(+\infty, 0) = 0]
\end{aligned}$$

از انواع اعداد فازی می توان به اعداد فازی مثلثی^۱، ذوزنقه ای^۲، بتا^۳، نرمال^۴، سیگموئید^۵، گوسی^۶ و.... اشاره نمود. اعداد فازی مثلثی به دلایل زیر بیشتر از سایر اعداد فازی در حل مسائل کاربرد دارند:

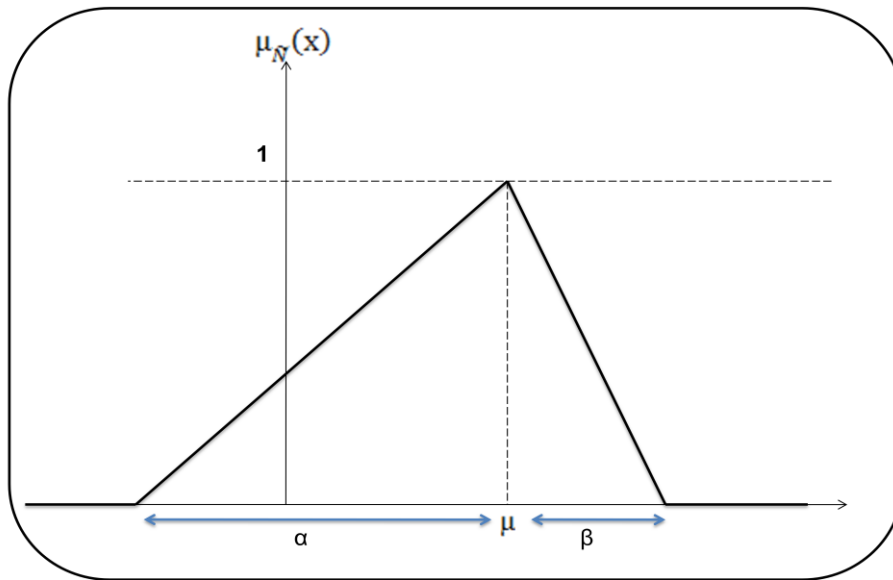
- ✓ با اطلاعات کمی به سادگی قابل تعریف هستند.
- ✓ عملیات جبری با این اعداد بسیار ساده است.
- ✓ تابع عضویت آن ها از دو پاره خط صعودی و نزولی که در ارتفاع مجموعه بهم پیوسته اند تشکیل می شود.

فرض کنید $N = (m, \alpha, \beta)_{LR}$ و $L=R$ باشد، در این صورت N یک عدد فازی مثلثی است که با $N = (m, \alpha, \beta)_T$ نشان داده می شود اگر $L(x) = \max\{0, 1 - |x|\}$ باشد (شکل ۲-۵).

$$\mu_{\tilde{N}}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) & 0 \leq \frac{m-x}{\alpha} \leq 1 \\ R\left(\frac{x-m}{\beta}\right) & 0 \leq \frac{x-m}{\beta} \leq 1 \\ 0 & \text{نقاط سایر} \end{cases} \quad (2-3)$$

۱. triangular fuzzy number
 ۲. trapezoidal fuzzy number
 ۳. beta fuzzy number
 ۴. normal fuzzy number
 ۵. sigmoid fuzzy number
 ۶. Gaussian fuzzy number

$$\mu_{\bar{N}}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{m-x}{\alpha} & m-\alpha \leq x \leq m \\ 1 - \frac{x-m}{\beta} & m \leq x \leq m+\beta \end{cases} \quad (2-4)$$



شکل ۲-۵- نمایش عدد فازی مثلثی

با توجه به مطالب فوق کلیه پارامترهای غیر قطعی مدل ارائه شده در فصل چهارم با اعداد فازی مثلثی نمایش داده می شود.

۲-۲-۴- غیر فازی سازی^۱ پارامترهای مسئله

استفاده از اطلاعات فازی در تصمیم گیری، محاسبات و مدل سازی، با پیاده سازی نتایج فازی در دنیای واقعی تفاوت دارد. علیرغم ماهیت فازی اطلاعات این مدل، تصمیم نهایی می بایست قطعی باشد. سخت افزارها و کامپیوترها همگی بر اساس نظریه دودویی عمل می کنند. در نتیجه در مدل هایی که بر اساس اطلاعات ورودی فازی ایجاد می شوند یا باید محاسبات و مدل طوری عمل نماید که خروجی آن یک تصمیم قطعی باشد (البته در مواردی که ماهیت تصمیم قطعی باشد) یا با اعمال

^۱.defuzzification

عملگرهایی نتیجه فازی به نتیجه قطعی تبدیل شود. خروجی این مدل، می بایست دارای یک جواب قطعی باشد، در نتیجه به رویه ای جهت تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی (کلاسیک) بدون از دست دادن جامعیت اطلاعات، نیاز می باشد. روش های مختلفی برای تبدیل یک مجموعه فازی به مجموعه قطعی (کلاسیک) وجود دارد. از جمله این روش ها می توان به روش های برش لاند^۱، اصل ماکزیمم عضویت^۲، مرکز سطح^۳، میانگین وزنی^۴، میانه ماکزیمم^۵، مرکز مجموع ها^۶، مرکز بزرگترین سطح^۷ و اولین (آخرین) ماکزیمم^۸، اشاره نمود (امین کوزه پزان دزفولی، ۱۳۸۴).

۲-۲-۱-۴- غیر فازی سازی به روش برش لاند

برای یک مجموعه فازی \tilde{A} ، مجموعه برش λ که با A_λ نشان داده می شود، یک مجموعه کلاسیک است که درجه عضویت اعضای آن در مجموعه فازی \tilde{A} بزرگتر یا مساوی λ می باشد.

$$\tilde{A}_\lambda = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \lambda\} \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (2-5)$$

λ برش ها، توصیفی از مجموعه فازی با استفاده از مجموعه های قطعی ارائه می دهند که دارای ویژگی های زیر می باشند:

۱. خانواده $\{A_\lambda | \lambda \in [0,1]\}$ یکنواست یعنی $A_\theta \subseteq A_\lambda \Rightarrow 0 < \lambda \leq \theta \leq 1$
۲. $A \subset B \Leftrightarrow A_\lambda \subseteq B_\lambda$

۱. λ - Cut
 ۲. max membership principle
 ۳. center of area
 ۴. weighted average
 ۵. middle of maximum
 ۶. center of sum
 ۷. center of largest area
 ۸. first (last) of maxima

$$(\tilde{A} \cup \tilde{B})_{\lambda} = \tilde{A}_{\lambda} \cup \tilde{B}_{\lambda} \quad ۳$$

$$(\tilde{A} \cap \tilde{B})_{\lambda} = \tilde{A}_{\lambda} \cap \tilde{B}_{\lambda} \quad ۴$$

$$(\tilde{A}')_{\lambda} \neq (A')_{\lambda} \quad \lambda = ۰/۵ \text{ به استثنای } \quad ۵$$

هر مجموعه فازی مانند \tilde{A} را می توان به تعداد بی نهایت مجموعه برش لاندای تبدیل کرد، زیرا در بازه $[۰, ۱]$ بی نهایت عدد وجود دارد. در نهایت اگر \tilde{A} یک عدد فازی باشد، برای هر سطح λ ، A_{λ} بازه بسته ای است با حد بالا و پایین، که بصورت $[a_L(\lambda), a_U(\lambda)]$ نمایش داده می شود (zadeh, ۱۹۷۵). با استفاده از تعریف فوق، از روش برش لاندای (یا مجموعه تراز لاندای وابسته به A)، برای تبدیل یک اعداد فازی به بازه های قطعی استفاده می شود.

زمانی که یک عدد فازی با استفاده از مجموعه تراز، غیر فازی سازی می گردد اطلاعات به مجموعه های بازه ای^۱ تجزیه^۲ می شود، در نتیجه به منظور تجمیع کلیه اطلاعات، مجموع تمامی مجموعه های تراز محاسبه می شود (Carlsson & Fuller, ۲۰۰۱). بر اساس اتحاد تجزیه^۳ (Zimmermann, ۲۰۰۱)، هر مجموعه فازی مانند \tilde{A} را می توان به صورت زیر بر حسب مجموعه های تراز^۴ آن تجزیه کرد.

$$A = \cup_{\lambda} \lambda A_{\lambda} \quad (۶ - ۲)$$

که اگر A یک مجموعه فازی باشد، آنگاه λA_{λ} که در آن $\lambda \in [۰, ۱]$ به صورت یک مجموعه فازی با تابع عضویت $(\lambda A)(x) = \lambda A(x)$ تعریف می شود.

۱. interval set
 ۲. disaggregate
 ۳. decomposition identity
 ۴. level Set

با توجه به مرور ادبیات موجود در این زمینه، (Dubois and Prade (1987) ارزش بازه ای مورد انتظار^۱ اعداد فازی را بر اساس مقدار میانگین امکانی^۲ بدست آمده از وزن دهی به تمامی برش های هم تراز^۳، ارائه کردند، همچنین (Carlsson and Fuller (۲۰۰۱) با استفاده از مفهوم مقدار میانگین امکانی بالا^۴ و پایین^۵، ارزش بازه ای میانگین امکانی^۶ را (سازگار با اصل توسعه^۷ zadeh, (۱۹۷۵) و تعریف امید ریاضی در تئوری احتمالات)، استخراج نمودند. به همین علت شیوه غیر فازی سازی بر اساس برش های لاند، قادر به حفظ اطلاعات اصلی است و امکان تحلیل و کاربرد وسیع تری را فراهم می آورد. در ادامه روش محاسبه مقدار میانگین امکان و ارزش بازه ای میانگین امکان اعداد فازی بر اساس روش Carlsson and Fuller (۲۰۰۱) نشان داده شده است.

میانگین امکان یک عدد فازی، از میانگین حسابی^۸ تمام مجموعه های تراز λ (برش لاند)، با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$\bar{M}(A) = \int_0^1 \lambda(a_l(\lambda) + a_u(\lambda))d\lambda = \frac{\int_0^1 \lambda(a_l(\lambda) + a_u(\lambda))d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda}$$

$$\bar{M}(A) = \int_0^1 \lambda(a_l(\lambda) + a_u(\lambda))d\lambda = \frac{\int_0^1 \lambda a_l(\lambda)d\lambda + \int_0^1 \lambda a_u(\lambda)d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda}$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{\int_0^1 \lambda a_l(\lambda)d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda} + \frac{\int_0^1 \lambda a_u(\lambda)d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\int_0^1 \lambda a_l(\lambda)d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda} + \frac{\int_0^1 \lambda a_u(\lambda)d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda} \right) \quad (7 - 2)$$

۱. interval-valued expectation

۲. possibilistic mean

۳. level cut

۴. upper possibilistic mean value

۵. lower possibilistic mean value

۶. interval-value possibilistic mean

۷. extension principle

۸. arithmetic mean

در صورتیکه میانگین امکان کران پایین^۱ و بالای^۲ عدد فازی به ترتیب از فرمول های زیر محاسبه شوند:

$$M_*(\tilde{A}) = \frac{\int_1^{\cdot} \lambda a_1(\lambda) d\lambda}{\int_1^{\cdot} \lambda d\lambda} \quad (۸ - ۲)$$

$$M^*(\tilde{A}) = \frac{\int_1^{\cdot} \lambda a_u(\lambda) d\lambda}{\int_1^{\cdot} \lambda d\lambda} \quad (۹ - ۲)$$

$$M(A) = \frac{1}{2} (M_*(\tilde{A}) + M^*(\tilde{A})) \quad (۱۰ - ۲)$$

در نتیجه میانگین امکان یک عدد فازی، برابر با متوسط میانگین امکان کران بالا و پایین عدد فازی \tilde{A} می باشند. همچنین ارزش بازه ای میانگین امکان عدد فازی \tilde{A} با مقادیر میانگین امکان پایین و بالای آن عدد نمایش داده می شود.

$$\overline{M}(\tilde{A}) \equiv [M_*(\tilde{A}), M^*(\tilde{A})] \quad (۱۱ - ۲)$$

به دلیل اطلاعات ناقص اعداد فازی، بر اساس مفاهیم واریانس در تئوری احتمالات، اندیس عدم دقت مجذور میانگین (MSII) به منظور تشخیص میزان تغییرپذیری^۳، محاسبه می گردد. اگر عدد فازی \tilde{A} برای هر سطح λ بازه بسته ای با حد بالا a_U و پایین a_L بصورت $A_\lambda = [a_L(\lambda), a_U(\lambda)]$ نمایش داده می شود واریانس آن برابر با فرمول زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \text{var}(A) &= MSII \\ &= \int_1^{\cdot} \lambda \left(\left[\frac{a_L(\lambda) + a_U(\lambda)}{2} - a_L(\lambda) \right]^2 + \left[\frac{a_L(\lambda) + a_U(\lambda)}{2} - a_U(\lambda) \right]^2 \right) d\lambda \end{aligned}$$

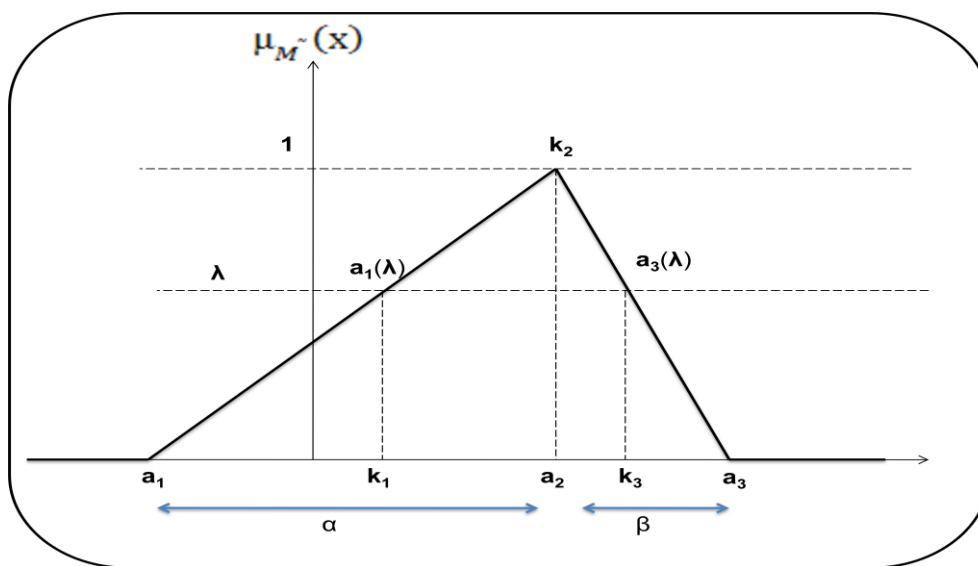
۱. lower bound possibilistic mean

۲. upper bound possibilistic mean

۳. variability

$$= \frac{1}{\gamma} \int_{\lambda}^1 \lambda (a_U(\lambda) - a_L(\lambda))^{\gamma} d\lambda \quad (12-2)$$

واریانس عدد A برابر است با مقدار مورد انتظار مجذور انحراف بین میانگین حسابی و نقطه پایانی مجموعه های تراز. در صورتی که عدد فازی مثلثی بصورت $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ نشان داده شود، برش λ این عدد برابر است با (شکل ۶-۲):



شکل ۶-۲- برش λ عدد فازی \tilde{A}

$$A^{(\lambda)} = [a_1^{(\lambda)}, a_3^{(\lambda)}] \quad (13-2)$$

به منظور محاسبه $a_1^{(\lambda)}$ در مثلث $a_1 a_2 k_1$ داریم:

$$\frac{a_1 k_1}{a_1 a_2} = \frac{a_1^{(\lambda)} k_1}{a_2 k_1} \Rightarrow \frac{a_1 k_1}{(a_2 - a_1)} = \frac{\lambda}{1} \Rightarrow a_1 k_1 = (a_2 - a_1) \lambda$$

$$a_1^{(\lambda)} = a_1 + a_1 k_1 = a_1 + (a_2 - a_1) \lambda \quad (14-2)$$

و در مثلث $a_1 a_2 k_2$ داریم:

$$\frac{a_2 k_2}{a_1 a_2} = \frac{a_2^{(\lambda)} k_2}{a_2 k_2} \Rightarrow \frac{a_2 k_2}{(a_2 - a_1)} = \frac{\lambda}{1} \Rightarrow a_2 k_2 = (a_2 - a_1) \lambda$$

$$a_2^{(\lambda)} = a_2 - a_2 k_2 = a_2 - (a_2 - a_1) \lambda \quad (15 - 2)$$

با توجه به روابط فوق، در صورتیکه A یک عدد فازی مثلثی بصورت $A = (a, \alpha, \beta)$ در نظر گرفته شود که در آن a مرکز، $\alpha > 0$ پهنای چپ و $\beta > 0$ پهنای راست باشد، تراز λ میانگین امکان کران پایین، میانگین امکان کران بالا، ارزش بازه ای میانگین امکان، مقدار میانگین امکان و اندیس عدم دقت مجذور میانگین برای اعداد فازی مثلثی \tilde{A} بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$\begin{aligned} [A]^\lambda &= [a_1^{(\lambda)}, a_2^{(\lambda)}] = [a_1 + (a_2 - a_1) \lambda, a_2 - (a_2 - a_1) \lambda] \\ &= [a - (1 - \lambda) \alpha, a + (1 - \lambda) \beta] \quad \forall \lambda \in [0, 1] \end{aligned} \quad (16 - 2)$$

$$M_*(\tilde{A}) = \frac{\int_0^1 \lambda a_l(\lambda) d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda} = a - \frac{\alpha}{3} \quad (17 - 2)$$

$$M^*(\tilde{A}) = \frac{\int_0^1 \lambda a_u(\lambda) d\lambda}{\int_0^1 \lambda d\lambda} = a + \frac{\beta}{3} \quad (18 - 2)$$

$$\bar{M}(\tilde{A}) \equiv \left[a - \frac{\alpha}{3}, a + \frac{\beta}{3} \right] \quad (19 - 2)$$

$$M(A) = \frac{1}{3} \left(a - \frac{\alpha}{3} + a + \frac{\beta}{3} \right) = a + \frac{\beta - \alpha}{6} \quad (20 - 2)$$

$$\begin{aligned} \text{var}(A) &= MSII = \frac{1}{3} \int_0^1 \lambda (a + (1 - \lambda) \beta - (a - (1 - \lambda) \alpha))^2 d\lambda \\ &= \frac{(\alpha + \beta)^2}{24} \end{aligned} \quad (21 - 2)$$

\.spread

از آنجا که عدد فازی \tilde{A} یک عدد فازی مثلثی است، در نتیجه درجه امکان^۱ این عدد نیز دارای توزیع مثلثی^۲ است. به منظور بررسی آماری فاصله اطمینان^۳، در صورتی که بخواهیم یک درصد مساوی از کران بالا و پایین یک توزیع مثلثی غیر متقارن حذف کنیم، فاصله اطمینان با سطح اطمینان $1 - \omega$ برابر است با $[a - (1 - \omega)\alpha, a + (1 - \omega)\beta]$.

۲-۲-۵- تصمیم گیری چند هدفه فازی

در تصمیم گیری چند هدفه فازی، تعداد n هدف فازی وجود دارد که می بایست در مواجهه با m محدودیت فازی به طور همزمان بهینه شوند. مطابق تعریف Belman & Zade (۱۹۷۰) در صورتیکه n هدف فازی G^{\sim} و m محدودیت فازی C^{\sim} در فضای X وجود داشته باشد، آن گاه G^{\sim} و C^{\sim} تشکیل یک تصمیم D^{\sim} می دهند که یک مجموعه فازی حاصل از اشتراک G^{\sim} و C^{\sim} است:

$$D^{\sim} = (G^{\sim}_1 \cap G^{\sim}_2 \cap \dots \cap G^{\sim}_n) \cap (C^{\sim}_1 \cap C^{\sim}_2 \cap \dots \cap C^{\sim}_m) \quad (22-2)$$

$$\mu_{D^{\sim}} = \min\{\mu_{G^{\sim}_1}, \mu_{G^{\sim}_2}, \dots, \mu_{G^{\sim}_n}, \mu_{C^{\sim}_1}, \mu_{C^{\sim}_2}, \dots, \mu_{C^{\sim}_m}\} \quad (23-2)$$

$$\mu_{D^{\sim}} = \min\{\mu_{G^{\sim}_i}, \mu_{C^{\sim}_j}\} \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m \quad (24-2)$$

۱. degree of possibility
 ۲. triangle distribution
 ۳. confidence interval

در این روش فرض بر این است که همه اهداف و محدودیت ها از یک درجه اهمیت یکسان برخوردار هستند.

$$\begin{aligned}
 \max^{\sim} &= f_1(x) \\
 \max^{\sim} &= f_2(x) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 \max^{\sim} &= f_n(x) \\
 \text{s. t.} \\
 x &\in S
 \end{aligned}
 \tag{۲۵-۲}$$

$f_i(x)$ هدف i ام مسئله و S فضای جواب مسئله است. در این روش بهینه کردن محدودی اهداف مد نظر است. برای حل مسئله فوق ابتدا می بایست تابع عضویت اهداف در راستای حداکثر شدن به دست آید. در این حالت تابع عضویت برای حداکثر کردن فازی، به معنی درجه ارضا شدن آن هدف از حداکثر شدن است (شوندی، ۱۳۸۵).

برای بدست آوردن تابع عضویت اهداف، ابتدا مقدار بیشینه / بهینه (M_i) و مقدار کمینه/بدترین مقدار (m_i) هر هدف به صورت مجزا از سایر اهداف در مواجهه با محدودیت ها بدست می آید. در نهایت تابع عضویت هر یک از اهداف بر اساس فرمول ۲-۲۶ محاسبه می گردد.

$$\mu_i(f_i(x)) = \frac{f_i(x) - m_i}{M_i - m_i}
 \tag{۲۶ - ۲}$$

در نهایت جواب بهینه مسئله طبق تعریف با استفاده از فرمول ۲-۲۷ محاسبه می گردد:

$$\begin{aligned}
 \max \min \{ \mu_i(f_i(x)) \} \\
 \text{s. t.} \\
 x \in S
 \end{aligned}
 \tag{۲۷ - ۲}$$

۲-۳-۲- روش حل غیر دقیق^۱

۲-۳-۱- دلیل استفاده از روش غیر دقیق

اکثر مدل های طراحی شبکه لجستیک در فضای گسسته، ترکیبی از دو مسئله مکان یابی تسهیلات با ظرفیت محدود^۲ (CPLP) و بهینه سازی جریان^۳ می باشد. این مسائل قابل کاهش به مسئله مکان یابی تسهیلات با ظرفیت محدود هستند که در دسته NP-complete قرار دارند (Davis And Ray, ۱۹۶۹). به علت پیچیدگی زمانی بالا برای حل این گونه مسائل در اندازه های بزرگ نمی توان از روش های دقیق^۴ استفاده نمود، لذا در این تحقیق برای حل مدل مورد بررسی، یک روش ابتکاری بر مبنای الگوریتم ژنتیک ارائه شده است.

۲-۳-۲- انتخاب روش غیر دقیق

الگوریتم های تکاملی (EAs)^۵ به دلیل توانمندی در یافتن سریع و استخراج^۶ نواحی امید بخش^۷، از کل فضای جستجو^۸، عملکرد بسیار مناسبی در جستجوی سراسری^۹ دارا می باشند، البته همگرایی^{۱۰} به بهینه محلی^{۱۱}، نیازمند صرف زمان نسبتاً بالایی در این الگوریتم ها می باشد. همچنین الگوریتم های تکاملی به دلیل سروکار داشتن همزمان با مجموعه از جواب های ممکن (جمعیتی از

۱. non- exact

۲. Capacitated Plant Location problem (CPLP)

۳. flow optimization

۴. exact

۵. Evolutionary Algorithms

۶. exploiting

۷. promising regions

۸. search space

۹. global searching

۱۰. converge

۱۱. local optimum

جواب ها)، امکان پیدا کردن تعداد بیشماری از مجموعه جواب های بهینه پارتو^۱ را در یک بار اجرای الگوریتم به جای چندین بار اجرای تکنیک های برنامه ریزی ریاضی سنتی، فراهم می سازد. فضای های حل ناپیوسته و مقعر دو مورد از عمده مشکلات اساسی حین استفاده از تکنیک های برنامه ریزی ریاضی می باشند در حالی که از الگوریتم های تکاملی می توان در حل این مدل ها نیز استفاده نمود (Coello and Pulido, ۲۰۰۵).

الگوریتم ژنتیک^۲ (GA) به دلیل ترکیب مزایای تولید اعداد تصادفی و استفاده اطلاعات مربوط به تکرارهای پیشین به منظور ارزیابی و بهبود جمعیتی از جواب ها (به جای یک نقطه)، به یکی از الگوریتم های رایج در جستجوی سراسری تبدیل شده است (Wang and Hsu, ۲۰۱۰). GA به عنوان یک روش ابتکاری^۳ همانند یک جعبه سیاه، که کاملاً به ویژگی های مسئله وابسته است، عمل می کند. با استفاده از مکانیزم بقای بهترین جواب، جواب هایی که مقدار تابع برازندگی^۴ بالاتری داشته باشند تکامل^۵ می یابند. همچنین در این الگوریتم از عملگرهای تکاملی ساده همچون تقاطع^۶ و جهش^۷ به منظور تولید نسل^۸ بهتر نسبت به والدین استفاده می گردد. پس از اعمال این عملگر در تعداد مناسبی تولید نسل، الگوریتم در نهایت به جواب نزدیک به بهینه می رسد (Szöllös et al., ۲۰۰۹).

در سال های اخیر موفقیت و توانمندی الگوریتم ژنتیک در حل بسیاری از مسائل کاربردی، نشان داده شده است. کیفیت مناسب جواب های تولید شده توسط این الگوریتم به ماهیت تصادفی تکنیک استفاده شده در این الگوریتم و نیز در نظر گرفتن تابع هدف به عنوان تابع برازندگی جهت

-
۱. Pareto optimum
 ۲. Genetic Algorithm
 ۳. heuristic method
 ۴. fitness function
 ۵. evolve
 ۶. crossover operator
 ۷. mutation Operator
 ۸. generation

هدایت الگوریتم به جستجوی مناطق مطلوبی از فضای جستجو، وابسته است (Coello Coello, ۲۰۰۲).

۲-۳-۱- الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل ریاضی چند هدفه

در بسیاری از مسائل دنیا واقعی، بهینه سازی همزمان توابع هدف مختلف و معمولاً متناقض مد نظر می باشد. الگوریتم های تکاملی (EAs) به دلیل سروکار داشتن با مجموعه ای از جواب های ممکن، جهت حل مسائل بهینه سازی چند هدفه^۱ (MOPs) بسیار کارآمد می باشند. امکان حل مسائل پیچیده با فضاهای موجه گسسته^۲، ناپیوسته^۳، چند وجهی^۴ کارایی بالقوه EAs را در حل مسائل بهینه سازی چند هدفه تقویت می کند (Szöllös et al., ۲۰۰۹).

الگوریتم ژنتیک (GA) به دلیل جستجوی همزمان نواحی مختلف از فضای جستجو قادر به یافتن مجموعه جواب های متنوع برای مسائل چند هدفه می باشد. همچنین بیشتر الگوریتم های ژنتیک چند هدفه نیازی به رتبه بندی^۵، مقیاس بندی^۶ و وزن دهی به اهداف ندارند در نتیجه این الگوریتم رایج ترین روش ابتکاری برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه می باشد (Konak, ۲۰۰۶).

۱. Multi-objective Optimization Problems (MOPs)

۲. disjoint

۳. discontinuity

۴. multimodality

۵. prioritize

۶. scale

۲-۲-۳-۲- الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل ریاضی محدودیت دار

از آنجا که الگوریتم های تکاملی جزء روش های بهینه سازی بدون محدودیت^۱ می باشند، می بایست مکانیزمی را جهت جستجو در فضای حل محدود شده ارائه نمود. با توجه به تکنیک های مختلف بررسی محدودیت ها، در سال های اخیر الگوریتم های تکاملی بهینه سازی محدود شده (COEAs)^۲ زیادی ارائه شده است. متعارف ترین رویکرد در استفاده از الگوریتم های تکاملی (EAs) برای حل مسائل بهینه سازی محدود شده (همراه با محدودیت) (COPs)^۳، در نظر گرفتن جریمه در تابع هدف به منظور جریمه نمودن نقض محدودیت ها می باشد (Gan, ۲۰۱۰). در این روش مسئله بهینه سازی محدودیت دار به وسیله تابع جریمه^۴ به یک مسئله بدون محدودیت تبدیل می شود.

۲-۳-۳- تشریح الگوریتم ژنتیک کلاسیک

مفاهیم اولیه الگوریتم ژنتیک برای اولین بار توسط Holland در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است. GA با بکارگیری تئوری تکامل به جستجوی فضای حل می پردازد. در طبیعت گونه های ضعیف تر منقرض می شوند و گونه های قوی تر شانس بیشتری برای نجات خواهند داشت. در ادامه هر یک از اجزای این الگوریتم تشریح می گردد (Konak, ۲۰۰۶):

✓ کروموزوم^۵: بردار جواب x یک عضو یا کروموزوم نامیده می شود. کروموزوم ها از ژن^۶ هایی تشکیل شده اند که یک یا چندین ویژگی کروموزوم را کنترل می کند.

۱.unconstrained optimization methods

۲.Constrained Optimization Evolutionary Algorithms (COEAs)

۳.Constrained Optimization Problems (COPs)

۴.penalty function

۵.chromosome

۶.gene

✓ **جمعیت^۱**: مجموعه ای کروموزوم ها که معمولاً بصورت تصادفی تولید می شوند. با تکامل الگوریتم، جمعیت در برگیرنده جواب های مناسب تری می شود و در نهایت به جواب بهینه محلی مسئله همگرا می شود.

✓ **عملگر تقاطع**: یکی از عملگرهای تولید فرزند^۲ از والدین^۳ در GA می باشد. در این عملگر معمولاً دو کروموزوم والد با یکدیگر ترکیب شده و کروموزوم فرزند را تولید می کنند. در این عملگر بهترین والدین بر اساس مقدار برازندگی انتخاب می شوند در نتیجه انتظار می رود فرزندان بهترین ژن ها را به ارث^۴ ببرند. با اعمال این عملگر طی نسل های مختلف ژن های کروموزوم های برتر، بیشتر ظاهر خواهند شد و انتظار می رود که الگوریتم به جواب مناسب همگرا شود.

✓ **عملگر جهش**: این عملگر با ایجاد تغییرات تصادفی در ژن های کروموزوم ها و ایجاد تنوع در مجموعه جواب های (کروموزوم ها)، فرصت فرار از بهینه ها محلی را برای الگوریتم فراهم می کند.

✓ **تولید مجدد^۵**: شامل انتخاب^۶ کروموزوم ها برای نسل بعدی می باشد. به طور معمول مقدار برازندگی کروموزوم ها احتمال بقای^۷ این جواب ها را در نسل بعدی معین می کند.

دو نکته مهم در مورد استفاده از GA، سایز جامعه و نحوه تولید جمعیت اولیه می باشد. Goldberg (۱۹۸۹) در تحقیقی نشان داد که به منظور تولید جواب های مناسب می بایست تعداد جمعیت را به صورت نمایی، متناسب با طول کروموزوم افزایش داد، همچنین با توجه به ادبیات موجود در این زمینه دو روش متفاوت برای تولید جمعیت اولیه وجود دارد: ۱- تولید تصادفی و ۲- تولید

۱. population

۲. Offspring

۳. parents

۴. inherit

۵. reproduction

۶. selection

۷. survival

ابتکاری جمعیت اولیه. بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از رویکرد ابتکاری در تولید جمعیت اولیه منجر به ایجاد نتایج/ جواب هایی با کیفیت بهتر و کاهش تعداد دفعات تکرار الگوریتم می گردد (Doris et al., ۲۰۰۸).

۲-۳-۴- الگوریتم ژنتیک میکرو (μGA)

۲-۳-۴-۱- علت انتخاب الگوریتم ژنتیک میکرو

جمعیت مورد نیاز برای اجرای الگوریتم ژنتیک در برخی مواقع بین صدها و تا هزاران عدد افزایش می یابد. حل مسائل دنیای واقعی با این میزان جمعیت، بسیار زمان بر خواهد بود. ایده الگوریتم ژنتیک میکرو از نتایج تئوری تحقیقات Goldberg (۱۹۸۹) بوجود آمده است. بر اساس این تحقیقات، بدون در نظر گرفتن طول کروموزوم، جمعیتی با اندازه ۳ کروموزوم با تعداد تکرارهای مناسبی، به جواب بهینه محلی همگرا می شود. همچنین Krishnakumar (۱۹۸۹) یک الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن جمعیت اولیه بسیار محدودی در حدود ۵ تا ۱۰ کروموزوم، با نام الگوریتم ژنتیک میکرو (μGA) ارائه نمود. در این الگوریتم تنها از عملگرهای انتخاب و تقاطع استفاده شده و به جای عملگر جهش کل جمعیت مجدداً تولید شده است.

الگوریتم ژنتیک میکرو ($GA\mu$) پیشنهاد شده توسط Goldberg (۱۹۸۹) با ایجاد یک جمعیت تصادفی کوچک آغاز شده و پس از اعمال عملگرهای ژنتیکی تا همگرایی به یک مقدار معین ادامه می یابد، سپس بهترین جواب به نسل بعدی منتقل شده و مابقی اعضای جمعیت جدید بصورت تصادفی برای نسل آینده تولید می گردد. تفاوت های الگوریتم ژنتیک کلاسیک با الگوریتم ژنتیک میکرو عبارتند از (Wang et al., ۲۰۱۰):

۱. در $GA\mu$ از جمعیت بسیار کوچکی بین ۵ تا ۱۰ کروموزوم می باشد در حالیکه در GA جمعیت بین صدها تا هزار کروموزوم در نظر گرفته می شود.
۲. در GA به منظور ایجاد تنوع^۱ از عملگر جهش استفاده می شود. در $GA\mu$ با در نظر گرفتن جمعیت کوچک، همگرایی (در حلقه داخلی)، سریع تر از GA ، اتفاق می افتد. در $GA\mu$ از عملگر جهش استفاده نمی شود، زیرا ایجاد تنوع در جمعیت کوچک کروموزوم، نمایش صحیحی از فضای حل ارائه نمی دهد. در نتیجه به منظور ایجاد تنوع یک جمعیت جدید بصورت کاملاً تصادفی تولید می گردد.

^۱.diversity

فصل سوم

مرور ادبیات

از آنجا که هدف این تحقیق طراحی استراتژیک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن پارامترهای غیر قطعی می باشد، در این فصل ابتدا اهمیت طراحی شبکه لجستیک در برنامه ریزی استراتژیک زنجیره تامین، مفهوم یکپارچگی در زنجیره تامین و پس از آن ویژگی های خاصی که می بایست در طراحی زنجیره تامین حلقه بسته مدنظر قرار گیرد، تشریح می گردد. در ادامه ادبیات موضوعی مرتبط به طراحی زنجیره تامین در دو بخش عمده قطعی و غیر قطعی و به ترتیب در زیر بخش های لجستیک مستقیم، معکوس و یکپارچه بررسی شده و در انتها نیز روش های مختلف حل بکار گرفته شده در مطالعات پیشین، دسته بندی می گردد.

۳-۱- اهمیت طراحی شبکه لجستیک

همانطور که در فصل قبل اشاره شد طراحی شبکه لجستیک بخشی از برنامه ریزی استراتژیک زنجیره تامین است. شبکه لجستیک که توزیع در بستر آن صورت می گیرد، تاثیر قابل توجهی روی میزان سوددهی زنجیره و رضایت مشتری دارد. همچنین طراحی مناسب این شبکه می تواند نقش مثبتی روی اهداف زنجیره تامین به خصوص کاهش هزینه ها، سطح پاسخگویی^۱ (واکنش پذیری) و کارایی داشته باشد (Shen, ۲۰۰۷; Chopra, ۲۰۰۳). از آنجا هزینه و زمان زیادی صرف احداث یا بستن تسهیلات می شود تغییر تسهیلات در کوتاه مدت امکان پذیر نمی باشد.

۱. responsiveness

سرمایه گذاری در تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه، بازگشت سرمایه بیشتری نسبت به تصمیمات سطح تاکتیکی و عملیاتی دارد همچنین تصمیمات استراتژیک قبل از تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی اتخاذ می گردند، و برای تصمیمات سطوح پایین تر نقش محدودیت را بازی می کنند (Meepetchdee and shah, ۲۰۰۷). از آنجا که هدف از این تحقیق طراحی شبکه زنجیره تامین می باشد و تعیین ساختار فیزیکی زنجیره مطابق با شکل ۱-۲ (ماتریس برنامه ریزی زنجیره تامین - Statlerd and Kilger, ۲۰۰۵) جزء تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه است، در ادامه تنها مقالاتی که تصمیمات سطوح استراتژیک یا ترکیبی از استراتژیک و تاکتیکی یا عملیاتی را در بر گرفته باشند، مورد بررسی قرار می گیرند.

۳-۲- مفهوم یکپارچگی در طراحی شبکه لجستیک

دو برداشت از طراحی یکپارچه شبکه لجستیک در ادبیات وجود دارد. برداشت اول از واژه یکپارچه، به معنای یکپارچه سازی تصمیمات سطوح استراتژیک (بلند مدت)^۱، تاکتیکی (میان مدت)^۲ و عملیاتی (کوتاه مدت)^۳ در طراحی شبکه است. طراحی شبکه لجستیک در ماهیت یک تصمیم استراتژیک است که به طور معمول شامل تعیین محل تسهیلات، ظرفیت آنها، تعداد رده ها در زنجیره و نحوه ارتباطات تسهیلات می باشد، لذا باید توجه داشت که یکپارچه کردن تصمیمات سطوح پایین تر باید با حفظ تصمیمات سطح استراتژیک باشد. در صورت یکپارچه سازی این تصمیمات با تصمیمات سطح تاکتیکی نظیر مدیریت موجودی و یا سطح عملیاتی مانند مسیر یابی^۴ می توان از ایجاد زیر بهینگی^۵ جلوگیری کرد. به دلیل اینکه این نوع یکپارچه سازی سطوح تصمیم گیری را به طور عمودی ادغام می

۱. strategic (long-term)

۲. tactical (mid-term)

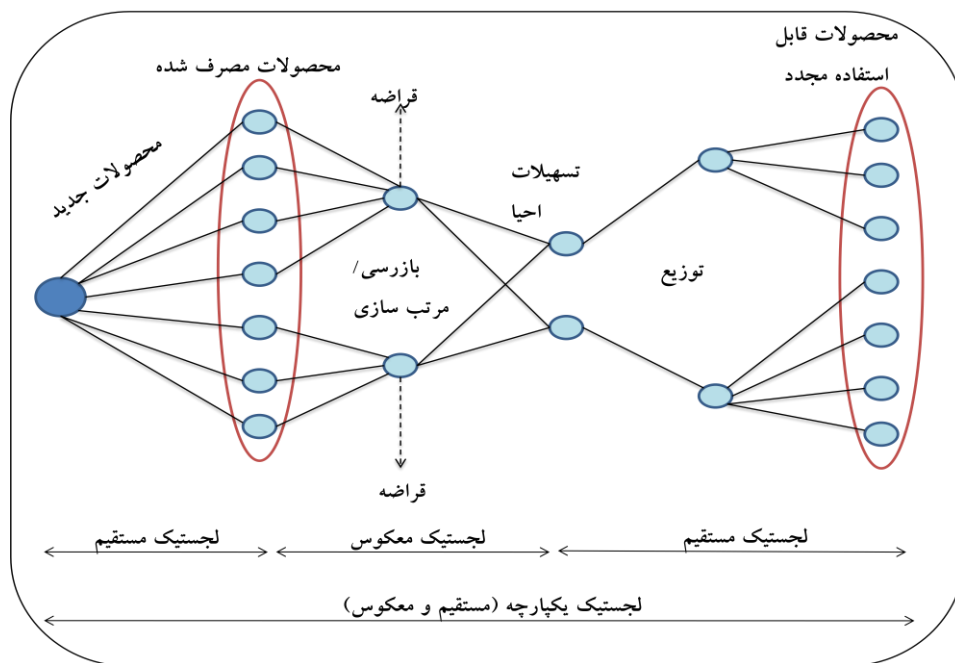
۳. operational (short-term)

۴. routing

۵. sub-optimality

کند (شکل ۲-۱)، از آن با عنوان یکپارچه سازی عمودی یاد می شود. لازم به ذکر است که هدف از یکپارچه سازی در این تحقیق مفهوم فوق الذکر نمی باشد، بنابراین خوانندگان جهت مطالعه بیشتر به مقاله مروری (Shen , ۲۰۰۷) که به طور مناسبی به این موضوع پرداخته است، ارجاع داده می شوند.

برداشت دوم از واژه یکپارچه سازی تصمیمات طراحی شبکه لجستیک را به دلیل در نظر گرفتن همزمان لجستیک مستقیم و معکوس، یکپارچه سازی افقی می نامند (شکل ۳-۱). Simchi- Levi et al. (۲۰۰۳) مدیریت زنجیره تامین را مجموعه از رویکردها می دانند که با یکپارچه سازی کارای تامین کنندگان، تولید کنندگان، انبارها و فروشگاه ها و با هدف حداقل سازی تمام هزینه های سیستم و در نظر گرفتن سطح مورد انتظار خدمات، اقدام به تولید و توزیع محصولات در مقادیر، مکان و زمان ها صحیح می نمایند. در نتیجه می توان نتیجه گرفت که یکپارچه سازی افقی نقشی اساسی در مدیریت زنجیره تامین ایفا می کند و با جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی، باعث افزایش سطح کارایی و واکنش پذیری کل شبکه شده و هماهنگی بین فرآیند های مستقیم و معکوس را تسهیل می کند.



شکل ۳-۱- ساختار شبکه لجستیک (Fleischmann et al., ۲۰۰۴)

در اغلب مقالات و کارهای گذشته، طراحی شبکه، تنها برای لجستیک مستقیم یا لجستیک معکوس و یا در مواردی برای هر دو به صورت ترتیبی صورت گرفته است و تعداد اندکی از مقالات در سال های اخیر به طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس به طور همزمان پرداخته اند. از آنجا که منظور از زنجیره تامین یکپارچه در این تحقیق مفهوم یکپارچه سازی افقی می باشد، در ادامه به اختصار از آن با عنوان یکپارچه یاد می شود.

۳-۳- ویژگی های تاثیر گذار زنجیره تامین حلقه بسته

به طور دقیق تر تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه لجستیک در جریان مستقیم و معکوس شامل مکان یابی و تعیین ظرفیت تسهیلات تولید، ذخیره سازی همزمانی بارانداز^۱، توزیع، جمع آوری، مرتب سازی^۲ و پردازش مجدد^۳ با توجه به میزان موجودی های واسطه ای^۴، تعریف انواع اتصالات و ارتباطات حمل و نقل بر حسب منبع یابی و مدها می باشد. اما شبکه لجستیک معکوس و زنجیره های حلقه بسته (شکل ۳-۱) دارای ویژگی های خاصی هستند که هنگام طراحی این شبکه ها به صورت مجزا و یا به طور همزمان با شبکه لجستیک مستقیم باید آن ها را مدنظر قرار داد.

۱- لجستیک معکوس یک سیستم حلقه بسته بین بازار کالای مصرف شده و بازار فروش محصولات احیا شده است، لذا ساختاری متفاوت با زنجیره های تامین سنتی حلقه باز دارد. در لجستیک معکوس ارتباطات بصورت چند به چند^۵ به حالت همگرا- واگرا^۶ (شامل جمع آوری، بازرسی و مرتب سازی، پردازش مجدد، توزیع مجدد و مصرف) و در لجستیک مستقیم بصورت یک به چند^۷ و واگرا

۱.cross dock

۲.sorting

۳.reprocessing

۴.buffer

۵.many-to-many

۶.convergent-divergent

۷.one-to-many

وجود دارد (شکل ۳-۱). لذا نقش مراکز واسطه ای مانند مراکز توزیع و جمع آوری و احیاء در هماهنگی دو سر زنجیره و به عبارت دیگر عرضه و تقاضا بسیار حیاتی است. (Fleischmann et al., ۲۰۰۱).

۲- با توجه به اینکه تمامی ورودی های لجستیک معکوس قابلیت یکسان برای احیاء ندارد، نقش مراکز بازرسی / مرتب سازی بسیار پر رنگ تر می گردد. این مراکز با دسته بندی ورودی های (محصولات مصرف شده) به محصولات قابل احیا، بازیافت و یا انهدام مسیر بعدی این محصولات را تعیین و بدین وسیله از هزینه های حمل و نقل اضافی جلوگیری می کنند. در واقع بازرسی سریع تر محصولات برگشتی در کانال های لجستیک معکوس، هزینه های حمل و نقل را کاهش می دهد و امکان ارسال مستقیم محصول برگشتی را به فرآیند مورد نظر فراهم می آورد. هزینه های زیاد تجهیزات بازرسی و نیروی کار حرفه ای موجب می گردد تا این مراکز به طور متمرکز ایجاد شوند (Fleischmann et al., ۲۰۰۴; Fleischmann et al., ۲۰۰۱).

۳- موضوع مهم دیگر درباره لجستیک معکوس ایجاد هم افزایی بین جریان های مختلف محصولات است. شبکه های سنتی لجستیک مانند یک خیابان یک طرفه بودند، در حالیکه در زنجیره های حلقه بسته جریان های چندگانه داخلی^۱ و خارجی^۲ یکدیگر را قطع می کنند. در این وضعیت استفاده از پتانسیل یکپارچه سازی جریان ها منبعی مهم برای صرفه جویی در مقیاس^۳ است. برای مثال یکپارچه سازی جمع آوری و توزیع می تواند مانع از بازگشت خالی وسایل حمل و نقل شود. به طور کلی یکپارچه سازی جریان مستقیم و معکوس موجب کاهش هزینه های بالاسری و مجموع هزینه ها می گردد (Fleischmann et al., ۲۰۰۱).

۱.inbound
۲.outbound
۳.economy of scale

۴- توزیع جریان کالاهای بازگشتی می تواند از طریق کانال های اصلی جریان مستقیم، کانال های جداگانه جریان معکوس و یا ترکیبی از این دو حالت صورت پذیرد (Kannan et al., ۲۰۱۰) در نتیجه لزوماً جریان های مستقیم و معکوس متقارن نیستند. در مواردی کالاهای بازگشتی نمی توانند در کانال های مستقیم حمل، ذخیره و جابجا شوند و هزینه های توزیع معکوس ممکن است چند برابر هزینه توزیع مستقیم باشند.

۵- بر اساس مطالعات انجام شده توسط Kongar (۲۰۰۴)، عدم قطعیت، تفاوت اصلی زنجیره تامین مرسوم و زنجیره تامین معکوس، است. عدم قطعیت تقاضا در زنجیره تامین مستقیم بر سطوح موجودی، میزان تولید و لجستیک تأثیر گذار می باشد. عوامل غیر قطعی موجود در زنجیره تامین معکوس، بسیار پیچیده تر از عدم قطعیت های موجود در زنجیره تامین مستقیم است. به غیر از تقاضا غیر قطعی، عدم امکان تخمین صحیح نرخ بازیافت، احیا و انهدام، به عنوان عوامل تأثیر گذار در مدیریت لجستیک معکوس، مشکلاتی را به وجود می آورند (Salema et al., ۲۰۰۷)، همچنین تخمین و قضاوت نادرست بر اساس اطلاعات غیر قطعی، منجر به بالا رفتن ریسک از دست دادن اطلاعات می گردد. بنابراین تنظیم عرضه و تقاضا یکی از چالش های اصلی در لجستیک معکوس است و پایداری^۱ یکی دیگر از موارد مهمی است که با توجه به تنوع حجم و ترکیب جریان باید مورد توجه قرار گیرد (Fleischmann et al., ۲۰۰۱; Fleischmann et al., ۲۰۰۴).

۳-۴- مرور ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین

مرور ادبیات مربوط به مسائل زنجیره تامین شامل حیطه های وسیعی همچون مسائل مربوط به طراحی شبکه، حمل و نقل، انتخاب محصولات دسته دوم، انتخاب و ارزیابی تامین کنندگان، ارزیابی عملکرد، مباحث مرتبط با بازاریابی، انتخاب محصولاتی که به پایان عمر مفید خود رسیده اند و مدیریت خرید محصولات می باشد (Ilgin and Gupta, ۲۰۱۰). بر اساس تحقیقات انجام شده بخش عمده ای از مطالعات مربوط به زنجیره تامین حلقه بسته، مربوط به مسائل طراحی شبکه می باشد. از آنجا که مقصود این تحقیق طراحی شبکه زنجیره تامین می باشد، در این فصل با جزئیات بیشتری به بررسی ادبیات موجود در زمینه مدل های کمی طراحی شبکه زنجیره تامین یکپارچه افقی در سطح استراتژیک پرداخته می شود. علاقمندان به سایر زمینه های مطرح شده می توانند به مقاله مروری (Ilgin and Gupta, ۲۰۱۰) ارجاع نمایند.

بیشتر ادبیات موجود در زمینه مدل های کمی طراحی شبکه های زنجیره تامین یکپارچه افقی، شامل مدل های مختلف مکان یابی تسهیلات بر پایه برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته (MIP)^۱ است. مدل های MIP در ادبیات بررسی شده از مدل های ساده تک محصولی بدون ظرفیت تا مدل های پیچیده چند محصولی^۲، چند هدفه، ظرفیت محدود با پارامترهای غیر قطعی تغییر پیدا می کند. همچنین الگوریتم های قدرتمندی نیز بر پایه تئوری بهینه سازی ترکیبی^۳ برای حل این مدل ها توسعه داده شده است. با توجه به تاثیر قابل ملاحظه عوامل غیر قطعی در طراحی زنجیره تامین معکوس و هدف این تحقیق، در ادامه ادبیات موضوعی مرتبط با طراحی لجستیک مستقیم، معکوس و یکپارچه به تفکیک مدل های قطعی و غیر قطعی بررسی و دسته بندی می گردد.

۱. Mixed Integer Programming

۲. Multi Commodity

۳. combination optimization

۳-۴-۱- مدل های قطعی طراحی شبکه زنجیره تامین

۳-۴-۱-الف- مدل های قطعی طراحی شبکه لجستیک مستقیم

Jayaraman and Pirkul (۲۰۰۱) با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح

آمیخته، میزان جریان بین تامین کنندگان/ کارخانه و مکان کارخانه ها و مراکز توزیع را برای یک شبکه لجستیک مستقیم چند کالایی تعیین کرده اند برای حل این مدل نیز از روشی ابتکاری بر مبنای روش لاگرانژ استفاده شده است. این مدل جزء معدود مدل هایی است که در آن به تصمیم گیری درباره رده تامین کنندگان پرداخته شده است. لازم به ذکر است مکان تامین کنندگان در متغیرهای تصمیم قرار ندارد.

Jayaraman and Ross (۲۰۰۳) یک شبکه لجستیک بدون محدودیت ظرفیت شامل یک

مرکز تولید، تعدادی مراکز توزیع و همزمانی بارانداز را با یکپارچه سازی عمودی سطوح استراتژیک و عملیاتی پیشنهاد دادند. در این مدل برای هر بارانداز تنها امکان تامین محصول از یک مرکز توزیع وجود دارد و هر ناحیه تقاضا نیز باید هر محصول را فقط از یک بارانداز تامین می کند. در سطح استراتژیک با فرض محدودیت در تعداد تسهیلات توزیع و با تابع هدف مینیم کردن هزینه ها، در مورد تخصیص و راه اندازی تسهیلات تصمیم گیری شده و در سطح عملیاتی با هدف مینیم کردن هزینه ها به نحوی که تقاضای مشتریان کاملاً برآورده شود، مقادیر حمل و نقل بین تسهیلات تعیین می گردد. روش شبیه سازی تبرید توسعه داده شده در این مقاله، جواب های نزدیک به بهینه را در زمان محاسباتی و حافظه مناسب پیدا می کند.

همچنین Yan et al., (۲۰۰۳) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته چند

محصولی، تک دوره ای را با تابع هدف مینیم سازی هزینه ها و در نظر گرفتن محدودیت های منطقی مربوط به لیست مواد (BOM)^۱ برای مکان یابی تسهیلات شبکه لجستیک مستقیم (شامل رده های تامین، تولید، توزیع و مشتری) و انتخاب تامین کنندگان مناسب از بین تامین کنندگان بالقوه، ارائه کردند.

۱. Bill OF Material (BOM)

در این مدل تعداد و مکان بالقوه مراکز تولید و توزیع معین، ظرفیت تسهیلات محدود و تقاضای مشتریان ثابت فرض شده است. در نهایت با استفاده از نرم افزار LINDO جواب بهینه متغیرهای تصمیم مسئله از جمله حجم مواد اولیه خریداری شده، حجم تولید، تامین کننده منتخب، مکان یابی تسهیلات تولید و توزیع و میزان جران مواد بین تسهیلات تعیین می گردد.

Yeh (۲۰۰۵) به منظور اصلاح مدل های قبلی طراحی شبکه لجستیک مستقیم، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای مکان یابی تسهیلات تولید و توزیع و تنظیم جریان بین موجودیت ها ارائه داده است اما در این مدل تنها یک سطح معین ظرفیت برای تسهیلات در نظر گرفته شده و با توجه به پیچیدگی مدل، یک راه حلی ابتکاری ترکیبی نیز برای حل این مدل توسعه داده شده است.

Milachrinoudis et al., (۲۰۰۵) از یک متدولوژی چند هدفه برنامه ریزی فیزیکی^۱ با هدف مینیم کردن هزینه ها، ماکزیمم کردن سطح خدمت و سود جهت ارائه ساختار شبکه انبارها (با ظرفیت محدود) و تعیین مقادیر حمل استفاده کردند. در این متدولوژی برای هر یک از اهداف مقادیر مینیمم و ماکزیممی به عنوان هدف در نظر گرفته شده و مینیمم جمع وزنی انحراف اهداف از این مقادیر محاسبه شده است.

Amiri (۲۰۰۶) با حذف فرض های ساده سازی مانند ظرفیت نامحدود تسهیلات، تعداد معین تسهیلات و تک ظرفیتی بودن آن ها، با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته، شبکه لجستیک مستقیم دو رده ای را با هدف حداقل سازی هزینه ها، طراحی کرده و به منظور حل این مسئله راه حلی ابتکاری بر مبنای لاگرانژین ریلکسیشن^۲ توسعه داده است. مدل توانایی تعیین تعداد، مکان و سطح بهینه ظرفیت هر یک از تسهیلات را داشته و میزان انطباق آن با واقعیت از مدل های قبلی ارائه شده برای طراحی شبکه لجستیک مستقیم بیشتر است.

۱. physical programming

۲. lagrangean relaxation

همچنین Gen et al., (۲۰۰۶) به بررسی یک شبکه لجستیک سه دوره ای شامل تامین کننده، توزیع کننده و مراکز مشتری با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته و الگوریتم ژنتیک پرداخته اند. هدف از این مدل تک محصولی با محدودیت ظرفیت تسهیلات، مکان یابی و تخصیص تسهیلات و همچنین تعیین جریان مواد بین تسهیلات با هدف مینیم کردن هزینه می باشد. به منظور توسعه و تطبیق بیشتر مدل فوق با واقعیت، Altiparmak et al., (۲۰۰۶) با ارائه یک مدل غیر خطی چند هدفه چهار رده ای اقدام به توسعه مدل Gen et al., (۲۰۰۶) نمودند. اهداف مدنظر در این تحقیق علاوه بر مینیم سازی هزینه ها، ماکزیمم سازی سطح پاسخگویی به مشتریان بر اساس حداکثر زمان مجاز تحویل و نرخ بهره برداری از مراکز توزیع می باشد. همچنین جهت حل این مدل درون زا، یک الگوریتم ژنتیک اولویت محور توسعه داده شده است.

با توجه به استراتژیک بودن تصمیمات مربوط به طراحی شبکه لجستیک و عدم امکان تغییر این تصمیمات در کوتاه مدت در طراحی شبکه لجستیک ضمن در نظر گرفتن حداقل سازی هزینه ها و حداکثر سازی سطح خدمت، باید پایداری شبکه نسبت به تغییرات محیط نیز مورد توجه قرار گیرد که از آن با عنوان پایداری زنجیره تامین^۱ در ادبیات نام برده می شود. Meepetchdee and Shah (۲۰۰۷) پایداری شبکه لجستیک را "نسبت مقدار تقاضایی که در صورت حذف تعدادی از گره ها یا کمان های شبکه قابل تامین است، به کل مقدار تقاضا" تعریف کرده اند. با توجه به تضاد دو تابع هدف حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی پایداری شبکه، با در نظر گرفتن حداقلی برای میزان پایداری شبکه، تابع هدف دوم به صورت یک محدودیت به مدل اضافه شده است. متغیرهای تصمیم در این مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته شامل تعیین مکان تسهیلات و تخصیص تقاضا به انبارها (مراکز توزیع) می باشد. این مقاله علیرغم فرض های ساده ساز زیادی همچون عدم در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت تسهیلات، عدم تنوع تسهیلات و ثابت بودن مکان کارخانه، به دلیل بررسی پایداری شبکه از مقالات پیشین در زمینه طراحی شبکه لجستیک مستقیم به حساب می آید.

۱. Supply chain robustness

Altiparmak et al., (۲۰۰۹) نیز یک رویکرد بر مبنای الگوریتم ژنتیک پایا (ssGA)^۱ با ساختار کدینگ جدید برای طراحی شبکه زنجیره تامین چند رده ای، چند محصولی تک منبع ارائه دادند. جواب های تولید شده توسط این الگوریتم برای مسائلی با ابعاد مختلف با جواب های بدست آمده از روش ابتکاری لاگرانژ، روش ترکیبی شبیه سازی تبرید و ژنتیک و CPLEX مقایسه شده است. تعداد و تقاضای مراکز مشتریان، تعداد و ظرفیت کارخانه های بالقوه معین و کلیه مواد اولیه مورد نیاز این زنجیره توسط یک تامین کننده، تامین می گردد. در این مدل با مینیم کردن مجموع هزینه ها، تعداد و مکان کارخانه ها و مراکز توزیع، میزان تولید محصولات در کارخانه ها و میزان جریان مواد و محصولات بین کلیه رده ها تعیین می گردد.

یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته نیز توسط Bidhandi et al. (۲۰۰۹) ارائه شد که در آن سطوح برنامه ریزی استراتژیک و تاکتیکی به منظور مکان یابی و ظرفیت سنجی تسهیلات و تعیین میزان بهینه جریان بین تسهیلات، در یک شبکه زنجیره تامین قطعی چند محصولی، با یکدیگر ادغام شده است. همچنین Bidhandi et al., (۲۰۰۹) یک روش تجزیه^۲ اصلاح شده را نیز جهت تولید جواب های بهینه این مدل توسعه دادند.

هرچند مدل های برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته، مدل هایی قوی برای مدل سازی و طراحی شبکه های لجستیک می باشند اما از قابلیت کمی در تحلیل حساسیت^۳ و تعیین ارتباط متقابل پارامترهای مدل، نسبت به مدل های پیوسته برخوردارند، در نتیجه برخی نویسندگان برای رفع این مشکل به ارائه مدل های پیوسته برای طراحی شبکه لجستیک پرداخته اند. Dasci and Verter (۲۰۰۱) یک مدل تقریب پیوسته^۴ را برای طراحی شبکه لجستیک مستقیم با هدف حداقل سازی هزینه ها ارائه کردند. هرچند این مدل از جهت پیوسته بودن و ارائه روش دقیق با استفاده از خاصیت مشتق

۱. Steady-State Genetic Algorithm

۲. benders decomposition

۳. sensitivity analysis

۴. continuous approximation

پذیری تابع هدف پیوسته، دارای ارزش است اما این مدل تنها برای شبکه لجستیک مستقیم ساده با ظرفیت نامحدود تسهیلات و تنها یک نوع تسهیل توسعه داده شده است. محدوده سرویس دهی^۱ هر تسهیل از جمله خروجی های این مدل های می باشد. خوانندگان جهت مطالعه بیشتر در زمینه مدل های تقریب پیوسته طراحی شبکه می توانند به مقاله Smilowitz and Daganzo (۲۰۰۷) مراجعه نمایند.

۳-۴-۱-ب- طراحی مدل های قطعی شبکه لجستیک معکوس

لجستیک معکوس در برگرنده کلیه فعالیت هایی مربوط به جمع آوری، بازیافت، احیا و یا انهدام ضایعات محصولات استفاده شده می باشد. آیین نامه های سخت گیرانه محیط زیستی و همچنین کمبود مواد اولیه اهمیت و ضرورت پرداختن به لجستیک معکوس را چندین برابر ساخته است. مدیریت کارآمد لجستیک معکوس از طریق کاهش میزان حمل و نقل، هزینه های موجودی و انبار، منجر به افزایش سود دهی می گردد (Ilgin and Gupta, ۲۰۱۰).

Jayaraman et al., (۱۹۹۹) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را جهت مکان یابی تسهیلات توزیع و احیاء و تعیین میزان بهینه حمل و نقل، تولید و ذخیره سازی محصولات اصلی و بازیافتی در شبکه لجستیک معکوس چند محصولی با هدف حداقل سازی هزینه ارائه دادند. این مقاله جزء معدود تحقیقاتی است که به طراحی یک سیستم کششی^۲ در لجستیک معکوس مبتنی بر تقاضای مشتریان برای محصولات احیا شده می پردازد. Krikke et al., (۱۹۹۹) نیز یک شبکه لجستیک معکوس سه رده ای با ظرفیت محدود را برای تولید کننده دستگاه های کپی با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته ارائه داده اند. در این مدل هزینه های پردازش محصولات برگشتی و موجودی نیز در تابع هدف مورد توجه قرار گرفته است و با استفاده از برنامه LINDO جواب های دقیق بهینه مسئله در ابعاد کوچک تعیین شده است.

۱. service region

۲. pull

همچنین Min et al., (۲۰۰۶ b) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته پویای چند دوره ای را جهت تعیین تعداد و مکان مراکز جمع آوری، تخصیص مشتریان به مراکز جمع آوری و ماکزیمم زمان مورد نیاز برای حمل کالاهای مرجوعی ارائه کردند. هدف از این مدل مینیمم سازی زمان حمل محصولات بازگشتی و مجموع هزینه های اجاره تسهیلات، حمل و نقل و انبار موجودی با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری GA است. لازم به ذکر است در این مقاله یک تسهیل جمع آوری مرکزی با مکان معین و ثابت به عنوان یکی از ورودی های مسئله در نظر گرفته شده است و مکان سایر مراکز جمع آوری با توجه به هزینه های حمل نقل که وابستگی کامل به مختصات مکانی این تسهیلات نسبت به مراکز مشتریان دارد، تعیین می گردد. همچنین میزان جریان کالای بازگشتی از مراکز مشتریان مختلف در دوره های زمانی مختلف، بطور قطعی و متفاوت در نظر گرفته شده است.

Aras et al., (۲۰۰۷) با ارائه یک مدل غیر خطی به مکان یابی تسهیلات جمع آوری و تعیین قیمت خرید محصولات بازگشتی در یک شبکه لجستیک معکوس با هدف ماکزیمم کردن سود حاصله اقدام نمودند. برای حل این مدل نیز از یک روش ابتکاری بر مبنای روش جستجوی ممنوع (TS)^۱ استفاده شده است. همچنین Üster et al., در سال ۲۰۰۷ موفق شدند با به کار بستن روش تجزیه با استفاده تکنیک برش، جواب قطعی مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته مربوط به شبکه های نیمه یکپارچه زنجیره تامین چند محصولی را ارائه دهند. در شبکه نیمه یکپارچه مذکور جریان های مستقیم و معکوس به طور همزمان بهینه می گردد اما شبکه لجستیک مستقیم موجود فرض شده و تنها مراکز جمع آوری و احیا در لجستیک معکوس مکان یابی شده و جریان های بین تسهیلات با هدف مینیمم کردن هزینه ها تعیین می گردد.

Du and Evans (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی توزیع/ جمع آوری و مراکز بازیافت با ظرفیت محدود و با استفاده از یک مدل پیشرفته دو هدفه برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته،

۱. Tabu Search (TS)

شبکه لجستیکی معکوس مربوط به شرکت های لجستیکی طرف سوم^۱ ارائه دهنده خدمات پس از فروش را طراحی کردند. شبکه فوق شامل رده های مراکز تولید، مشتری، جمع آوری و بازیافت است و امکان جریان چندین محصول مختلف به صورت همزمان در شبکه وجود دارد. این مدل با حداقل سازی هزینه و زمان تحویل کالا به مشتری و با استفاده از یک راه حل ابتکاری ترکیبی، مکان و ظرفیت مراکز تولید، جمع آوری و بازیافت و همچنین میزان جریان بین رده های مختلف شبکه را تعیین می کند.

Cruz-Rivera and Ertel (۲۰۰۹)

شرکت جمع آوری وسایل نقلیه ای اسقاطی در مکزیک، مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را پیشنهاد دادند. در این مدل حجم جریان های بازگشتی قطعی و ظرفیت تسهیلات نا محدود فرض شده است و هدف از آن تعیین مکان تسهیلات و درصد ارضای تقاضای مشتریان در صورتی است که مجموع هزینه های راه اندازی و حمل و نقل، مینیمم گردد. در نهایت جواب بهینه مدل با استفاده از روش حل دقیق و نرم افزار SITUATION برای سه سناریو مختلف (به ترتیب حالاتی که مدل ۱۰۰٪، ۹۰٪ و ۷۵٪ از محصولات قراضه تولیدی را جمع آوری می کند) تولید می شود.

در سال های اخیر طراحی محصولات قابل بازیافت و استفاده مجدد و همچنین طراحی شبکه های لجستیکی شامل مراکز بازیافت، احیا و انهدام به دلیل اثرات مثبتی همچون کاهش ضایعات، استفاده موثرتر از ذخایر منابع و در نتیجه ایجاد سود بیشتر، اهمیت بسیار بالایی پیدا کرده است. Mutha and Pokharel (۲۰۰۹) یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه لجستیک معکوس چند رده ای شامل پنج خرده فروشی، چهار عمده فروشی، سه مرکز باز تولید، پنج مرکز خرید قطعات یدکی، سه کارخانه، یک مرکز بازیافت، یک مرکز انهدام، شش حوزه تامین کننده و شش مرکز توزیع، ارائه کردند. در این مدل حجم محصولات های بازگشتی قطعی و ظرفیت کلیه تسهیلات محدود فرض شده است، همچنین کلیه محصولات ابتدا در انبار ها جمع آوری و بازرسی شده و سپس به مراکز بازیافت و احیا ارسال می گردد. قطعات بازیافتی نیز برای استفاده مجدد یا به بازارهای قطعات یدکی و یا به مراکز باز تولید/ احیا ارسال

۱. third party logistics company (۳PL)

می شوند. در نهایت با مینیمم سازی مجموع هزینه ها مقدار بهینه متغیرهای تصمیم از جمله تعداد، مکان و ظرفیت تسهیلات و میزان جریان بین تسهیلات با استفاده از نرم افزار GAMS تعیین می شود.

علاوه بر این یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته چند محصولی برای طراحی و برنامه ریزی همزمان لجستیک معکوس نیز توسط Salema et al., (۲۰۱۰) ارائه شد. این زنجیره تامین در برگیرنده یکپارچه کلیه فرآیندهای تولید و کنترل موجودی، توزیع، لجستیک و باز تولید و رده های تامین کننده، کارخانه، انبار، توزیع کننده، مراکز جمع آوری و بازیافت با ظرفیت محدود می باشد. در این مدل تقاضا مشتریان در هر دوره زمانی، معین و حجم محصولات بازگشتی به صورت درصدی از آن تعریف شده است. هدف از این مدل تعیین ساختار شبکه، سطوح تولید و موجودی، میزان جریان مستقیم و معکوس، میزان تقاضای ارضا نشده در زنجیره تامین حلقه بسته می باشد به نحوی که کلیه هزینه ها ثابت راه اندازی تسهیلات، جریمه های عدم ارضای تقاضای مشتریان، حمل و نقل، هزینه های احیا و انهدام، جریمه های مربوط به موجودی ذخیره مینیمم گردد.

۳-۴-۱-ج- طراحی مدل های قطعی شبکه لجستیک یکپارچه

از آنجا که عملکرد لجستیک معکوس بر میزان فضای انبارها و ظرفیت حمل و نقل در لجستیک مستقیم نیز تاثیر بسزایی دارد، در سال های اخیر زنجیره تامین حلقه بسته که در برگیرنده جریان های مستقیم و معکوس به صورت همزمان می باشد، به گزینه ای بسیار جذاب برای مدیریت هزینه های عملیات لجستیکی تبدیل شده است (Ilgin and Gupta, ۲۰۱۰). طراحی جداگانه و غیر همزمان لجستیک مستقیم و معکوس باعث ایجاد زیر بهینگی می گردد. Fleischmann et al., (۲۰۰۱) نشان دادند که طراحی شبکه لجستیک به طور یکپارچه و همزمان در مقایسه با رویکرد سنتی، می تواند موجب صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی در هزینه ها گردد. مطلب دیگری که در یکپارچه سازی لجستیک مستقیم و معکوس مورد توجه قرار گرفته استفاده از تسهیلات ترکیبی انبار/ جمع آوری

یا انبار/ تعمیر است. این تسهیلات ترکیبی در جریان مستقیم نقش مراکز توزیع (انبار) و در جریان معکوس نقش مراکز جمع آوری، بازرسی و مرتب سازی و یا مراکز احیا را ایفا می کنند. در نظر گرفتن این نوع تسهیلات علاوه بر اینکه موجب کاهش پیچیدگی می شود از نظر اقتصادی نیز به دلیل ادغام جریان مستقیم و معکوس و استفاده مشترک از تسهیلات و زیر ساخت ها موجب صرفه جویی می گردد (Lee and Dong, ۲۰۰۸; Ko and Evans, ۲۰۰۷).

Fleischmann et al., (۲۰۰۱) مدل شبکه بازیافت (RNM)^۱ را بر اساس مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته و الگوریتم ژنتیک جهت مقایسه طراحی لجستیک سنتی با طراحی همزمان شبکه لجستیک مستقیم و معکوس پیشنهاد دادند. با اعمال این مدل بر دو مطالعه موردی موجود در ادبیات (باز تولید دستگاه های فتوکپی و بازیافت کاغذ) آن ها نشان دادند که این مدل برای بسیاری از موارد بازیافت محصولات دارای کارایی بالایی می باشد.

Schultmann et al., (۲۰۰۳) یک روش ترکیبی را برای طراحی شبکه CLSC برای باتری های مصرف شده توسعه دادند. مدل شامل یک مسئله دو مرحله ای بهینه سازی مکان یابی تسهیلات (جمع آوری و دسته بندی، بازیافت و انهدام) بود. نویسندگان با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته با هدف مینیمم کردن کلیه هزینه ها، مکان و تعداد بهینه مراکز جمع آوری را به منظور پاسخگویی به نیاز تسهیلات بازیافت مدل سازی و جواب مسئله را با استفاده از الگوریتم شاخه و حد (BB)^۲ و GAMS^۳ استخراج و مقایسه کردند.

همچنین یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی لجستیک یکپارچه مربوط به محصولات قابل تعمیر و بازیافت یخچال (در ژاپن) با هدف مینیمم سازی هزینه ها و تاثیرات زیست محیطی توسط Krikke et al., (۲۰۰۳) پیشنهاد شده است. به منظور انعطاف پذیر کردن مدل

۱.Recovery Network Model

۲.Branch and Bound (BB)

۳.General Algebraic Modeling system (GAMS)

ارائه شده در هر سناریو به هر یک از پارامترهای نحوه تولید (متمرکز/پراکنده)، نحوه طراحی محصول، میزان و نوع محصولات بازگشتی و قوانین و محدودیت های زیست محیطی مقادیر معینی تخصیص داده شده است. تابع هدف اول شامل کلیه هزینه های ثابت و متغیر مرتبط با مکان یابی تسهیلات و تولید، احیا و بازیافت محصولات و تابع هدف دوم شامل هزینه های انرژی و میزان ضایعات تولیدی می باشد. میزان تقاضا معلوم و نرخ محصولات بازگشتی و درصد محصولات قابل احیا بسته به نوع محصول بین رنج ۲۰٪ تا ۱۰۰٪ بصورت تصادفی تولید می گردند. لجستیک مستقیم بصورت کششی و لجستیک معکوس بصورت فشاری طراحی شده است. لازم به ذکر است مکان مراکز مشتریان و تامین کنندگان ثابت و مکان مراکز تولید، توزیع، بازرسی، بازیافت و احیای حل مدل تعیین می گردد.

به منظور طراحی شبکه لجستیک یکپارچه چند محصولی با ظرفیت محدود برای شرکت های لجستیکی طرف سوم، Ko and Evans (۲۰۰۷) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته را ارائه کردند. همچنین جهت اعمال پویایی در پارامترهای مدل، دوره های زمانی مختلفی توسط تصمیم گیرنده تعیین و کلیه پارامترهای مسئله در این بازه های زمانی ثابت فرض شده اند. در مدل فوق ظرفیت کلیه تسهیلات محدود و مکان مراکز تولید، انبار و مشتریان ثابت فرض شده و تنها با مینیمم سازی هزینه ها، جواب بهینه متغیرهای تصمیم تعداد و مکان مراکز جمع آوری و تعمیر، میزان افزایش ظرفیت این تسهیلات و حجم جریان بین کلیه رده های موجود در شبکه در دوره های زمانی برنامه ریزی شده، تعیین می گردد. از آنجا که این مدل به مسائل کلاس NP-hard تعلق دارد در این تحقیق از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک برای تولید جواب های نزدیک به بهینه استفاده شده است.

به منظور طراحی شبکه لجستیک محصولات رایانه ای یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای در نظر گرفتن همزمان جریان های مستقیم و معکوس توسط Lee and Dong (۲۰۰۸) پیشنهاد شده است. در این مدل برخی تسهیلات ترکیبی که در جریان مستقیم نقش مراکز توزیع (انبار) و در جریان معکوس نقش مراکز جمع آوری را بر عهده داشتند، در نظر گرفته شده و به دلیل پیچیدگی مدل برای حل آن از ترکیب یک الگوریتم ابتکاری با الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی ممنوع

استفاده شده است. در این مقاله در جریان لجستیک معکوس تنها به فرآیند احیا اشاره شده است، علاوه بر این به دلیل در نظر گرفتن فرض های ساده سازی همچون مشخص بودن تعداد تسهیلات ترکیبی و استفاده از یک کارخانه، این مقاله دارای ضعف هایی می باشد.

تعمیرات یکی از فعالیت های مهم خدمات پس از فروش برای شرکت هایی است که محصولات گران قیمت بادوام را تولید می کنند. در نتیجه به منظور اجرای صحیح سیاست های گارانتی/ ضمانت خرید و همچنین ارائه خدماتی مناسب به مشتریان، ایجاد شبکه تعمیر قابل اطمینان از اهمیت بسزایی برخوردار است. در مقاله ای *Kusumastuti et al.*, (۲۰۰۸) پس از بررسی و تحلیل شبکه حلقه بسته تعمیرات، مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را جهت طراحی این شبکه برای شرکت ارائه دهنده خدمات تعمیر رایانه در آسیا ارائه داده اند. تابع هدف مجموع هزینه ها در دوره های مختلف به منظور یافتن مکان بهینه تسهیلات بدون محدودیت ظرفیت انبار و توزیع و تخصیص مشتریان به این تسهیلات، مینیمم می گردد. لازم به ذکر است در این مطالعه مکان تسهیلات تولید، تعمیر و نواحی مشتریان از پیش تعیین شده و ثابت است همچنین از الگوریتم شاخه و حد و نرم افزار *LINGO ۹* برای تولید جواب بهینه مسئله استفاده شده است.

از آنجا که تنوع کیفی محصولات بازگشتی و ترجیحات مشتریان در مدل سازی جریان های بازگشتی تاثیر بسزایی دارد، *Aras and Aksen* (۲۰۰۸) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته چند محصولی را برای مسائل مکان یابی مراکز جمع آوری در لجستیک معکوس ارائه کردند. آنها دو عامل اصلی مبالغ پرداخت شده به مشتریان توسط هر یک از مراکز جمع آوری (به ازای ارائه محصولات بازگشتی) و نزدیکی این مراکز به نواحی مشتریان را به عنوان فاکتورهای تاثیر گذار در ترجیحات مشتریان معرفی کردند و همچنین به منظور مدل سازی تنوع کیفی جریان های بازگشتی، درصدهای معینی را به هر یک از انواع کیفی محصولات بازگشتی اختصاص دادند. در این مدل با ماکزیمم سازی سود و با استفاده از یک الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی بر اساس الگوریتم جستجو ممنوع،

تعداد و مکان بهینه تسهیلات جمع آوری (با ظرفیت محدود) و مبلغ بهینه پرداختی به مشتریان در مراکز جمع آوری به ازای محصولات بازگشتی مختلف، تعیین می گردد.

به منظور در نظر گرفتن کلیه فرآیندهای $3R$ (بازیافت، احیا و استفاده مجدد) در زنجیره تامین Wang and Hsu (۲۰۱۰) با یکپارچه سازی جریان های مستقیم و معکوس، مدلی کلی برای زنجیره تامین حلقه بسته ارائه دادند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر مبنای درخت جستجو اقدام به حل مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته مربوطه نمودند. تعداد و ظرفیت تسهیلات محدود و حجم محصولات بازیافتی بصورت درصدی از تقاضا در نظر گرفته شده و با مینیمم سازی هزینه ها، مکان مراکز تولید، توزیع و احیا تعیین می گردد.

Kannan et al., (۲۰۱۰) یک زنجیره تامین حلقه بسته را برای صنعت تولید باتری سازی در جنوب هندوستان با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته چند رده ای، چند دوره، چند محصوله، با ظرفیت محدود تسهیلات پیشنهاد دادند. در این مدل در لجستیک مستقیم، باتری توسط کانال توزیع کنندگان، عمده فروشان و سپس خرده فروشان به دست مشتری می رسد، سپس باتری های استفاده شده به مراکز تعویض باتری (اولین مراکز جمع آوری) تحویل داده می شود. پس از این مرحله باتری ها در مراکز بازرسی به محصولات قابل بازیافت، تعمیر و یا انهدام تقسیم می شوند. لازم به ذکر است که در این مدل شرکت های واسطی به عنوان خریداران قطعات باتری های بازیافتی در نظر گرفته شده است. Kannan و همکاران به منظور مینیمم کردن تابع هدف مجموع هزینه زنجیره، از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند.

۳-۴-۲- مدل های احتمالی طراحی شبکه زنجیره تامین

۳-۴-۲-الف- طراحی مدل های احتمالی شبکه لجستیک مستقیم

از آنجا عدم قطعیت های فراوانی در مسائل طراحی زنجیره تامین وجود دارد طراحی مدل های قطعی، غیر منطقی است به همین علت Sabri and Beamon (۲۰۰۰) با یکپارچه سازی عمودی سطوح استراتژیک و عملیاتی برنامه ریزی زنجیره تامین، ساختاری بهینه ای را برای شبکه لجستیک مستقیم (شامل تامین کنندگان، کارخانجات، مراکز توزیع و نواحی تقاضا) چند محصولی با محدودیت ظرفیت ارائه کردند. این مدل با هدف مینیم سازی هزینه ها و ایجاد انعطاف پذیری مناسب در سیستم بصورت همزمان، با توجه به محدودیت ظرفیت کلیه رده های شبکه، محدودیت بازده مراکز تولید و توزیع و نیازمندی های مشتریان بسط داده شده است. در سطح استراتژیک با ارائه مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته و با هدف مینیم کردن هزینه ها، مکان تسهیلات، میزان تولید و حمل کالاها بین تسهیلات تعیین شده و مراکز توزیع به نواحی تقاضا تخصیص داده شده است. در سطح عملیاتی نیز با در نظر گرفتن پارامترهای غیر قطعی (تقاضا، زمان تدارک تولید و تامین) و استفاده از تابع هدف ماکزیمم کردن انعطاف پذیری (مقدار تولید و توزیع)، هزینه های واقعی تولید، توزیع و حمل و نقل تعیین شده است. در نهایت با تلفیق عملگرهای احتمالی با رویکردهای حل دقیق مسئله و استفاده از روش ϵ -constraint، مدل چند هدفه به یک مدل تک هدفه تبدیل و جواب بهینه مسئله استخراج می گردد.

Miranda and Garrido (۲۰۰۴) با تلفیق همزمان تصمیمات سطح تاکتیکی / عملیاتی

(تعیین حجم اقتصادی سفارش و ذخیره اطمینان) و سطح استراتژیک (مکان یابی تسهیلات)، یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته را جهت طراحی شبکه لجستیک مستقیم برای یک شرکت توزیع کننده محصولات غذایی منجمد با تقاضای احتمالی پیشنهاد دادند. هدف از این مقاله مکان یابی و تخصیص تسهیلات توزیع به مراکز مشتریان با مینیم کردن هزینه ها (راه اندازی، حمل و نقل، سفارش،

نگهداری و توزیع) و در نظر گرفتن سیاست های کنترل موجودی است. در این مدل ظرفیت تسهیلات محدود اما مکان کارخانه ها و تک تامین کننده معین و ثابت فرض شده است. از آنجا که مدل ارائه شده جزء مسائل NP-hard می باشد در نهایت از یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی برای حل مدل استفاده شده است.

در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای مدل سازی پارامترهای غیر قطعی منجر به افزایش پیچیدگی و زمان حل مدل می گردد. به منظور رفع این مشکل، Santos et al., (۲۰۰۵) یک مدل برنامه ریزی احتمالی و الگوریتم ترکیبی بر اساس روش تجزیه، برای حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین در مقیاس های واقعی ارائه کردند. زنجیره تامین چند محصولی مذکور در برگیرنده رده های تامین کننده، تولید کننده، انبار و مشتریان است و هدف از آن مینیمم سازی هزینه ها و تعیین متغیرهای تصمیم مکان و تعداد مراکز تولید، نوع ماشین آلات و میزان جریان مواد می باشد.

به منظور بررسی کارایی زنجیره تامین، Guillén et al., (۲۰۰۵) با در نظر گرفتن تقاضاهای غیر قطعی یک برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی را پیشنهاد دادند. در این مدل پارامتر تقاضای هر یک از نواحی مشتری در دوره های زمانی مختلف غیر قطعی در نظر گرفته شده که برای مدل سازی آن از روش سناریوسازی استفاده شده است. در این مدل چند هدفه و چند محصولی، قیمت فروش محصول در هر یک از نواحی در دوره های زمانی مختلف قطعی و متفاوت و ظرفیت کلیه تسهیلات محدود فرض شده است. هدف از این مدل تعیین تعداد، ظرفیت و مکان بهینه تسهیلات تولید و انبارداری، میزان بهینه تولید هر محصول در هر دوره زمانی در مراکز تولید و در نهایت میزان جریان مواد بین تسهیلات می باشد. لازم به ذکر است به منظور ماکزیمم سازی ارزش فعلی خالص و سطح رضایت مشتری و مینیمم سازی ریسک مالی در این تحقیق از روش ϵ -constraint استفاده شده است.

در واقعیت مشتریان نواحی مختلف، واکنش های متفاوتی نسبت به قیمت محصول نشان می دهند و قیمت بالای محصولات ممکن است منجر به از دست رفتن مجموعه از مشتریان گردد در نتیجه

تعیین قیمت محصولات متناسب با مراکز مختلف مشتریان از اهمیت بالایی برخوردار است. Shen (۲۰۰۶) با یکپارچه سازی تصمیمات سطوح استراتژیک و تاکتیکی، اقدام به طراحی زنجیره تامین دو سطحی تک هدفه ی تک محصولی با استفاده از برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته نمودند. مکان تولید کنندگان و مراکز مشتری در این تحقیق ثابت و معین فرض شده اما به منظور تطابق هر چه بیشتر مدل با واقعیت، ظرفیت تسهیلات محدود و تقاضای مشتریان غیر قطعی و بصورت توزیع نرمال و پواسون در نظر گرفته شده است. مجموع هزینه در تابع هدف ماکزیمم سازی سود، شامل هزینه های راه اندازی، انبار داری و حمل و نقل است که با بهینه سازی این تابع هدف در رابطه با متغیرهای تصمیم مختلف مدل همچون تعداد و مکان تسهیلات توزیع، تخصیص مشتریان به مراکز توزیع، استراتژی های مربوط به سطح موجودی در مراکز توزیع، قیمت محصول در هر منطقه مشتریان تصمیم گیری می شود.

You and Grossmann (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن معیارهای واکنش پذیری و سود دهی و

تقاضای غیر قطعی، اقدام به طراحی یک زنجیره تامین واکنش پذیر نمودند. معیار سود دهی با استفاده ارزش فعلی خالص (NPV)^۱ و معیار واکنش پذیری با استفاده از زمان حمل و انبار، حجم موجودی انبار و برنامه زمان بندی دوره ای تولید، اندازه گیری می شود. مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته چند محصولی ارائه شده، با ماکزیمم سازی ارزش فعلی خالص و مینیمم سازی مدت زمان تدارک (در دو سطح استراتژیک و عملیاتی)، مکان تسهیلات تولید و توزیع؛ تکنولوژی و زمانبندی تولید؛ ظرفیت تسهیلات و جریان بین تسهیلات را تعیین می کند. همچنین با استفاده از یک مدل احتمالی، سطح ذخیره اطمینان^۲ با تلفیق احتمال کمبود موجودی و تقاضای غیر قطعی تخمین زده می شود.

Azaron et al., (۲۰۰۸) نیز با ترکیب تصمیمات سطح تاکتیکی و عملیاتی اقدام به طراحی

شبکه لجستیک مستقیم شامل رده های تامین، تولید، توزیع و مشتری، نمودند. در مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی ارائه شده، کلیه پارامترهای مربوط به تقاضای مشتریان، هزینه های

۱. Net Present Value (NPV)

۲. safety stock

تامین، پردازش، حمل و نقل و افزایش ظرفیت بصورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است، همچنین به منظور ارائه یک مدل کارآمد و قوی، سه هدف مینیمم سازی هزینه ها (هزینه های راه اندازی و افزایش آتی ظرفیت تسهیلات)، مینیمم سازی واریانس هزینه های کل و مینیمم سازی ریسک مالی سرمایه گذاری به طور همزمان بهینه می گردد. در سطح استراتژیک تصمیمات مربوط به تاسیس یا عدم تاسیس مراکز تولید و توزیع، و در سطح تاکتیکی تصمیمات مربوط به مسیر یابی جریان (از تامین کننده به سمت مشتری) و ظرفیت سنجی تسهیلات، اخذ می گردد. لازم به ذکر است از برنامه ریزی آرمانی به منظور حل مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی چند محصولی فوق استفاده شده است.

در صورتیکه هزینه های حمل و نقل و تقاضای مشتریان در مسائل طراحی زنجیره تامین به صورت پارامترهای تصادفی در نظر گرفته شوند، طراحی شبکه ای که به طور همزمان هزینه ها را کاهش و سطح سرویس دهی به مشتریان را افزایش دهد، بسیار دشوار خواهد بود. Xu et al., (2008) برای حل این مشکل از یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته چند هدفه فازی استفاده کردند. در مدل تک محصولی چند سطحی پیشنهاد شده تعداد و مکان تامین کنندگان و مراکز مشتری ثابت، تعداد و مکان بالقوه مراکز تولید و توزیع مشخص، ظرفیت تسهیلات محدود و سطح موجودی ذخیره تسهیلات صفر در نظر گرفته شده است. از بین پارامترهای تاثیر گذار در طراحی شبکه تنها تقاضا و هزینه های حمل و نقل، به ترتیب بصورت متغیرهایی تصادفی با توابع توزیع نرمال و پارامترهایی فازی تعریف شده که در نهایت این مدل فازی با استفاده از عملگرهای مقدار مورد انتظار^۱ و محدودیت های تصادفی^۲ به یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته قطعی تبدیل و با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک توسعه یافته مدل حل می گردد. در این مدل با مینیمم سازی هزینه ها و ماکزیمم سازی سطح سرویس در رابطه با تاسیس یا عدم تاسیس تسهیلات تولید و توزیع و میزان جریان مواد بین تسهیلات تصمیم گیری می شود.

۱.Expectet

۲.chance constraint

Gumus et al., (۲۰۰۹) یک شبکه لجستیک مستقیم را با در نظر گرفتن تقاضا های غیر قطعی برای یک شرکت مشهور بین المللی تولید کننده مشروبات الکلی ارائه کردند. جهت مدل سازی عدم قطعیت در این شبکه زنجیره تامین سه رده ای، از ترکیب برنامه ریزی فازی و برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته و به منظور حل این مدل از شبیه سازی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱ استفاده شده است. در این مقاله برنامه ریزی فازی جهت پیش بینی میزان تقاضا و برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته جهت طراحی شبکه توسعه داده شده و در نهایت تعداد، مکان، و میزان جریان بهینه بین مراکز تولید، انبار و توزیع در صورتی که کلیه هزینه های ثابت و متغیر مینیمم گردد، تعیین می شود.

Xu et al., (۲۰۰۹) نیز به منظور طراحی زنجیره تامین چند محصولی در ابعاد واقعی یک مدل برنامه ریزی فازی تصادفی^۲ و متدولوژی حل مربوط به آن را توسعه دادند. در این تحقیق بر اساس مفهوم متغیر فازی تصادفی، از نظریه احتمالات^۳، تئوری مجموعه فازی و تئوری بهینه سازی به عنوانی ابزاری جهت تبدیل مدل فوق به مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته استفاده شده است، همچنین جواب بهینه مسئله در ابعاد کوچک با استفاده از روش های دقیق و جواب نزدیک به بهینه آن با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده، برای مسائل با ابعاد بزرگ تر استخراج می گردد. شبکه لجستیک مستقیم شامل سطوح تامین کننده، کارخانه، انبار و مشتریان با ظرفیت محدود است و مدل با مینیم سازی مجموع هزینه های شبکه، در زمینه تاسیس و یا عدم تاسیس، مکان یابی و تخصیص تسهیلات و حجم جریان بین آن ها تصمیم گیری می کند.

همچنین به منظور بررسی تاثیر عدم قطعیت کوتاه مدت و بلندمدت تقاضا مشتریان در تصمیمات استراتژیک و عملیاتی مربوط به برنامه ریزی زنجیره تامین، Schütz et al., (۲۰۰۹) یک مدل عدد صحیح آمیخته احتمالی دو مرحله ای را برای یک کارخانه تولید گوشت در نروژ توسعه دادند. در مرحله اول با مینیم سازی هزینه های راه اندازی، تصمیم استراتژیک مکان یابی و ظرفیت سنجی

۱. Artificial Neural Network
۲. random fuzzy programming
۳. probability theory

تسهیلات و در مرحله دوم با مینیمم سازی هزینه های تولید، حمل و نقل و جریمه های ناشی از عدم ارضای تقاضای مشتریان، تصمیمات عملیاتی مربوط به انتخاب تکنولوژی تولید، حجم تولید، سطح موجودی و سطح تقاضای ارضا نشده مشتری اخذ می گردد. در این مدل عدم قطعیت بلند مدت تقاضا، به روند بین المللی تقاضای گوشت و عدم قطعیت کوتاه مدت آن، به تغییرات تقاضای هفتگی گوشت بستگی دارد. همچنین به دلیل در نظر گرفتن تصمیمات عملیاتی در این مدل چند دوره ای ظرفیت محدود و افزایش پیچیدگی مدل، از روش سناریو سازی و تکنیک های حل احتمالی به ترتیب جهت مدل سازی پارامترهای غیر قطعی و حل مسئله استفاده شده است.

جهت در نظر گرفتن تقاضای غیر قطعی برای یک مسئله حمل و نقل، مکان یابی و تخصیص در یک شبکه لجستیکی شامل تولیدکننده، توزیع کننده و مراکز مشتریان به نحوی که اهداف اقتصادی و سطح کیفی خدمات به طور همزمان ارضا گردد، Cardona-Valdés et al., (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی چند هدفه تک محصولی را ارائه کردند. مکان مراکز تولید و مشتریان معین و ظرفیت کلیه تسهیلات محدود فرض شده و هدف مدل تنها یافتن مکان مناسب برای تسهیلات توزیع، انتخاب شیوه مناسب حمل و نقل و تعیین جریان بهینه بین تسهیلات می باشد. زمان سرویس دهی تابعی از کانال حمل نقل انتخاب شده بین تسهیلات است در نتیجه در این مدل گزینه های حمل و نقل مختلفی (با زمان و هزینه های متفاوت) در نظر گرفته شده است. در این تحقیق انتخاب کانال حمل و نقل شامل کلیه تصمیمات مربوط به نحوه حمل و مجموعه از خدمات متنوعی است که توسط یک یا چند شرکت حمل و نقل ارائه می گردد. تابع هدف اول شامل مینیمم سازی کلیه هزینه های راه اندازی تسهیلات و حمل نقل محصولات در کانال های توزیع و تابع هدف دوم شامل مینیمم سازی مدت زمان سرویس دهی است. در نهایت نیز یک راه حل احتمالی ترکیبی برای تبدیل این مدل برنامه ریزی احتمالی چند هدفه به یک مدل تک هدفه و حل آن، توسعه داده شده است.

در مقاله ای Pan and Nagi (۲۰۱۰) با ترکیب تصمیمات سطوح تولیدی و لجستیکی، مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته ای را برای طراحی زنجیره تامین در سیستم تولید چابک با در نظر

گرفتن تقاضاهای غیر قطعی پیشنهاد دادند. میزان تقاضای مشتریان با استفاده از توابع توزیع یکنواخت بصورت احتمالی تولید شده و از روش سناریوسازی برای مدل سازی عدم قطعیت این پارامترها در دوره های زمانی مختلف برنامه ریزی استفاده شده است. لازم به ذکر است که ظرفیت وسائل حمل و نقل نامحدود است اما ظرفیت سایر تسهیلات در دوره های زمانی مختلف محدود اما متفاوت فرض شده که این امر منجر به پویایی مدل می گردد.

تابع هدف شامل سه بخش کلی مینیمم سازی هزینه کل، واریانس هزینه و جریمه تقاضای ارضا نشده در پایان دوره برنامه ریزی است که به واسطه بهینه سازی آن ها، مقدار مناسب متغیرهای تصمیم مختلف همچون تاسیس یا عدم تاسیس تسهیلات در هر رده در طول دوره های زمانی مختلف، شیوه حمل و نقل، سطح موجودی، برنامه ریزی تولید، تعداد تسهیلات موجود در هر رده، میزان تولید در هر دوره زمانی، میزان جریان محصول بین تسهیلات و میزان تقاضاهای ارضا نشده و به تاخیر افتاده، تعیین می گردد. به منظور حل این مدل از الگوریتم ابتکاری K مسیر کوتاه^۱ استفاده شده است.

همچنین به منظور مکان یابی و تخصیص مجموعه از مراکز توزیع به مشتریان به نحوی که با کم ترین هزینه تقاضاهای کلیه مشتریان برآورده شود، Ahmadi Javid and Azad (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی محدب^۲ غیر خطی عدد صحیح آمیخته برای بهینه سازی همزمان تصمیمات مربوط به مکان یابی و تخصیص، ظرفیت سنجی، مسیریابی و تعیین ذخیره موجودی ارائه کردند. در این مدل تقاضای هر مشتری احتمالی است و از تابع توزیع احتمال نرمال تبعیت می کند. همچنین سطوح ظرفیتی معین و متفاوتی برای هر یک از تسهیلات در نظر گرفته شده که این امر منجر به تطابق بیشتر مدل با واقعیت و افزایش نرخ بهره برداری از ظرفیت تسهیلات می گردد اما نوع و ظرفیت کلیه وسایط نقلیه یکسان فرض شده است. برای تولید جواب بهینه مدل در ابعاد کوچک، از روش حل دقیق شاخه-حد و برای تولید

۱. K-shortest path

۲. convex

جواب های نزدیک به بهینه در ابعاد متوسط و بزرگ مسئله، از یک روش فرا ابتکاری ترکیبی بر پایه الگوریتم های جستجوی ممنوع و شبیه سازی تبرید استفاده شده است.

۳-۴-۲-ب- طراحی مدل های احتمالی شبکه لجستیک معکوس

همانطور که اشاره گردید ایجاد تغییرات در ساختار شبکه لجستیکی بسیار مشکل و هزینه بر خواهد بود، ایجاد یک شبکه لجستیکی پایدار اهمیت فوق العاده ای دارد. **Listes and Dekker** (۲۰۰۵) از رویکرد برنامه ریزی احتمالی با هدف ماکزیمم سازی سود برای حل مدل مطالعه موردی مربوط به بازیافت شن در هلند (مطرح شده در مقاله **Barros et al., ۱۹۹۸**)، استفاده کردند. آنها مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته تصادفی تک محصولی خود را با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای موقعیت های متفاوت توسعه دادند، و عدم قطعیت موجود در میزان جریان های بازگشتی را با استفاده از روش سناریو سازی و رویکرد برنامه ریزی احتمالی مدل سازی کردند. در این مدل برنامه ریزی احتمالی سه مرحله با هدف ماکزیمم سازی سود، در مرحله اول و دوم مکان تسهیلات ظرفیت محدود انبار (مربوط به جمع آوری و دسته بندی محصولات بازگشتی) و مراکز بازیافت و در مرحله سوم میزان جریان بین تسهیلات تعیین می گردد. در نهایت جواب بهینه مسئله با استفاده از نرم افزار **GAMS** و **CPLEX ۶,۵** تولید می شود.

همچنین به منظور مکان یابی، ظرفیت سنجی، تخصیص و تعیین میزان جریان بین مراکز تعمیرات مربوط به شرکت های طرف سوم مهیا کننده سرویس های لجستیکی، **Min and Ko** (۲۰۰۸) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته ای چند دوره ای چند محصولی را ارائه کردند. در این مدل مقادیر مربوط به تقاضا و کالاهای بازگشتی با تابع توزیع یکنواخت تولید شده و امکان تاسیس تسهیلات ترکیبی با ظرفیت محدود در نظر گرفته شده است. در نهایت جواب های نزدیک به بهینه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با جواب بهینه نرم افزار **LINGO** مقایسه شده است.

با توجه به احتمال تغییر پارامترهای تاثیر گذار در طراحی شبکه لجستیک معکوس در بلند مدت، Lee and Dong (۲۰۰۹) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی را برای مکانیابی و تخصیص تسهیلات در شبکه لجستیک معکوس غیر قطعی ارائه کردند. در این مدل، امکان راه اندازی تسهیلات ترکیبی با ظرفیت محدود (به منظور کاهش هزینه ها و آلودگی) و جریان چندین محصول مختلف، وجود دارد. مدل توسعه داده شده در این تحقیق، شبکه ای متشکل از سطوح تولید کننده، انبار، مشتری، مراکز جمع آوری، احیا و انهدام می باشد و هدف از آن تعیین نوع و تعداد تسهیلات و میزان جریان مستقیم و معکوس بین آن ها در هر دوره زمانی است به نحوی که مجموع هزینه ها (راه اندازی، عملیاتی و حمل و نقل) مینیمم گردد. با توجه به پیچیدگی مدل برای حل آن از الگوریتم فرا ابتکاری شبیه سازی تبرید (SA)^۱ استفاده شده است.

همانطور که اشاره شد طراحی شبکه بازیافت محصولات در صورتی که جریان های بازگشتی به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شوند، یکی از مسائل دشوار و با اهمیت در زمینه طراحی لجستیک معکوس می باشد، بنابراین Qin and Ji (۲۰۱۰) سه مدل بهینه سازی مختلف را بر اساس برنامه ریزی فازی با هدف مینیمم سازی هزینه ها (راه اندازی، انبارداری مواد، حمل و نقل و جریمه عدم جمع آوری مواد بازگشتی) جهت مکان یابی و تخصیص مراکز جمع آوری محصولات و تعیین میزان جریان بین رده های شبکه، ارائه کردند. شبکه لجستی فوق در برگیرنده سطوح مشتری، مراکز جمع آوری و کارخانه ها بوده و ظرفیت و حداکثر تعداد مراکز جمع آوری محدود فرض شده است. Qin and Ji (۲۰۱۰) پارامترهای مربوط به حجم جریان های بازگشتی، هزینه راه اندازی و هزینه حمل و نقل را بصورت متغیرهای غیر قطعی و فازی تعریف کردند و از تکنیک های مختلف برنامه ریزی فازی برای تبدیل این مدل به مدل قطعی و از یک الگوریتم هوشمند توسعه داده شده بر پایه شبیه سازی فازی و الگوریتم ژنتیک، برای تعیین جواب های نزدیک بهینه مسئله استفاده نمودند.

۱. Simulated Annealing (SA)

۳-۴-۲-ج- طراحی مدل های احتمالی شبکه لجستیک یکپارچه

Fleischmann et al., Salema et al. (۲۰۰۷) در مقاله خود به این نکته اشاره کردند که، (۲۰۰۱) عواملی مهمی همچون محدودیت ظرفیت مراکز تولید و انبار، چند محصولی بودن شبکه، عدم قطعیت تقاضا و جریان ها بازگشتی را در مدل خود در نظر نگرفته اند در نتیجه برای غلبه بر این نواقص با بسط مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته تصادفی، مدلی احتمالی را برای مسائل لجستیک یکپارچه، چند محصولی با ظرفیت محدود و تقاضای غیر قطعی ارائه کردند. البته همچنان تنوع ظرفیت تسهیلات و تمامی رده های زنجیره، در مدل نظر گرفته نشده است و همچنین مسئله تنها با استفاده از الگوریتم های دقیق در اندازه کوچک حل شده و به حل آن در ابعاد بزرگ پرداخته نشده است.

همچنین Listes (۲۰۰۷) یک مدل احتمالی دو مرحله ای کلی را برای طراحی لجستیک یکپارچه با استفاده از سناریوهای مختلف ارائه کرد. مدل فوق یک شبکه ۳ رده ای شامل تولیدکنندگان، مراکز مشتریان و مراکز بازیافت است که در آن ظرفیت تسهیلات محدود فرض شده و تنها امکان جریان یافتن یک محصول در شبکه وجود دارد. سطوح بحرانی مربوط به میزان تقاضا، حجم جریان های بازگشتی و درصد محصولات بازیافتی غیر قطعی، در هر یک از سناریوهای به صورت معین و ثابت فرض شده است. با استفاده از روش های تجزیه، شاخه و حد و روش L-shaped در مرحله اول کارخانه ها و مراکز بازیافت مکان یابی می شوند و در مرحله دوم حجم جریان مواد بین رده های مختلف شبکه تعیین می گردد.

Pishvae and Torabi (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته احتمالی دو هدفه ارائه دادند. در این مدل با در نظر گرفتن همزمان جریان های مستقیم و معکوس و تصمیم گیری های سطح استراتژیک طراحی شبکه با تصمیمات تاکتیکی بهینه سازی جریان مواد، از بوجود آمدن زیر بهینگی جلوگیری شده و همچنین مقدار تقاضا، جریان بازگشتی، زمان حمل، هزینه ها و ظرفیت تسهیلات به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است. اهداف این مدل ماکزیمم سازی سطح سرویس

دهی به مشتری و مینیمم سازی کلیه هزینه های ثابت و متغیر می باشد. به منظور حل این مدل رویکرد فازی تعاملی ارائه شده است. همچنین Pishvae et al., (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته تصادفی چند رده ای، تک دوره ای و تک محصولی را با در نظر گرفتن فرآیند های احیاء و انهدام به منظور غلبه بر عدم قطعیت (حجم و کیفیت جریان های بازگشتی، تقاضا و هزینه ها) موجود در مسئله طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس پیشنهاد دادند. سپس بر مبنای رویکرد احتمالی سناریو محور^۱، با مینیمم کردن مجموع هزینه های ثابت و متغیر، تعداد و مکان تسهیلات و همچنین میزان جریان بین تسهیلات زنجیره تامین یکپارچه تعیین کردند. در این مدل جریان محصولات بازگشتی برابر با درصد معینی از تقاضا هر یک از نواحی مشتریان در نظر گرفته شده و نرخ انهدام این محصولات به کیفیت جریان های بازگشتی وابسته شده است، همچنین امکان احداث تسهیلات ترکیبی (توزیع/جمع آوری و تولید/احیاء) به منظور صرفه جویی اقتصادی در راه اندازی شبکه لجستیک یکپارچه، در این مدل وجود دارد.

به منظور طراحی یک شبکه لجستیک پایدار، Lee et al., (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی را برای شبکه ای از تسهیلات با ظرفیت محدود شامل مراکز تولید، توزیع، مشتری، جمع آوری و تسهیلات ترکیبی جمع آوری و باز تولید، توسعه دادند. در مدل ارائه شده امکان جریان چندین محصول مختلف به صورت همزمان وجود دارد و به منظور تطابق بیشتر مدل با واقعیت، تقاضا و میزان جریان بازگشتی به صورت پارامترهایی با توابع توزیع احتمالی معین تعریف شده اند. همچنین با توجه به افزایش پیچیدگی مسئله به دلیل تعریف سناریوهای مختلف جهت مدل سازی عدم قطعیت موجود در شبکه، از تکنیک های حل احتمالی جهت مینیمم سازی هزینه ها و تعیین مقدار مناسب متغیرهای تصمیم نوع و مکان تسهیلات و میزان جریان بین رده های مختلف شبکه، استفاده است.

۱. scenario based stochastic approach

به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در زنجیره تامین حلقه بسته Wang and Hsu (2010X) از مفهوم تئوری مجموعه فازی استفاده نمودند. در این مقاله با اعمال روش برش لاندای ارزش بازه ای قطعی اعداد فازی مربوط به پارامترهای غیر قطعی استخراج شده و از برنامه ریزی بازه ای برای مدل سازی عدم قطعیت زنجیره تامین استفاده شده است. مدل تک هدفه ارائه شده شامل شبکه ای از تامین کننده، تولیدکننده، توزیع کننده، مراکز مشتریان، مراکز بازرسی می باشد که مکان تامین کنندگان، تولید کنندگان و مراکز مشتریان در آن ثابت فرض شده و تنها تعداد و مکان تسهیلات بازرسی و جداسازی، و میزان جریان بین کلیه رده های موجود به عنوان متغیر تصمیم در مدل وارد شده است. در این مدل ظرفیت و تعداد تسهیلات گشایش شده دارای محدودیت بوده و کلیه پارامترهای تقاضا، نرخ بازیافت، نرخ انهدام غیر قطعی در نظر گرفته شده اند.

۳-۵-۵- طبقه بندی ادبیات

ویژگی های مورد نیاز برای دسته بندی و مقایسه بهتر مطالعات و مقالات موجود در ادبیات با توجه به هدف این تحقیق استخراج شده و در ادامه تشریح می گردد.

۳-۵-۱- اجزای لجستیک

ا. **لجستیک مستقیم:** مراکز تامین^۱، مراکز تولید^۲، مراکز توزیع^۳.
ب. **لجستیک مستقیم:** مراکز جمع آوری/ بازرسی/ مرتب سازی^۴، مراکز احیا^۵، مراکز بازیافت^۶، مراکز انهدام^۷، مراکز مشتریان قطعات یدکی/ بازیافتی^۸.

از آنجا که در کلیه مقالات بررسی شده مراکز مشتری جزء ثابتی از زنجیره تامین فرض شده است، از در نظر گرفتن آن در این تقسیم بندی خودداری شده است.

۳-۵-۲- مشخصات مسئله و فرض ها

ا. **ظرفیت تسهیلات:** محدود^۹، نامحدود^{۱۰}.
ب. **تفاضل:** قطعی^{۱۱}، غیر قطعی^{۱۲}.

-
۱. Supply Centers (SC)
 ۲. Production Centers (PC)
 ۳. Distribution Centers (DisC)
 ۴. Collection/Inspection/Sorting centers (CISC)
 ۵. Recovery Centers (RCC)
 ۶. Recycling Centers (RYC)
 ۷. disposal Centers (DC)
 ۸. Spare Customer Centers (SCC)
 ۹. Capacitated (Ca)
 ۱۰. Uncapacitated (UCa)
 ۱۱. Deterministic (D)
 ۱۲. Stochastic (S)

- ج. تعداد محصولات: چند محصولی^۱، تک محصولی^۲.
- د. تعداد تسهیلات: درون زا^۳ (نامعین)، برون زا^۴ (معین).
- ه. دوره ها: تک دوره ای^۵، چند دوره ای^۶.

۳-۵-۳- نوع مدل سازی

- ا. گسسته: برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته^۷، برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته^۸، برنامه ریزی تصادفی عدد صحیح آمیخته^۹، برنامه ریزی بازه ای عدد صحیح آمیخته^{۱۰}، برنامه ریزی فازی^{۱۱}.
- ب. پیوسته: تقریب پیوسته^{۱۲}.

۳-۵-۴- خروجی ها

- ا. مکان یابی و تخصیص تسهیلات^{۱۳}.
- ب. ظرفیت تسهیلات^{۱۴}.
- ج. محدوده سرویس دهی^{۱۵}.

-
۱. Multi-Product (MP)
 ۲. Single-Product (SP)
 ۳. Endogenous (En)
 ۴. Exogenous (Ex)
 ۵. Single Period (SPr)
 ۶. Multi Period (MPr)
 ۷. Mixed Integer Linear Programming (MILP)
 ۸. Mixed Integer Non-Linear Programming (MINLP)
 ۹. Stochastic Mixed Integer Programming (SMIP)
 ۱۰. Interval Mixed Integer Programming (IMIP)
 ۱۱. Fuzzy Programming
 ۱۲. Continuous Approximation Programming (CAP)
 ۱۳. Location-Allocation (L)
 ۱۴. Facility Capacity (FC)
 ۱۵. Service Region (SR)

- د. میزان جریان حمل و نقل بین تسهیلات^۱.
- ه. میزان ارضای تقاضا^۲.
- و. تعداد وسائط نقلیه^۳.
- ز. میزان موجودی^۴.
- ح. هزینه های شبکه/ قیمت فروش محصولات^۵.
- ط. تکنولوژی/ سطح تولید^۶.

۳-۵-۵- اهداف

- ا. حداقل سازی هزینه ها یا حداکثر سازی سود^۷.
- ب. حداکثر سازی پاسخگویی به مشتری^۸.
- ج. حداکثر سازی پایداری تصمیمات^۹.
- د. حداقل سازی تاثیرات زیست محیطی^{۱۰}.
- ه. حداقل سازی ریسک سرمایه گذاری^{۱۱}.

-
۱. Transportation Amount (TA)
۲. Demand Satisfaction Quantity (DSQ)
۳. Number of Vehicles (NV)
۴. Inventory (I)
۵. Price (Pric)
۶. Production (Pro)
۷. Cost (C)
۸. Responsiveness (Res)
۹. Robustness (Rob)
۱۰. Environment impact (Env)
۱۱. Financial risk (FRisk)

۳-۵-۶- روش حل

- ا. الگوریتم های ابتکاری^۱.
- ب. الگوریتم های فرا ابتکاری^۲.
- ج. تکنیک های احتمالی^۳.
- د. سناریو سازی^۴.
- ه. تکنیک های فازی^۵.
- و. روش های حل دقیق^۶.

۳-۵-۷- پارامترهای غیر قطعی مدل

- ا. تامین مواد اولیه^۷.
- ب. تقاضا^۸.
- ج. میزان جریان بازگشتی^۹.
- د. هزینه های شبکه^{۱۰}.
- ه. ظرفیت تسهیلات^{۱۱}.
- و. زمان (تامین، تولید، حمل و نقل و ...)^{۱۲}.

-
۱. Heuristic Algorithm (Heu)
 ۲. Meta- Heuristic Algorithm (MHeu)
 ۳. Stochastic (Sto)
 ۴. Scenario (Scen)
 ۵. Fuzzy Method (Fuz)
 ۶. Exact Methods (Exac)
 ۷. Uncertain Supply (US)
 ۸. Uncertain Demand (UD)
 ۹. Uncertain Return product (UR)
 ۱۰. Uncertain Cost (UCst)
 ۱۱. Uncertain Capacity (UCap)
 ۱۲. Uncertain time (UTim)

ز. نرخ بازیافت^۱.

ح. نرخ احیا^۲.

اطلاعات مربوط به مجموع مقالات بررسی شده بر اساس ویژگی های فوق در جداول ۱-۳ و

۲-۳ جمع بندی و طبقه بندی شده است.

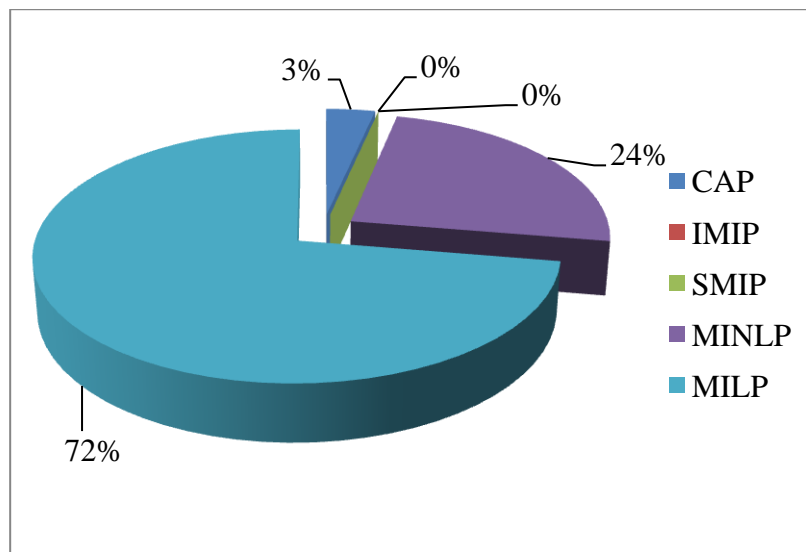
۱. Uncertain Rate of Recycle (URcy)

۲. Uncertain Rate of Recovery (URco)

۳-۶- طبقه بندی روش های مدل سازی و حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین

۳-۶-۱- روش های مدل سازی شبکه زنجیره تامین

با توجه به اطلاعات شکل ۳-۲، تقریباً ۹۶٪ از مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی با استفاده از روش برنامه ریزی خطی و غیر خطی عدد صحیح آمیخته مدل سازی شده است و سهم مدل های پیوسته (Dasci and Verter, ۲۰۰۱) بسیار اندک و در حدود ۳٪ می باشد.

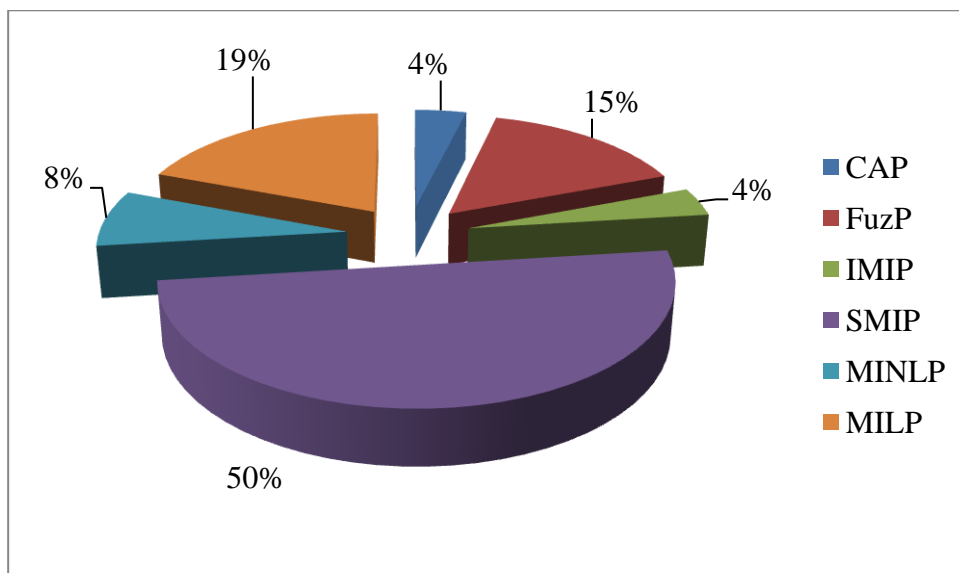


شکل ۳-۲- طبقه بندی روش های مدل سازی مسائل زنجیره تامین قطعی

اما از آنجا که طراحی شبکه زنجیره تامین معکوس و یا حلقه بسته با درجات بالایی از عدم قطعیت روبرو است، محققین تکنیک های متعددی از جمله برنامه ریزی احتمالی، برنامه ریزی خاکستری^۱، برنامه ریزی فازی و برنامه ریزی بازه ای را برای غلبه بر این عدم قطعیت توسعه داده اند. با توجه به اطلاعات شکل ۳-۳، برنامه ریزی احتمالی با ۵۰٪، بالاترین سهم را در بین سایر روش های مدل سازی عدم قطعیت در مسائل طراحی زنجیره تامین دارا می باشند. اما بر اساس مطالعات انجام شده

^۱.gray optimization

توسط Dippon (۱۹۹۸) برنامه ریزی احتمالی، برای حل مسائل نیازمند حجم بسیار بالای اطلاعات و طی مراحل نسبتاً زیادی می باشد، همچنین از آنجا که در بسیاری از مسائل دنیا واقعی، سوابق اطلاعاتی کافی در مورد پارامترهای مسئله وجود ندارد، تعیین توزیع تصادفی دقیق پارامترهای غیر قطعی، تقریباً غیر ممکن است. همچنین بالغ بر ۲۷٪ مطالعات انجام شده، از مدل برنامه ریزی خطی / غیر خطی عدد صحیح آمیخته استفاده کردند که وجود محدودیت های تصادفی و یا مدل کردن عدم قطعیت از طریق سناریو سازی نیز پیچیدگی و زمان حل این مدل های را به طرز قابل توجهی افزایش می دهند.



شکل ۳-۳- طبقه بندی روش های مدل سازی مسائل زنجیره تامین غیر قطعی

برنامه ریزی خاکستری در مواردی که الگوی داده ها غیر قطعی و گسسته باشد استفاده می شود (Davila & Chang, ۲۰۰۵). عدم قطعیت موجود در مسائل طراحی زنجیره تامین حلقه بسته، ناشی از روابط پیچیده ای است که بین داده های مسئله وجود دارد. به همین علت الگوی توزیع داده ها با یکدیگر همپوشانی داشته و نمی توان این الگوها را طبقه بندی نمود، در نتیجه پیش بینی موارد بازیافت، مقدار بازیافت و احتمال استفاده مجدد این محصولات بسیار مشکل است.

برنامه ریزی فازی نیز ابتدا توسط **Bellman and Zadeh** (۱۹۷۰) ارائه شده است و تقریباً ۱۵٪ از مقالات مورد بررسی از این روش برای مدل سازی مسائل طراحی زنجیره تامین استفاده کرده اند. بر اساس تحقیقات انجام گرفته توسط **Inuiguchi and Ramik** (۲۰۰۰)، برنامه ریزی فازی از نقطه نظر بهینه سازی، به دلیل عدم وجود تعبیر مناسبی از تابع هدف فازی، قادر به منتقل کردن مستقیم عدم قطعیت به فرآیند بهینه سازی و در نتیجه نتایج حاصله، نمی باشد اما مدل های برنامه ریزی فازی به راحتی با تبدیل شدن به برنامه ریزی قطعی، قابل حل خواهند بود.

در مسائل برنامه ریزی تصادفی، ضرایب به صورت متغیرهای تصادفی با توزیع احتمالی مشخص و در مسائل برنامه ریزی فازی، محدودیت های و اهداف به صورت مجموعه های فازی با توابع عضویت معلوم در نظر گرفته می شوند. توزیع های احتمال و توابع عضویت نقش بسیاری مهمی در متدهای مذکور دارند. در حالیکه در واقعیت همواره تعیین تابع عضویت یا توزیع احتمال برای تصمیم گیرنده (DM) ساده نیست همچنین حفظ اطلاعات اصلی مسئله حین تبدیل مدل فازی به مدل های قطعی یکی از مشکلات اصلی برنامه ریزی فازی است بنابراین در مواردی استفاده از ضرایب بازه ای جهت مدل سازی این عدم قطعیت مناسب می باشد. لازم به ذکر است با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته، در مسائل تصمیم گیری آن طور که شایسته است به برنامه ریزی بازه ای پرداخته نشده است. تنها **Wang and Hsu** (۲۰۱۰)، با توجه به روش پیشنهاد شده توسط **Carlsson and Fuller** (۲۰۰۱) جهت تجمیع تمامی سطوح اعداد فازی با استفاده از مفهوم میانگین امکانی، مدل برنامه ریزی فازی را به یک مدل برنامه ریزی بازه ای تبدیل کردند. این مدل با در نظر گرفتن سطوح خوش بینانه و بد بینانه قادر به تسهیل فرآیند تصمیم گیری و آنالیز ریسک مرتبط با تصمیم گیری است.

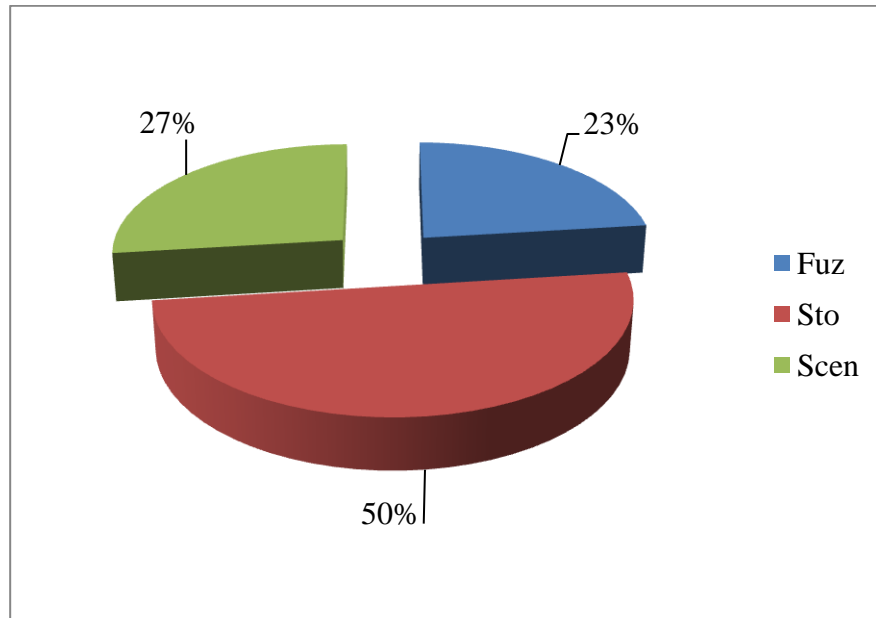
۳-۶-۲- روش های تولید پارامترهای غیر قطعی مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین

رویکردهای احتمالی، سناریو سازی و فازی، عمده روش های استفاده شده جهت تولید مقادیر مربوط به پارامترهای احتمالی هستند. در روش احتمالی، پارامترهای به صورت متغیرهای احتمالی با توابع توزیع معین فرض می شوند و در روش سناریو سازی تعداد مشخصی سناریو تعریف شده و احتمال رخداد هر یک از این سناریو ها و مقادیر پارامترهای غیر قطعی در هر یک از آن ها، مشخصی و ثابت در نظر گرفته می شود. هدف روش سناریو سازی یافتن یک جواب پایدار نزدیک به بهینه برای مسئله با توجه به تغییرات داده های ورودی است (Pan and Nagi, ۲۰۱۰). تئوری مجموعه فازی چارچوبی را برای مدل سازی انواع عدم قطعیت همچون ضرایب فازی ناشی از کمبود دانش، انعطاف پذیری در محدودیت ها و توابع هدف را به طور همزمان میسازد (Dubois et al., ۲۰۰۳).

جدول ۳-۳- طبقه بندی انواع پارامترهای غیر قطعی و روش های مدل سازی آن ها در مسائل طراحی زنجیره تامین غیر قطعی

عنوان مقاله	سال انتشار	پارامترهای غیر قطعی مدل								نحوه تولید مقدار پارامترها		
		US	UD	UR	UCst	UCap	UTim	URcy	URco	Scen	Sto	Fuz
Sabri and Beamon	۲۰۰۰		•				•				•	
Miranda and Garrido	۲۰۰۴		•								•	
Santoso et al.	۲۰۰۵	•	•		•	•				•		
Guillén et al.	۲۰۰۵		•							•		
Shen	۲۰۰۶		•								•	
You and Grossmann	۲۰۰۸		•								•	
Azaron et al.	۲۰۰۸		•		•						•	
Xu et al.	۲۰۰۸		•		•							•
Xu et al.	۲۰۰۹	•	•		•							•
Gumus et al.	۲۰۰۹		•									•
Schütz et al.	۲۰۰۹		•							•		
Cardona-Valdés	۲۰۱۰		•								•	
Ahmadi Javid and Azad	۲۰۱۰		•								•	
Pan and Nagi	۲۰۱۰		•							•	•	
Listes and Dekker	۲۰۰۵			•						•		
Min and Ko	۲۰۰۸		•	•							•	
Lee and Dong	۲۰۰۹		•	•							•	
Qin and Ji	۲۰۱۰			•	•							•
Salema et al.	۲۰۰۷		•	•	•						•	
Listes	۲۰۰۷		•	•				•		•		
Pishvae et al.,	۲۰۱۰		•	•	•					•	•	
Wang and Hsu	۲۰۱۰		•					•	•			•
Pishvae and Torabi	۲۰۱۰	•	•	•	•	•	•	•				•
Lee et al.	۲۰۱۰		•	•							•	

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته و جدول ۳-۳، علیرغم مشکلات موجود در رابطه با تعیین دقیق توابع توزیع احتمالی پارامترهای غیر قطعی، تقریباً ۵۰٪ از مقالات بررسی شده در زمینه طراحی زنجیره تامین غیر قطعی، از این تکنیک برای مدل سازی پارامترهای غیر قطعی مسئله استفاده کرده اند، همچنین تکنیک سناریوسازی نیز با وجود بالا بردن پیچیدگی و زمان حل مسئله، دومین تکنیک مرسوم در رابطه با مدل سازی پارامترهای غیر قطعی است (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- سهم روش های مختلف تولید مقادیر پارامترهای غیر قطعی در مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین غیر قطعی

با توجه به نوع عدم قطعیت ذاتی^۱ موجود در داده های مسائل طراحی زنجیره تامین و عدم امکان تعیین دقیق توابع توزیع احتمالی مربوط به پارامترهای غیر قطعی مسئله و همچنین افزایش پیچیدگی مسئله در صورت افزایش تعداد سناریو ها، رویکرد فازی یکی از بهترین روش ها جهت مدل سازی پارامترهای غیر قطعی محسوب می گردد و در سال های اخیر (۲۰۰۸-۲۰۱۰) استفاده از این روش رشد چشمگیری داشته است. Ho (۱۹۹۸) عدم قطعیت موجود در سیستم های تولیدی را به دو دسته عمده تقسیم کرده است: ۱- عدم قطعیت های محیطی و ۲- عدم قطعیت های سیستمی. در رابطه با زنجیره تامین، عدم قطعیت تامین و تقاضا که در نتیجه عملکرد تامین کننده و رفتار مصرف کننده ایجاد می گردد، جزء عدم قطعیت های محیطی و عدم قطعیت های مربوط به فرآیند تولید، توزیع، جمع آوری و احیاء همچون عدم قطعیت در زمان ارسال، هزینه تولید و ظرفیت تسهیلات مختلف، جزء عدم قطعیت های سیستمی محسوب می شوند.

^۱.intrinsic uncertainty

بر اساس اطلاعات جدول ۳-۳، به ترتیب پارامترهای میزان تقاضا، میزان و کیفیت محصولات بازگشتی، هزینه ها (راه اندازی، تولید، حمل و نقل، بازیافت و ..)، تامین مواد اولیه و نرخ بازیافت و احیای محصولات، عمده پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده در ادبیات موجود می باشند. در معدود کارهای سال های اخیر (Pishvae and Torabi, ۲۰۱۰) با هدف تطابق بیشتر مدل با واقعیت، سعی در غیر قطعی فرض کردن کلیه پارامترهای محیطی و سیستمی شده است.

۳-۶-۳- روش های حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین

در اکثر موارد مدل های طراحی شبکه لجستیک ترکیبی از دو مسئله مکان یابی- تخصیص و بهینه سازی جریان^۱ هستند. این مسائل قابل کاهش به مسئله مکان یابی تسهیلات با ظرفیت محدود^۲ می باشند که در دسته NP-complete قرار دارند (Davis and Ray, ۱۹۶۹). سایر دسته های مسائل مکان یابی مانند مسئله میانه^۳ و مرکز^۴ نیز به دسته NP-complete یا NP-hard تعلق دارند (Amiri, ۲۰۰۸; Lee and Dong, ۲۰۰۶). مسائل لجستیک چند مرحله ای^۵ با محدودیت حداکثر تسهیلات معین، ترکیبی از مسئله کوله پشتی چند گزینه ای^۶ و مسئله مکان یابی- تخصیص با ظرفیت محدود هستند که هر دو از مسائل NP-hard شاخته شده می باشند (Gen and Chen, ۱۹۹۷). در نتیجه مسائل طراحی شبکه لجستیک چند مرحله ای نیز مسائلی در کلاس NP-hard با درجه سختی بالا محسوب می شوند که برای حل این گونه مسائل نمی توان از روش های دقیق استفاده نمود. نویسندگان و محققان برای حل این مسائل از روش های ابتکاری و فرا ابتکاری که بر پایه بهینه سازی مسائل ترکیبی استوارند، استفاده می کنند.

۱. flow optimization

۲. Capacitated Plant Location Problem (CPLP)

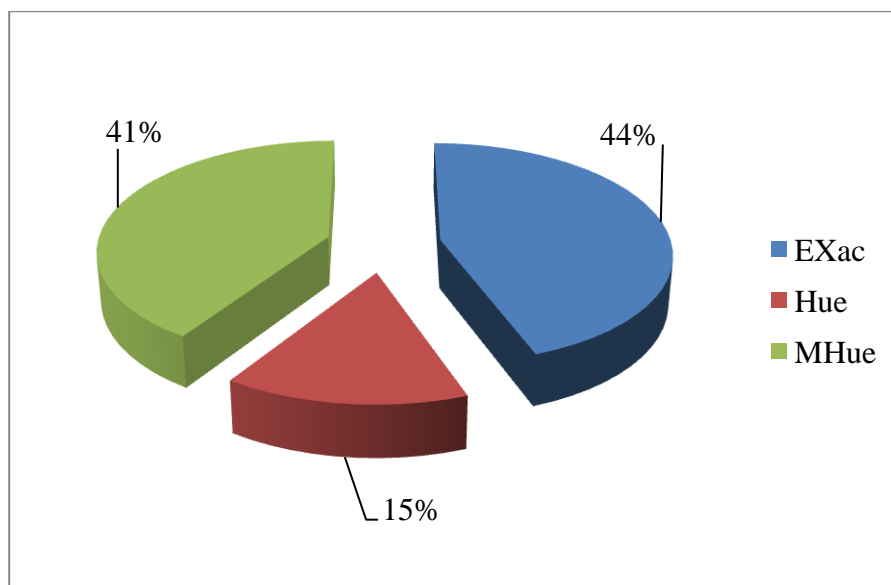
۳. median

۴. center

۵. multi-stage logistics problem

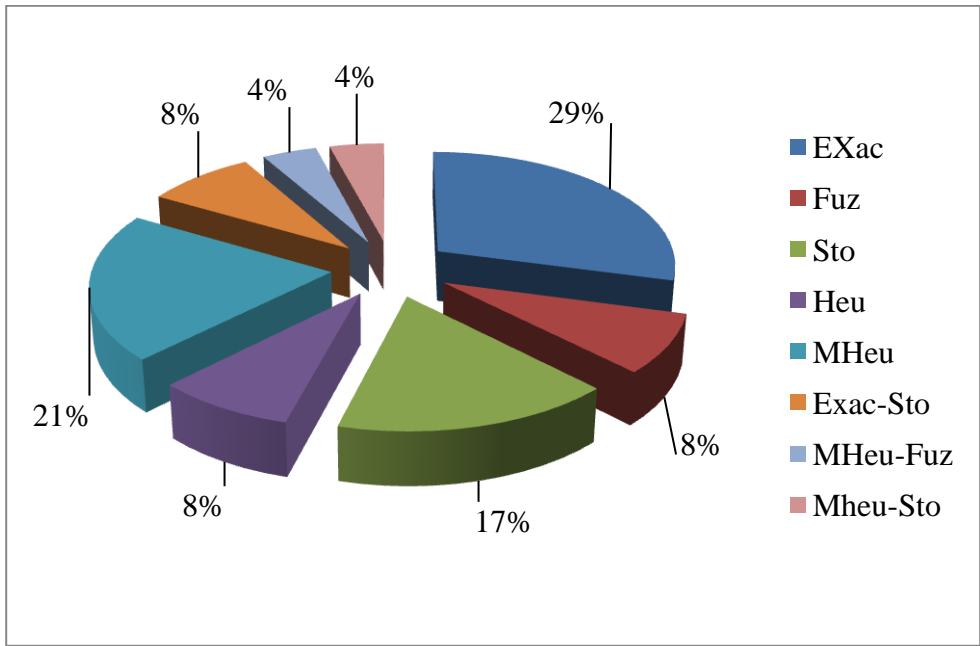
۶. multi choice knapsack problem

با توجه به شکل ۳-۵، تقریباً ۴۴٪ مدل های مربوط به طراحی زنجیره تامین قطعی از روش های دقیق برای حل مدل استفاده کرده اند. باید توجه داشت در این مقالات تنها امکان تولید جواب های دقیق و بهینه برای مسائلی با ابعاد کوچک و در نظر گرفتن فرض های ساده ساز بسیار زیاد، میسر می باشد. در حالی که روش های فرا ابتکاری و ابتکاری به ترتیب با سهم ۴۱٪ و ۱۵٪، به راحتی جواب های نزدیک به بهینه مسائل را در ابعاد متوسط و بزرگ با درصد خطا اندک تولید می کنند. لازم به ذکر است با توجه اطلاعات جدول ۳-۱، به دلیل افزایش پیچیدگی مسائل طراحی زنجیره تامین حلقه بسته، استفاده از تکنیک های فرا ابتکاری در حل این مدل ها بسیار رایج تر از روش های دقیق می باشد.



شکل ۳-۵- سهم روش های مختلف حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین قطعی

در دسته بندی روش های حل مربوط به مدل های طراحی زنجیره تامین غیر قطعی، علاوه بر سه روش فوق الذکر ممکن است از تکنیک های حل احتمالی و فازی نیز استفاده شود. با توجه به اطلاعات جدول ۳-۲، در سال های اخیر عمده نویسندگان از الگوریتم های فرا ابتکاری، تکنیک های احتمالی/ فازی و یا ترکیبی از این روش ها برای حل مدل های غیر قطعی استفاده کرده اند. در شکل ۳-۶ سهم هر یک از این روش های نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- سهم روش های مختلف حل مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین غیر قطعی

در جدول ۳-۴ و ۳-۵ به ترتیب روش های استفاده شده برای حل مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی و غیر قطعی آورده شده است.

جدول ۳-۴- طبقه بندی روش های حل مربوط به مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی

عنوان مقاله	سال انتشار	روش حل
Jayaraman and Pirkul	۲۰۰۱	A heuristic base on Lagrangean relaxation
Dasci and Verter	۲۰۰۱	Exact (continuous objective function)
Jayaraman and Ross	۲۰۰۳	Simulated Annealing
Yan et al.	۲۰۰۳	LINDO solver algorithm (in small sizes)
Yeh	۲۰۰۵	A hybrid heuristic
Milachrinoudis et al.	۲۰۰۵	LINGO solver algorithm (in small sizes)
Amiri	۲۰۰۶	A heuristic base on Lagrangean relaxation
Gen et al.	۲۰۰۶	Priority-based Genetic algorithm
Altiparmak et al.	۲۰۰۶	Priority-based Genetic algorithm
Meepetchdee and shah	۲۰۰۷	Exact in small sizes
Bidhandi et al.	۲۰۰۹	Benders decomposition
Altiparmak et al.	۲۰۰۹	Steady-State Genetic Algorithm (ssGA)
Krikke et al.	۱۹۹۹	LINDO solver algorithm (in small sizes)
Jayaraman et al.	۱۹۹۹	GAMS solver algorithm (in small sizes)
Min et al.	۲۰۰۶	Genetic Algorithm
Aras et al.	۲۰۰۷	A heuristic based on Tabu search
Üster et al.	۲۰۰۷	Benders decomposition
Aras and Aksen	۲۰۰۸	Hybrid Tabu Search
Du and Evans	۲۰۰۸	Hybrid Scatter Search
Cruz-Rivera and Ertel	۲۰۰۹	Lagrangian Relaxation
Mutha and Pokharel	۲۰۰۹	GAMS solver algorithm (in small sizes)
Krikke et al.	۲۰۰۳	CPLEX solver algorithm (in small sizes)
Ko and Evans	۲۰۰۷	Genetic Algorithm
Min and Ko	۲۰۰۷	Genetic Algorithm
Lee and Dong	۲۰۰۸	Tabu Search
Kusumastuti et al.	۲۰۰۸	Branch & Bound
Wang and Hsu	۲۰۱۰	spanning-tree based Genetic Algorithm
Kannan et al.	۲۰۱۰	Genetic Algorithm
Salema et al.	۲۰۱۰	Branch & Bound

جدول ۳-۵- طبقه بندی روش های حل مربوط به مسائل طراحی زنجیره تامین غیر قطعی

عنوان مقاله	سال انتشار	روش حل
Sabri and Beamon	۲۰۰۰	ϵ -constraint
Miranda and Garrido	۲۰۰۴	Lagrangian relaxation
Santoso et al.	۲۰۰۵	sample average approximation (SAA) with Benders decomposition
Guillén et al.	۲۰۰۵	ϵ -constraint
Shen	۲۰۰۶	CPLEX solver algorithm (in small sizes)
You and Grossmann	۲۰۰۸	ϵ -constraint
Azaron et al.	۲۰۰۸	goal attainment technique
Xu et al.	۲۰۰۸	spanning-tree based Genetic Algorithm
Xu et al.	۲۰۰۹	Genetic Algorithm
Gumus et al.	۲۰۰۹	Artificial Neural Network
Schütz et al.	۲۰۰۹	sample average approximation
Cardona-Valdés	۲۰۱۰	L-shaped algorithm
Ahmadi Javid and Azad	۲۰۱۰	Hybrid Tabu Search and Simulated Annealing
Pan and Nagi	۲۰۱۰	K-shortest path
Listes and Dekker	۲۰۰۵	CPLEX solver algorithm (in small sizes)
Min and Ko	۲۰۰۸	Genetic Algorithm
Lee and Dong	۲۰۰۹	Simulated Annealing+ sample average approximation (SAA)
Qin and Ji	۲۰۱۰	Genetic Algorithm +Fuzzy simulation
Salema et al.	۲۰۰۷	Branch & Bound (in small sizes)
Listes	۲۰۰۷	Branch & Bound + L-shaped+ Benders decomposition
Pishvae et al.,	۲۰۱۰	scenario-based stochastic approach
Wang and Hsu	۲۰۱۰	Fuzzy γ -level cut
Pishvae and Torabi	۲۰۱۰	Expected Fuzzy value
Lee et al.	۲۰۱۰	sample average approximation

۳-۷- نتیجه گیری مرور ادبیات

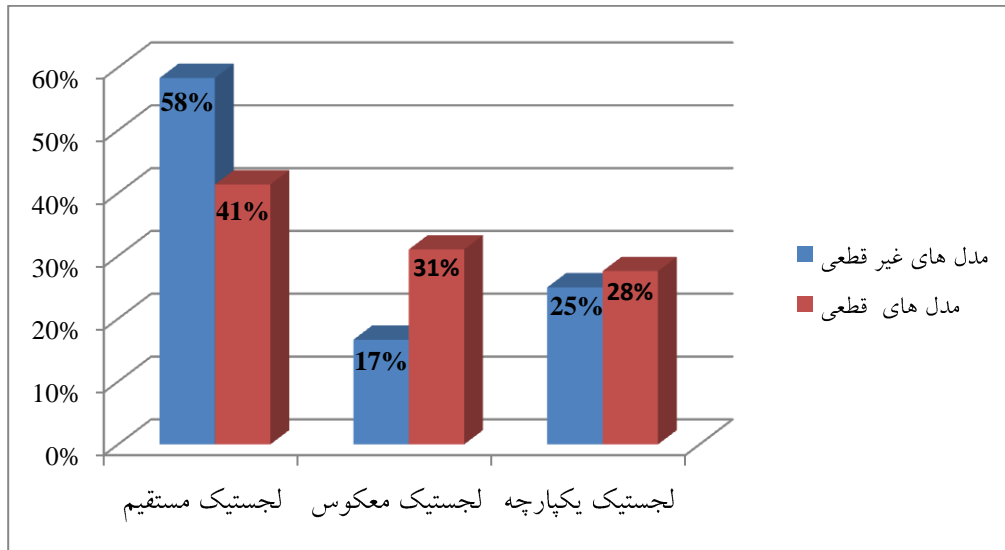
بر اساس مطالعات انجام شده عمده مقالات مربوط به طراحی زنجیره تامین قطعی طی سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۷، بیشتر بر روی مسائل طراحی شبکه های لجستیکی مستقیم و یا معکوس به صورت جداگانه تمرکز دارد. در نظر گرفتن همزمان جریان های مستقیم و معکوس به منظور جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی در مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی و غیر قطعی، پس از سال ۲۰۰۷ مورد توجه قرار گرفته است. مقالات مربوط به طراحی زنجیره تامین قطعی دارای ضعف هایی است که در ذیل به تعدادی از آن ها اشاره می شود:

۱. به منظور جلوگیری از پیچیدگی بیش از اندازه مدل، کلیه پارامترهای مسئله (از جمله تقاضا و میزان جریان های بازگشتی) بصورت قطعی در نظر گرفته شده که این امر از عمومیت و انطباق مدل با واقعیت کاسته است.

۲. تمامی رده های زنجیره تامین به خصوص مراکز بازیافت، احیا، انهدام، مشتریان قطعات یدکی و محل تامین کنندگان، در اکثر مقالات بررسی شده (به غیر از مقاله؛ Kannan et al., ۲۰۱۰; Mutha and Pokharel, ۲۰۰۹) مدل سازی نشده که این مسئله منجر به کاهش جامعیت مدل ها می گردد.

۳. بخش اعظمی از مطالعات انجام شده تنها به مینیم سازی هزینه ها/ ماکزیمم سازی سود (C) پرداخته اند و تنها ۱۴٪ از مقالات مربوطه به طور همزمان سطح و کیفیت خدمات رسانی به مشتری را نیز ماکزیمم می کنند. همچنین ماکزیمم سازی پایداری تصمیمات و مینیمم سازی اثرات زیست محیطی هر یک ۳٪ از مقالات طراحی شبکه زنجیره تامین قطعی را به خود اختصاص می دهند، این در حالی است که مسائل طراحی زنجیره تامین همواره با اهداف متناقضی همراه است که می بایست بطور همزمان بهینه گردند.

۴. در واقعیت ظرفیت تسهیلات شبکه متغیر می باشد و عدم نظر گرفتن سطوح مختلف برای ظرفیت تسهیلات، منجر به عدم تطابق مدل با واقعیت تصمیمات طراحی شبکه می گردد.



شکل ۳-۷- سهم مقالات لجستیک مستقیم/ معکوس/ یکپارچه در مسائل طراحی زنجیره تامین قطعی و غیر قطعی

بخش اعظمی از مدل های غیر قطعی موجود در ادبیات مربوط به برنامه ریزی و مدیریت سطوح عملیاتی و تاکتیکی زنجیره تامین می باشد که در این فصل به آن ها اشاره نشده است. با توجه شکل ۳-۷، ۵۸٪ از مطالعات طراحی زنجیره تامین غیر قطعی، به لجستیک مستقیم پرداخته است و تنها ۲۵٪ مقالات (پس از سال ۲۰۰۷) بر لجستیک یکپارچه تمرکز دارد این در حالی است که در طراحی و ظرفیت سنجی تسهیلات شبکه لجستیکی، علاوه بر میزان جریان های مستقیم، حجم جریان های معکوس، میزان تقاضای محصولات احیا/ بازیافت شده را نیز باید در نظر گرفت. در نتیجه طراحی یکپارچه زنجیره تامین به منظور طراحی شبکه ای واقع گرایانه بسیار حائز اهمیت است (Pokharel , Mutha & ۲۰۰۹). در ادامه برخی نکات حائز اهمیت در مقالات طراحی زنجیره تامین یکپارچه غیر قطعی ارائه می گردد:

۱. به منظور رفع مشکل مبتنی بر مورد بودن^۱ مدل های طراحی شده، در نظر گرفتن کلیه رده ها زنجیره تامین ضروری است. در بین مقالات بررسی شده تنها Pishvae and Torabi (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن این رده ها، مدلی عام و قابل تعمیم ارائه نمودند.

۱. case based

۲. تنها در ۳۳٪ مقالات امکان جریان یافتن محصولات مختلف در شبکه وجود دارد و اکثر مدل ها تک محصولی فرض شده اند.

۳. روش مدل سازی احتمالی بیشتر تکنیک مدل سازی استفاده شده برای طراحی زنجیره تامین یکپارچه غیر قطعی است در حالی که با توجه به کمبود اطلاعات در رابطه با سوابق پارامترهای مسئله، امکان تخمین صحیح توابع توزیع مربوطه بسیار اندک می باشد.

۴. بالغ بر ۸۳٪ از مقالات تنها مینیمم سازی هزینه ها/ ماکزیمم سازی سود را به عنوان تابع هدف در نظر گرفته اند و تنها در یک مورد (Pishvae and Torabi, ۲۰۱۰) مدل برنامه ریزی چند هدفه ارائه شده است، در حالی که در واقعیت مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین غیر قطعی با اهداف متفاوت و متناقضی روبرو می باشند.

۵. در بیشتر مقالات مربوط به لجستیک مستقیم و یا معکوس تنها پارامترهای تقاضا، حجم جریان های بازگشتی و هزینه ها بصورت پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است، در حالی که در واقعیت پارامترهای غیر قطعی سیستمی/ محیطی دیگری همچون زمان (تولید، تدارک و حمل و نقل)، سطح ظرفیت، نرخ بازیافت، احیا و انهدام نیز مقدار قطعی و معینی ندارند. در بین مقالات لجستیک یکپارچه غیر قطعی می توان به مقاله Pishvae and Torabi (۲۰۱۰) اشاره نمود که پارامترهای فوق در آن به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقالات بررسی شده، تحقیق حاضر بیشترین مشابهت را با مقالات Pishvae and Torabi (۲۰۱۰) و Wang and Hsu (۲۰۱۰) دارد (جدول ۳-۶). در تحقیق پیش رو یک مدل طراحی زنجیره تامین حلقه بسته غیر قطعی به منظور جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی، ارائه می گردد. پارامترهای سیستمی و محیطی مسئله به دلیل ماهیت غیر قطعی ذاتی، کمبود اطلاعات سوابق عددی پارامترها و تطابق بیشتر مدل با واقعیت، به صورت اعداد فازی مدل شده و در نهایت با استفاده از مدل برنامه ریزی بازه ای عدد صحیح آمیخته چند هدفه، جواب های نزدیک به بهینه مسئله تولید می شود. لازم به ذکر به منظور جامعیت بخشیدن به مدل، امکان جریان یافتن همزمان چندین محصول مختلف در

شبکه وجود دارد و کلیه رده های مربوط به تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و فرآیند جمع آوری، بازرسی، بازیافت، احیا، انهدام و مراکز مشتریان قطعات یدکی و محصولات دست دوم در مدل در نظر گرفته شده است. همچنین از آنجا که طراحی زنجیره تامین برای تسهیلات بدون محدودیت ظرفیت منجر به طراحی یک زنجیره تامین غیر واقعی و ناکارآمد می گردد در این مدل این فرض ساده ساز حذف شده است.

جدول ۳-۶- ویژگی های تحقیق حاضر

ویژگی	تحقیق حاضر	Pishvae and Torabi (۲۰۱۰)	Wang and Hsu (۲۰۱۰)
اجزای زنجیره لجستیک	PC, DisC, SCC, CISC, RCC, RYC	PC, DisC, SCC, CISC, RCC, RYC, DC	SC, PC, DisC, CISC, RYC
مشخصات مسئله و فرض ها	Ca, S, MP, EN, SP	Ca, S, SP, EN, MPr	Ca, S, SP, EX, SP
مدل سازی	IMIP	SMIP	IMIP
خروجی ها	L, TA	L, TA	L, TA
اهداف	C, Res	C, Res	C
روش حل	MHeu (μGA)	Fuz (Expected Fuzzy value)	Fuz (Fuzzy \forall -level cut)
پارامترهای غیر قطعی مدل	UD, UR, UCst, UCap, UTim, URcy, URco,	UD, UR, UCst, UCap, UTim, URcy,	UD, URcy
نحوه تولید مقدار پارامترها	Fuz	Fuz	Fuz

فصل چهارم

تعریف مسئله

و

مدل سازی ریاضی

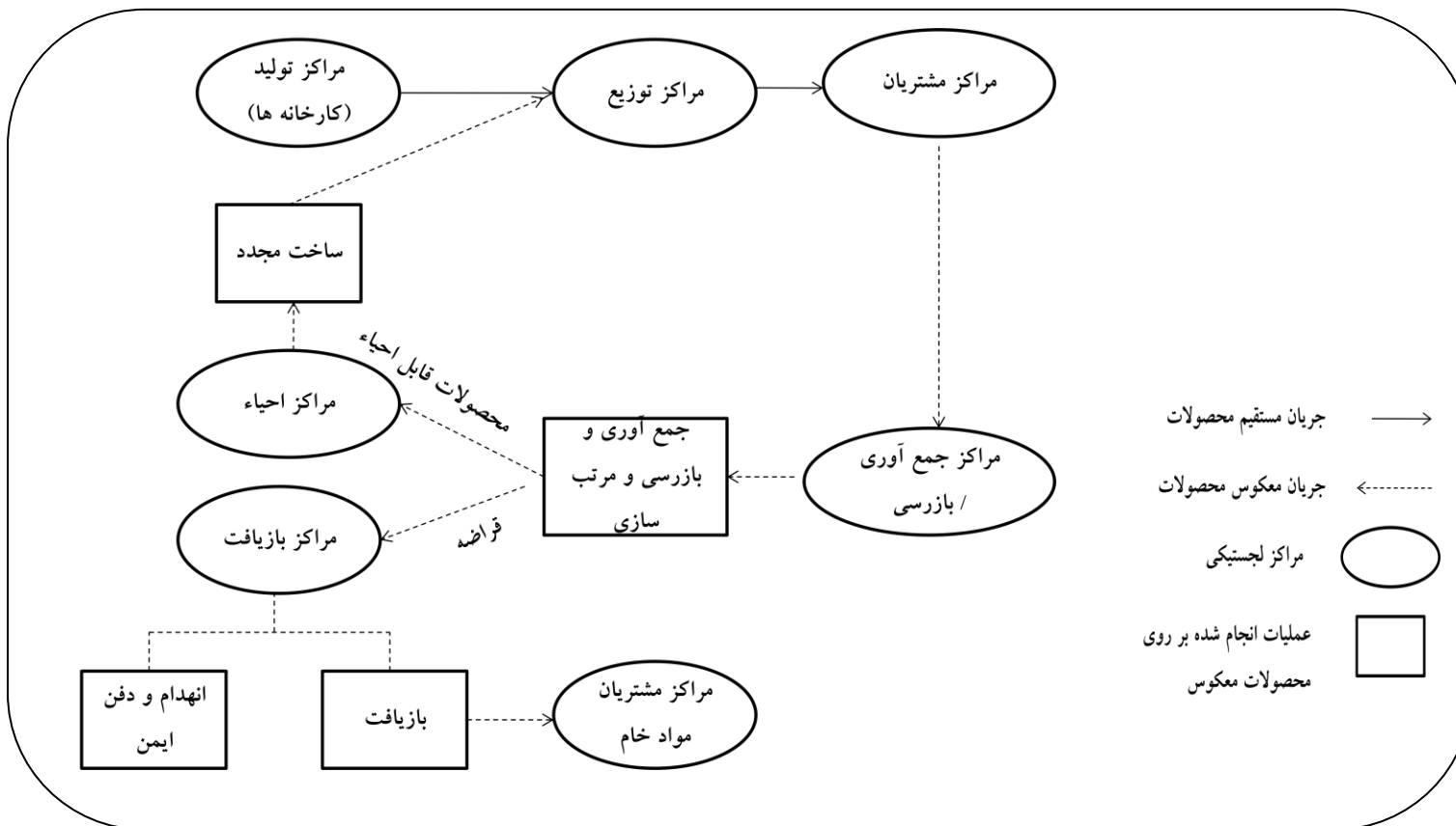
در این فصل در ابتدا فرضیات، خروجی ها و توابع اهداف مربوط به مسئله طراحی زنجیره تامین حلقه بسته مورد نظر تشریح و پس از معرفی پارامترها و متغیرهای مسئله، مدل برنامه ریزی ریاضی غیر خطی ارائه می گردد. همچنین با اعمال تغییراتی، مدل ارائه شده به یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی تبدیل می شود.

۴-۱- تشریح مسئله مورد بررسی

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته در فصل دوم، در تعداد اندکی از مقالات در سال های اخیر به طراحی شبکه لجستیکی مستقیم و معکوس با در نظر گرفتن پارامترهای غیر قطعی پرداخته شده است، در اکثر موارد مدل های طراحی شده مدلی مبتنی بر مورد بوده و قابل تعمیم به حالات دیگر نیستند. شبکه مورد بررسی در این تحقیق یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس است. به منظور بالا بردن قابلیت تعمیم مدل ارائه شده به انواع صنایع کلیه پارامترهای تاثیر گذار بر طراحی شبکه لجستیکی بصورت پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است.

۴-۱-۱- تشریح فرآیند کار زنجیره تامین مورد بررسی

موجودیت های شبکه مورد بررسی در جریان مستقیم به ترتیب شامل مراکز تولید (کارخانه ها)، مراکز توزیع و مناطق مشتریان می باشد. کالاها ابتدا در کارخانه ها تولید شده، سپس به مراکز توزیع حمل و در آنجا نگهداری می شوند. در نهایت به منظور تامین نیاز مشتریان، محصولات از مراکز توزیع به محل مشتریان (به عبارتی محل خرده فروشان یا مراکز خوشه ای مشتریان نهایی) ارسال می گردد. در جریان معکوس ابتدا محصولات مصرف شده، در مراکز جمع آوری، گردآوری و بازرسی کیفیت می گردند، به دو گروه محصولات قابل احیاء و محصولات قراضه تقسیم می شوند. محصولات قابل احیا به مراکز احیا منتقل شده و پس از طی مراحل ساخت مجدد وارد جریان مستقیم شده و مجدداً به فروش می رسند. به عبارتی کالاهای احیا شده مجدداً در چرخه مستقیم به جریان در می آیند در نتیجه شبکه مورد بررسی، یک شبکه لجستیک حلقه بسته خواهد بود. مابقی محصولاتی که قابلیت احیا ندارند (قراضه) به مراکز بازیافت منتقل شده و بر حسب کیفیت یا تحت عملیات بازیافت، تبدیل به مواد خام شده و به خریداران مواد خام فروخته شده و یا در غیر این صورت به صورت ایمن دفع می گردند. شبکه شکل ۴-۱، قابلیت حمایت از انواع صنایع مانند تولید تجهیزات الکترونیکی و دیجیتالی (رایانه و دوربین و...) و صنایع تولید وسایل نقلیه و سایر صنایع مشابه را دارد (Lee and Dong, ۲۰۰۸; Krikke et al., ۱۹۹۹).



شکل ۴-۱- جریان مستقیم و معکوس محصولات در زنجیره تامین

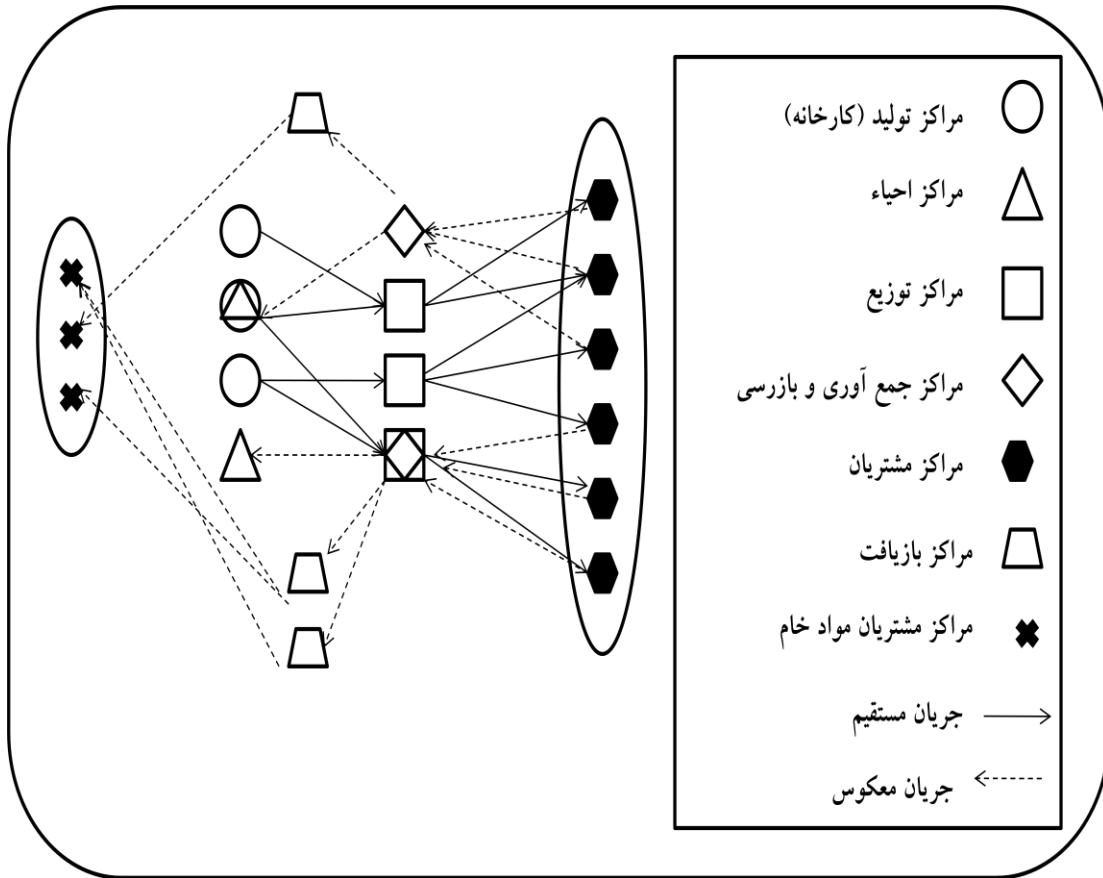
شبکه لجستیک یکپارچه دارای ساختار واگرا_همگرا^۱ است. در جریان مستقیم، از کارخانه به سمت مشتریان با ساختاری واگرا و در جریان معکوس، از مشتریان به سمت مراکز احیاء و بازیافت با ساختاری نیمه همگرا مواجه هستیم. در این تحقیق، جریان مستقیم به صورت کششی و وابسته به تقاضای مشتریان و جریان معکوس به صورت فشاری^۲ و بر مبنای درصدی از تقاضای مشتریان در جریان مستقیم در نظر گرفته شده است. در جریان معکوس، درصد ثابتی از کالاهای ارسال شده به مشتریان، به صورت محصولات بازگشتی وارد کانال ها شده، در ادامه بخشی از این جریان، برحسب کیفیت، به محصولات قابل احیا و بخش دیگر به قراضه تبدیل می گردد. در مدل ریاضی طراحی شده در این تحقیق، درصد محصولات بازگشتی، قابل احیا و قراضه، به صورت پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است.

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته (Lee and Dong, ۲۰۰۸; Ko and Evans,

۲۰۰۷)، هنگام طراحی شبکه لجستیک یکپارچه، امکان انطباق مکانی تسهیلات مربوط به مراکز تولید با مراکز احیا، و مراکز توزیع با مراکز جمع آوری و بازرسی وجود دارد. انطباق مکانی تسهیلات علاوه بر کاهش پیچیدگی مدل، به دلیل ادغام جریان مستقیم و معکوس و استفاده بهتر از تسهیلات، موجب صرفه جویی اقتصادی می شود. در مدل سازی ریاضی ارائه شده در فصل چهارم، همانطور که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است، انتخاب امکان انطباق مکانی تسهیلات فوق و یا احداث در مکان های جداگانه به عنوان یک متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است.

۱. Divergent-Convergent

۲. push



شکل ۴-۲- شبکه لجستیک مستقیم و معکوس مورد بررسی

۴-۱-۲- فرضیات مسئله

- ✓ فضای حل گسسته است.
- ✓ به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده می شود.
- ✓ در جریان معکوس کلیه کالاهای بازگشتی جمع آوری می گردد.
- ✓ مدل چند رده ای که محصولات در آن فقط می توانند بین دو رده متوالی^۱ در جریان باشد.
- ✓ تعدا تسهیلات به عنوان یک متغیر تصمیم مطرح می باشد (درونزا).
- ✓ تمامی تسهیلات جایابی شده و هیچ تسهیلی به طور پیش فرض دارای مکان ثابت یا معلوم نیست.

۱. Consecutive stage

- ✓ در نظر گرفتن زنجیره تامین حلقه بسته (جریان رفتی و برگشتی بصورت همزمان).
- ✓ جریان مستقیم کششی و جریان معکوس فشاری است (به استثناء جریان بین خریداران مواد اولیه خام که کششی است).
- ✓ مکان مشتریان محصولات و مواد خام (بازیافتی از محصولات قراضه) معلوم و ثابت است.
- ✓ مدل چند محصولی است.
- ✓ امکان انطباق مکان مراکز تولید با مراکز احیاء و مکان مراکز توزیع با مراکز جمع آوری و بازرسی، به منظور بهره گیری از صرفه جویی حاصل از این انطباق در شبکه وجود دارد.
- ✓ به منظور انطباق بیشتر مسئله با واقعیت، کلیه پارامترهای زیر (پارامترهای مربوط به تصمیمات لجستیکی و مکان یابی تسهیلات)، به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است.
- هزینه های ثابت راه اندازی کلیه تسهیلات.
- هزینه های ساخت و پردازش (جمع آوری، بازرسی، بازیافت، احیاء و دفن ایمن).
- محصولات در کلیه تسهیلات.
- هزینه جریمه دیرکرد در ارسال محصولات.
- هزینه های حمل و نقل محصولات در رده های مختلف.
- تقاضای محصول مشتریان.
- تقاضای مشتریان قطعات یدکی / مواد خام بازیافتی از محصولات بازگشتی.
- نرخ بازگشت محصول، نرخ قراضه و نرخ قراضه بازیافت شده.
- ماکزیمم ظرفیت تسهیلات مختلف.
- مدت زمان مورد انتظار برای ارسال محصولات.
- زمان ارسال (حمل و نقل) محصولات.
- میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق تسهیلات در یک مکان.

۴-۱-۳- خروجی های مسئله

- ✓ مکان یابی تسهیلات
- ✓ مقدار جریان بهینه بین تسهیلات
- ✓ تعداد تسهیلات

۴-۱-۴- اهداف مسئله

اهداف مسئله چند هدفه مورد بررسی عبارت است از:

- ✓ مینیمم سازی هزینه ها (هزینه های راه اندازی، حمل و نقل، پردازش و تولید، صرفه جویی هم مکانی تسهیلات، جریمه دیر کرد)
- ✓ ماکزیمم سازی سطح رضایت مشتریان.

۴-۲- مدل ریاضی شبکه لجستیک یکپارچه

کلیه اندیس ها، پارامترها و متغیرهای مورد نیاز جهت مدل سازی ریاضی شبکه لجستیک یکپارچه مورد بررسی، به ترتیب در جداول ۴-۱ تا ۴-۳، ارائه شده است.

جدول ۴-۱- مجموعه اندیس های مدل

اندیس	تعریف
p	مکان کارخانه ها $p=1, \dots, P$
d	مکان مراکز عرضه $d=1, \dots, D$
c	مکان ثابت ناحیه مشتریان محصولات $c=1, \dots, C$
i	مکان مراکز جمع آوری و بازرسی $i=1, \dots, I$
e	مکان مراکز احیاء $e=1, \dots, E$
r	مکان مراکز بازیافت $r=1, \dots, R$
rm	مکان ثابت مشتریان مواد خام $rm=1, \dots, RM$
g	مجموعه محصولات $g=1, \dots, G$
PE	اندیس مجموعه نقاط مشترک بین مکان کارخانه (p) و مکان مراکز احیاء (e) $pe \in PE, PE \subset P, PE \subset E$
DI	اندیس مجموعه نقاط مشترک بین مکان توزیع (d) و مکان مراکز جمع آوری و بازرسی (i) $di \in DI, DI \subset D, DI \subset I$
OP	مجموعه اندیس مکان های منتخب جهت تاسیس کارخانه $OP = \{p \mid m_p = 1, \forall p\}$
OD	مجموعه اندیس مکان های منتخب جهت تاسیس مراکز توزیع $OD = \{d \mid x_d = 1, \forall d\}$
OI	مجموعه اندیس مکان های منتخب جهت تاسیس مراکز جمع آوری و بازرسی $OI = \{i \mid y_i = 1, \forall i\}$
OE	مجموعه اندیس مکان های منتخب جهت تاسیس مراکز احیاء $OE = \{e \mid z_e = 1, \forall e\}$
OR	مجموعه اندیس مکان های منتخب جهت تاسیس مراکز بازیافت $OR = \{r \mid w_r = 1, \forall r\}$
C(d)	مجموعه مشتریان ناحیه C ام که می تواند تقاضای خود را از مرکز توزیع d ام در مدت زمان مورد انتظار تامین نمایند $C(d) = \{c \mid td_{dcg} \leq te_{cg}, \forall c, \forall g, d \in OD\}$
C'(d)	مجموعه مشتریان ناحیه C ام که نمی تواند تقاضای خود را از مرکز توزیع d ام در مدت زمان مورد انتظار تامین نمایند $C'(d) = \{c \mid td_{dcg} \geq te_{cg}, \forall c, \forall g, d \in OD\}$

جدول ۴-۲- الف- پارامترهای مدل

پارامتر	تعریف
\tilde{d}_{cg}	تقاضای مشتری ناحیه c ام از محصول g ام
$\tilde{\omega}_{cg}$	درصد نرخ بازگشت محصول g ام از ناحیه مشتری c ام
\tilde{r}_{cg}	حجم محصول بازگشتی g ام از مشتریان ناحیه c ام
$\tilde{r}_{cg} = \tilde{d}_{cg} * \tilde{w}_{cg}$	
\tilde{c}_{rmg}	تقاضای مواد خام محصول g ام توسط مشتری مواد خام rm ام
$\tilde{\eta}_g$	متوسط نرخ قراضه محصول g ام
$\tilde{\epsilon}_g$	متوسط نرخ قراضه های بازیافت شده محصول g ام
\tilde{h}_p	هزینه ثابت راه اندازی کارخانه p ام
\tilde{f}_d	هزینه ثابت راه اندازی مرکز توزیع d ام
\tilde{g}_i	هزینه ثابت راه اندازی مرکز جمع آوری و بازرسی i ام
\tilde{b}_e	هزینه ثابت راه اندازی مرکز احیاء e ام
\tilde{a}_r	هزینه ثابت راه اندازی مرکز بازیافت r ام
\tilde{co}_{pdg}	هزینه حمل و نقل یک واحد جریان مستقیم محصول g ام از کارخانه p ام به مرکز عرضه d ام
\tilde{cu}_{dgc}	هزینه حمل و نقل یک واحد جریان مستقیم محصول g ام از مرکز عرضه d ام به ناحیه مشتریان c ام
\tilde{cq}_{cig}	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازگشتی g ام از ناحیه مشتریان c ام به مراکز جمع آوری و بازرسی i ام
\tilde{cp}_{ieg}	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازگشتی بازیافتی g ام از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مراکز احیاء e ام
\tilde{cs}_{irg}	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازگشتی قراضه g ام از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مراکز بازیافت r ام
\tilde{ch}_{edg}	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول احیاء شده g ام از مرکز احیاء e ام به مراکز توزیع d ام
\tilde{cv}_{rmg}	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازیافتی g ام از مرکز بازیافت r ام به مراکز مشتریان مواد خام rm ام
$\tilde{\rho}_{pg}$	هزینه ساخت یک واحد محصول g ام در کارخانه p ام
$\tilde{\varphi}_{dg}$	هزینه پردازش یک واحد محصول g ام در مرکز عرضه d ام
$\tilde{\beta}_{ig}$	هزینه پردازش یک واحد محصول g ام در مرکز جمع آوری و بازرسی i ام

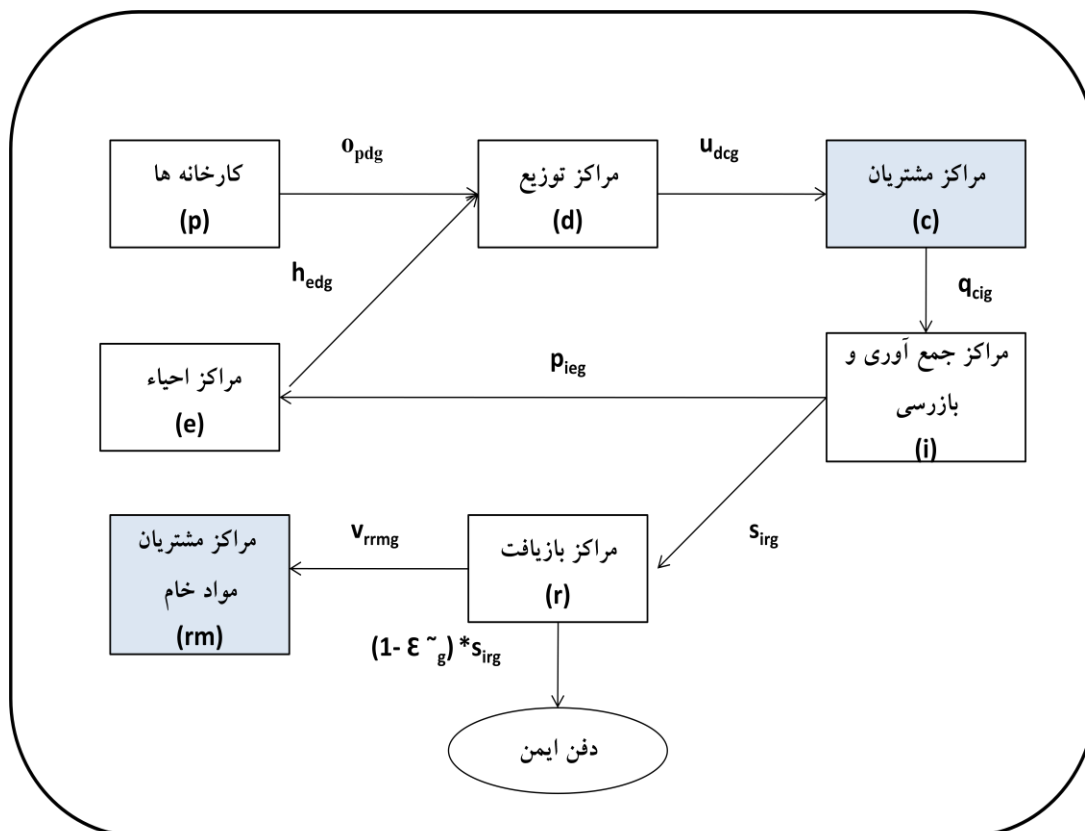
جدول ۴-۲-ب- پارامترهای مدل

پارامتر	تعریف
ζ_{eg}	هزینه ساخت مجدد یک واحد محصول g ام در مرکز احیاء e ام
λ_{rg}	هزینه بازیافت یک واحد محصول g ام در مرکز بازیافت r ام
ψ_{rg}	هزینه دفن ایمن یک واحد از محصول g ام در مرکز بازیافت r ام
σ_g	جریمه ناشی از تاخیر در ارسال محصول g ام در مدت زمان مورد انتظار
pm_{pg}	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در کارخانه p ام
px_{dg}	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مرکز عرضه d ام
py_{ig}	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مراکز جمع آوری و بازرسی i ام
pz_{eg}	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مرکز احیاء e ام
pw_{rg}	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مرکز بازیافت r ام
td_{dcg}	مدت زمان ارسال محصول g ام از مرکز توزیع d ام به ناحیه مشتریان c ام
te_{cg}	مدت زمان مورد انتظار برای ارسال محصول g ام به ناحیه مشتریان c ام
hb_{pe}	میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مکان کارخانه و مرکز احیا در مکان مشترک pe
fg_{di}	میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مرکز توزیع و مرکز جمع آوری و بازرسی در مکان مشترک di
M	یک عدد به اندازی کافی بزرگ

جدول ۴-۳- متغیرهای مدل

متغیر	تعریف
$Opdg$	مقدار محصول g ام که از کارخانه p ام به مرکز عرضه d ام ارسال می گردد
$Udcg$	مقدار محصول g ام که از مرکز عرضه d ام به ناحیه مشتریان c ام ارسال می گردد
$Qcig$	مقدار محصول بازگشتی g ام که از ناحیه مشتری c ام به مرکز جمع آوری و بازرسی i ام ارسال می گردد
$Pieg$	مقدار محصول بازگشتی قابل احیاء g ام که از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مرکز احیاء e ام ارسال می گردد
$Sirg$	مقدار محصول بازگشتی بازیافتی g ام که از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مرکز بازیافت r ام ارسال می گردد
$hedg$	مقدار محصول بازگشتی احیاء شده g ام که از مرکز احیاء e ام به مرکز عرضه d ام ارسال می گردد
$Vrrmg$	مقدار محصول بازگشتی بازیافت شده g ام که از مرکز بازیافت r ام به مشتری مواد خام m ام ارسال می گردد
m_p	$1 =$ در صورتیکه کارخانه در مکان p ام تاسیس گردد $0 =$ در غیر این صورت
x_d	$1 =$ در صورتیکه مرکز توزیع در مکان d ام تاسیس گردد $0 =$ در غیر این صورت
y_i	$1 =$ در صورتیکه مرکز جمع آوری و بازرسی در مکان i ام تاسیس گردد $0 =$ در غیر این صورت
z_e	$1 =$ در صورتیکه مرکز احیاء در مکان e ام تاسیس گردد $0 =$ در غیر این صورت
w_r	$1 =$ در صورتیکه مرکز بازیافت در مکان r ام تاسیس گردد $0 =$ در غیر این صورت
ET_{dcg}	$1 =$ در صورت ارسال محصولات g ام در زمانی بیشتر از زمان مورد انتظار $0 =$ در غیر این صورت
B_{pe}	متغیر خطی ساز تابع هدف صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مکانی کارخانه و مرکز احیاء $B_{pe} = m_{pe} * z_{pe}$
A_{di}	متغیر خطی ساز تابع هدف صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مکانی توزیع و جمع آوری و بازرسی $A_{di} = x_{di} * y_{di}$

با استفاده از نمادهای فوق، ساختار شبکه لجستیک یکپارچه، متشکل از یک شبکه ترکیبی حلقه بسته (برای محصولات برگشتی قابل احیاء) و حلقه باز (برای محصولات برگشتی قراضه)، مطابق شکل ۳-۴ قابل ترسیم است.



شکل ۳-۴- ساختار شبکه لجستیک بر اساس نماد های تعریف شده

بر اساس متغیرها و پارامترهای تعریف شده، مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته رای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه با دو هدف مینیمم سازی هزینه ها و ماکزیمم سازی سطح سرویس دهی به مشتریان ارائه می گردد.

$$\begin{aligned}
\min z_{\gamma} = & \sum_p h_{\tilde{p}} \cdot m_p + \sum_d f_{\tilde{d}} \cdot x_d + \sum_i g_{\tilde{i}} \cdot y_i + \sum_e b_{\tilde{e}} \cdot z_e \\
& + \sum_r a_{\tilde{r}} \cdot w_r + \sum_g \sum_p \sum_d (c_{\tilde{p}dg} + \rho_{\tilde{p}g}) \cdot o_{pdg} \\
& + \sum_g \sum_d \sum_c (c_{\tilde{d}cg} + \varphi_{\tilde{d}g}) \cdot u_{dcg} \\
& + \sum_g \sum_c \sum_i c_{\tilde{c}ig} \cdot q_{cig} \\
& + \sum_g \sum_i \sum_e (c_{\tilde{i}eg} + \beta_{\tilde{i}g}) \cdot p_{ieg} \\
& + \sum_g \sum_i \sum_r (c_{\tilde{i}rg} + \beta_{\tilde{i}g}) \cdot s_{irg} \tag{1-\xi} \\
& + \sum_g \sum_i \sum_r s_{irg} \cdot (\gamma - \xi_g) \cdot \psi_{\tilde{r}g} \\
& + \sum_g \sum_e \sum_d (c_{\tilde{e}dg} + \zeta_{eg}) \cdot h_{edg} \\
& + \sum_g \sum_r \sum_{rm} (c_{\tilde{r}rmg} + \lambda_{\tilde{r}g}) \cdot v_{rrmg} \\
& - \sum_{pe} h_{\tilde{p}e} \cdot m_{pe} \cdot z_{pe} - \sum_{di} f_{\tilde{g}di} \cdot x_{di} \cdot y_{di} \\
& + \sum_g \sum_{d \in OD} \sum_{c'(d)} \sigma_{\tilde{g}} \cdot u_{dcg}
\end{aligned}$$

$$\min z_{\gamma} = \sum_g \sum_c \sum_d (t_{\tilde{d}cg} - t_{\tilde{e}cg}) \cdot u_{dcg} \tag{2-\xi}$$

s.t.

$$\sum_d u_{dcg} \geq \tilde{d}_{cg} \quad \forall c, g \quad (3-\varepsilon)$$

$$\sum_r v_{rrmg} \geq \tilde{c}_{rmg} \quad \forall rm, g \quad (4-\varepsilon)$$

$$\sum_i q_{cig} \geq \tilde{r}_{cg} \quad \forall c, g \quad (5-\varepsilon)$$

$$\sum_p o_{pdg} + \sum_e h_{edg} = \sum_c u_{dcg} \quad \forall d, g \quad (6-\varepsilon)$$

$$\sum_r s_{irg} \cong \eta_g \cdot \sum_c q_{cig} \quad \forall i, g \quad (7-\varepsilon)$$

$$\sum_c q_{cig} - \sum_r s_{irg} = \sum_e p_{ieg} \quad \forall i, g \quad (8-\varepsilon)$$

$$\sum_d h_{edg} = \sum_i p_{ieg} \quad \forall e, g \quad (9-\varepsilon)$$

$$\sum_{rm} v_{rrmg} \cong \tilde{\varepsilon}_g \cdot \sum_i s_{irg} \quad \forall r, g \quad (10-\varepsilon)$$

$$\sum_d o_{pdg} \cong m_p \cdot p \tilde{m}_{pg} \quad \forall p, g \quad (11-\varepsilon)$$

$$\sum_p o_{pdg} + \sum_e h_{edg} \cong x_d \cdot p \tilde{x}_{dg} \quad \forall d, g \quad (12-\varepsilon)$$

$$\sum_c q_{cig} \cong y_i \cdot p \tilde{y}_{ig} \quad \forall i, g \quad (13-\varepsilon)$$

$$\sum_i p_{ieg} \cong z_e \cdot p \tilde{z}_{eg} \quad \forall e, g \quad (14-\varepsilon)$$

$$\sum_r s_{irg} \cong w_r \cdot p \tilde{w}_{rg} \quad \forall r, g \quad (15-\varepsilon)$$

$$M. ET_{dcg} \geq (td_{dcg} - te_{cg}) \quad \forall d, c, g \quad (16-4)$$

$$m_p, x_d, y_i, z_e, w_r, ET_{dcg} \in \{0, 1\} \quad (17-4)$$

$$\forall p \in P, \forall d \in D, \forall i \in I, \forall e \in E, \forall r \in R, \forall c \in C, \forall g \in G$$

$$o_{pdg}, u_{dcg}, q_{cig}, p_{ieg}, s_{irg}, h_{edg}, v_{rrmg} \geq 0 \quad (18-4)$$

$$\forall p \in P, \forall d \in D, \forall g \in G, \forall c \in C, \forall i \in I, \forall e \in E, \forall r \in R, \forall rm \in RM$$

در ادامه کلیه عبارات توابع هدف و محدودیت ها مدل ریاضی در جداول 4-4 و 4-5 به

تفصیل تشریح می گردد.

جدول ۴-۴-الف- تشریح عبارات توابع هدف مدل ریاضی

توابع هدف			
۱	هزینه های ثابت راه اندازی	هزینه راه اندازی کارخانه در مکان p ام	$\sum_P h_{p} \cdot m_p$
۲		هزینه راه اندازی مرکز توزیع در مکان d ام	$\sum_d f_{d} \cdot x_d$
۳		هزینه راه اندازی مرکز جمع آوری و بازرسی محصولات در مکان i ام	$\sum_i g_{i} \cdot y_i$
۴		هزینه راه اندازی مرکز احیاء محصولات در مکان e ام	$\sum_e b_{e} \cdot z_e$
۵		هزینه راه اندازی مرکز بازیافت در مکان r ام	$\sum_r a_{r} \cdot w_r$
۶	هزینه های حمل و نقل و پردازش	هزینه ساخت و حمل و نقل محصول g ام از محل کارخانه p ام به مرکز توزیع d ام	$\sum_g \sum_p \sum_d (c\tilde{o}_{pdg} + \rho_{pg}) \cdot o_{pdg}$
۷		هزینه پردازش و حمل و نقل محصول g ام از مرکز توزیع d ام به ناحیه مشتری c ام	$\sum_g \sum_d \sum_c (c\tilde{u}_{dgc} + \varphi_{dgc}) \cdot u_{dgc}$
۸		هزینه حمل و نقل محصول بازگشتی g ام از ناحیه مشتری c ام به مرکز جمع آوری و بازرسی i ام	$\sum_g \sum_c \sum_i c\tilde{q}_{cig} \cdot q_{cig}$
۹		هزینه بازرسی و حمل و نقل محصول قابل احیاء g ام از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مرکز احیاء e ام	$\sum_g \sum_i \sum_e (c\tilde{p}_{ieg} + \beta_{ieg}) \cdot p_{ieg}$
۱۰		هزینه بازرسی و حمل و نقل محصول بازیافت g ام از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مرکز بازیافت r ام	$\sum_g \sum_i \sum_r (c\tilde{s}_{irg} + \beta_{irg}) \cdot s_{irg}$

جدول ۴-۴-ب- تشریح عبارات توابع هدف مدل ریاضی

توابع هدف					
۱۱	Z۱=مینیمم سازی مجموع هزینه ها	هزینه های حمل و نقل و پردازش	هزینه دفن ایمن قراضه های غیر قابل استفاده از محصول g ام و در مرکز بازیافت r ام	$\sum_g \sum_i \sum_r S_{irg} \cdot (1 - \varepsilon_g) \cdot \psi_{rg}$	
۱۲			هزینه پردازش مجدد و حمل و نقل محصول بازیافتی g ام از مرکز احیا e ام به مرکز توزیع d ام	$\sum_g \sum_e \sum_d (ch_{edg} + \zeta_{eg}) \cdot h_{edg}$	
۱۳			هزینه بازیافت و حمل و نقل مواد خام محصول g ام از مرکز بازیافت r ام به مرکز مشتریان مواد خام rm ام	$\sum_g \sum_r \sum_{rm} (cv_{rrmg} + \lambda_{rg}) \cdot v_{rrmg}$	
۱۴		صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مکانی تسهیلات	صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق کارخانه و مرکز احیاء در مکان pe ام	غیر خطی	$- \sum_{pe} hb_{pe} \cdot m_{pe} \cdot Z_{pe}$
۱۵			صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مرکز توزیع و مرکز جمع آوری و بازرسی در مکان di ام	غیر خطی	$- \sum_{di} fg_{di} \cdot X_{di} \cdot Y_{di}$
۱۶			جریمه ناشی از تاخیر در ارسال محصول g ام از مرکز توزیع d ام به ناحیه مشتری c ام		$\sum_g \sum_{c'(d)} \sum_{d \in OD} \sigma_g \cdot u_{dcg}$
۱۷		Z۲= مینیمم سازی حجم تاخیرات	ماکزیمم سازی سطح سرویس دهی به مشتریان از طریق مینیمم سازی حجم تاخیرات کل		$\sum_g \sum_c \sum_d (td_{dcg} - te_{cg}) \cdot u_{dcg}$

شماره محدودیت	محدودیت
۳-۴	کلیه تقاضای مشتریان نواحی مختلف بطور کامل برآورده شود
۴-۴	کلیه تقاضای مشتریان مواد خام بطور کامل برآورده شود
۵-۴	کلیه کالای بازگشتی تولید شده توسط مراکز جمع آوری و بازرسی، جمع گردد
۶-۴	موازنه جریان مراکز توزیع
۷-۴ و ۸	موازنه جریان مراکز جمع آوری و بازرسی
۹-۴	موازنه جریان مراکز احیاء
۱۰-۴	موازنه جریان مراکز بازیافت
۱۱-۴	محدودیت ظرفیت کارخانه
۱۲-۴	محدودیت ظرفیت مراکز توزیع
۱۳-۴	محدودیت ظرفیت مراکز جمع آوری و بازرسی
۱۴-۴	محدودیت ظرفیت مراکز احیاء
۱۵-۴	محدودیت ظرفیت مراکز بازیافت
۱۶-۴	محدودیت مربوط به فعال شدن متغیر جریمه دیرکرد
۱۷-۴	محدودیت مربوط به متغیر صفر و یک
۱۸-۴	محدودیت مربوط به منفی نبودن متغیر های مدل

۴-۳- خطی سازی مدل ریاضی

با توجه به مدل ریاضی ارائه شده، عبارات غیر خطی $(\sum_{pe} hb_{pe} \cdot m_{pe} \cdot z_{pe})$ و $(\sum_{di} f_{di} g_{di} \cdot x_{di} \cdot y_{di})$ ، که میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مکان کارخانه با مرکز احیاء، و مرکز توزیع با مرکز جمع آوری و بازرسی را در یک مکان مشترک محاسبه می کند، منجر به غیر خطی شدن تابع هدف مینیمم سازی هزینه ها می گردد. در این عبارت دو متغیر صفر و یک در یکدیگر ضرب شده است. برای خطی سازی عبارت فوق، یک متغیر صفر و یک جدید به جای ضرب دو متغیر صفر و یک پیشین به شرح زیر تعریف می شود.

$$B_{pe} = m_{pe} * z_{pe} \quad (19-4)$$

$$A_{di} = x_{di} * y_{di} \quad (20-4)$$

در نتیجه توابع هدف غیر خطی مدل ریاضی به صورت زیر خطی می گردد.

$$\begin{aligned} \min z_1 = & \sum_p \tilde{h}_p \cdot m_p + \sum_d \tilde{f}_d \cdot x_d + \sum_i \tilde{g}_i \cdot y_i + \sum_e \tilde{b}_e \cdot z_e \\ & + \sum_r \tilde{a}_r \cdot w_r + \sum_g \sum_p \sum_d (c\tilde{o}_{pdg} + \tilde{\rho}_{pg}) \cdot o_{pdg} \\ & + \sum_g \sum_d \sum_c (c\tilde{u}_{dcg} + \tilde{\varphi}_{dg}) \cdot u_{dcg} \\ & + \sum_g \sum_c \sum_i c\tilde{q}_{cig} \cdot q_{cig} \\ & + \sum_g \sum_i \sum_e (c\tilde{p}_{ieg} + \tilde{\beta}_{ig}) \cdot p_{ieg} \\ & + \sum_g \sum_i \sum_r (c\tilde{s}_{irg} + \tilde{\beta}_{ig}) \cdot s_{irg} \end{aligned} \quad (21-4)$$

$$\begin{aligned} & + \sum_g \sum_i \sum_r s_{irg} \cdot (1 - \tilde{\epsilon}_g) \cdot \tilde{\psi}_{rg} \\ & + \sum_g \sum_e \sum_d (c\tilde{h}_{edg} + \tilde{\zeta}_{eg}) \cdot h_{edg} \\ & + \sum_g \sum_r \sum_{rm} (c\tilde{v}_{rrmg} + \tilde{\lambda}_{rg}) \cdot v_{rrmg} \\ & - \sum_{pe} h\tilde{b}_{pe} \cdot B_{pe} - \sum_{di} f\tilde{g}_{di} \cdot A_{di} \\ & + \sum_g \sum_{d \in OD} \sum_{c(d)} \tilde{\sigma}_g \cdot u_{dcg} \\ \min z_2 = & \sum_g \sum_c \sum_d (t\tilde{d}_{dcg} - t\tilde{e}_{cg}) \cdot u_{dcg} \end{aligned} \quad (22-4)$$

از آنجا که هدف حداقل سازی تابع Z_1 است و عبارت خطی سازی شده نیز با علام منفی در تابع هدف وجود دارد، مدل به طور طبیعی تمایل به یک ساختن متغیر B_{pe} و A_{di} دارد. لذا جهت صحیح بودن جایگزینی متغیرهای غیر خطی سازی جدید، به جای حاصل ضرب دو متغیر پیشین تنها کافی است با اضافه کردن قیودی به مدل از یک شدن متغیرهای خطی سازی جدید در سه حالتی که یکی از متغیرهای پیشین $(Z_{pe}, m_{pe}, x_{di}, y_{di})$ و یا هر دو صفر هستند، جلوگیری شود. به این منظور عبارات زیر به عنوان محدودیت های جدید به مدل اضافه می شود.

$$\forall B_{pe} \leq m_{pe} + z_{pe} \quad \forall pe \in PE \quad (23-4)$$

$$\forall A_{di} \leq x_{di} + y_{di} \quad \forall di \in DI \quad (24-4)$$

فصل پنجم

روش حل

در این فصل ابتدا با استفاده از مبانی نظری مطرح شده در فصل دوم، مدل ریاضی فازی فصل چهارم، به مدل برنامه ریزی فازی ای قطعی تبدیل و در ادامه روش حل قطعی و غیر قطعی مدل ریاضی فازی ای به تفصیل تشریح می گردد. با توجه به نوع عدم قطعیت ذاتی پارامترهای مسئله و قابلیت اعداد فازی در بیان الگوهای غیر قطعی، در این فصل اعداد فازی مثلثی جهت نمایش پارامترهای غیر قطعی بکار گرفته شده و همچنین به منظور تبدیل مدل فازی به مدل قطعی به گونه ای که اطلاعات اصلی حفظ گردد، از رویکرد (Carlsson and Fuller (۲۰۰۱)، روش برش لاند، که امکان ترکیب کردن کلیه سطوح پارامترهای فازی را با استفاده از میانگین امکانی فراهم می آورد، استفاده شده است. در نهایت دو معیار اندیس عدم دقت مجذور میانگین (MSII) و وضعیت تصمیم گیرنده (سطوح خوش بینانه و بدبینانه) جهت تحلیل فاصله اطمینان و امکان مقایسه (سبک سنگین کردن) ریسک و مقدار مورد انتظار تابع هدف، ارائه می گردد.

۵-۱- روش حل قطعی مدل ریاضی

پس از غیر فازی سازی، با نمایش پارامترهای غیر قطعی مسئله به وسیله بازه های قطعی مورد انتظار^۱ عدد فازی متناظر، مدل ریاضی فازی ارائه شده در فصل چهارم، به مدل برنامه ریزی بازه ای^۲ تبدیل می گردد. تعیین گزینه منحصر به فرد نهایی از بازه های منتج شده، نیازمند یک فرآیند تصمیم گیری است. (۲۰۰۱) sengupta et al. برای این منظور تابع پذیرشی بر اساس ترجیحات تصمیم گیرنده ارائه کرده است. sengupta et al. نشان داد که روش ارائه شده نتایج با کیفیتی را تولید خواهد نمود. و بر اساس مفاهیم Moore (۱۹۷۹)، امکان استخراج روابط معادل قطعی رضایت بخشی^۳ از روابط نامساوی بازه ای^۴، وجود دارد.

در این بخش از میانگین امکان و اندیس عدم دقت مجذور میانگین، برای تبدیل مدل ریاضی فازی پیشنهاد شده به مدل قطعی (کلاسیک) استفاده شده است، همچنین به دلیل عدم قطعیت، ریسک تجاوز از محدودیت منابع تخمین زده شده وجود دارد، در نتیجه به منظور اینکه تصمیم گیرنده (DM) امکان سبک سنگین کردن بین صرفه جویی اقتصادی^۵ مورد انتظار و بهره برداری از منابع را داشته باشد، تحلیل ریسک^۶ نیز در این مدل صورت می پذیرد.

به منظور حل این مسئله می بایست ساختار ارزش بازه ای^۷ به ساختار برنامه ریزی خطی استاندارد تبدیل گردد. قبل از حل مدل برنامه ریزی بازه ای برخی اصول مربوط به رتبه بندی^۸ بازه ها تشریح می گردد.

-
۱. expected crisp interval
 ۲. interval programming model
 ۳. satisfactory crisp equivalent
 ۴. interval inequality
 ۵. cost saving
 ۶. risk analysis
 ۷. interval-valued structure
 ۸. ranking

۵-۱-۱- عملگرهای ریاضی در بازه ها

در صورتیکه A یک بازه با حدود پایین و بالای a_L و a_U در نظر گرفته شود، نقطه میانی^۱ و نصف پهنا^۲ (پراکندگی^۳) آن با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$m(A) = \frac{1}{2}(a_L + a_U) \quad \text{و} \quad w(A) = \frac{1}{2}(a_U - a_L) \quad (۱-۵)$$

در نتیجه عدد بازه ای A را می توان به دو صورت زیر نمایش داد:

$$A = [a_L, a_U] = \{a: a_L \leq a \leq a_U, a \in \mathbb{R}\} \quad (۲-۵)$$

$$A = \langle m(A), w(A) \rangle \quad (۳-۵)$$

بنابراین عملگرهای اصلی جمع، تفریق، ضرب، تقسیم، معکوس و ضرب اسکالر در بازه بصورت زیر محاسبه می گردد.

$$A = [a_L, a_U] \quad \text{و} \quad B = [b_L, b_U]$$

$$A + B = [a_L, a_U] + [b_L, b_U] = [a_L + b_L, a_U + b_U] \quad (۴-۵)$$

$$A - B = [a_L, a_U] - [b_L, b_U] = [a_L - b_U, a_U - b_L] \quad (۵-۵)$$

$$m(A + B) = m(A) + m(B) \quad (۶-۵)$$

$$m(A - B) = m(A) - m(B) \quad (۷-۵)$$

$$w(A + B) = w(A - B) = w(A) + w(B) \quad (۸-۵)$$

۱. mid-point

۲. half width

۳. spread

$$A \cdot B = [a_L, a_U] \cdot [b_L, b_U] \quad (9-5)$$

$$= [a_L \cdot b_L \wedge a_L \cdot b_U \wedge a_U \cdot b_L \wedge a_U \cdot b_U, a_L \cdot b_L \vee a_L \cdot b_U \vee a_U \cdot b_L \vee a_U \cdot b_U]$$

$$A : B = [a_L, a_U] : [b_L, b_U] = \left[\frac{a_L}{b_L} \wedge \frac{a_L}{b_U} \wedge \frac{a_U}{b_L} \wedge \frac{a_U}{b_U}, \frac{a_L}{b_L} \vee \frac{a_L}{b_U} \vee \frac{a_U}{b_L} \vee \frac{a_U}{b_U} \right] \quad (10-5)$$

$$A^{-\lambda} = [a_L, a_U]^{-\lambda} = \left[\frac{\lambda}{a_L} \wedge \frac{\lambda}{a_U}, \frac{\lambda}{a_L} \vee \frac{\lambda}{a_U} \right] \quad (11-5)$$

$$\lambda A = [\lambda a_L \wedge \lambda a_U, \lambda a_L \vee \lambda a_U] \quad (12-5)$$

5-1-2-رتبه بندی بازه ها

Sengupta و همکاران در سال ۲۰۰۱، اندیس ساده و کارآمدی را جهت مقایسه دو عدد بازه ای در مجموعه اعداد حقیقی بر اساس سطح رضایت تصمیم گیرنده ارائه کردند. تابع رتبه بندی^۱ دو بازه A و B برابر است با:

$$\Phi: I \times I \rightarrow (-\infty, \infty) \quad I \text{ مجموعه تمامی بازه های بسته} \quad (13-5)$$

$$\Phi(A < B) = \Phi_{<}(A, B) = \frac{(m(B) - m(A))}{(w(B) + w(A))} \quad w(B) + w(A) \neq 0 \quad (14-5)$$

تابع $\Phi(A < B)$ برابر با درجه پذیرش^۲ "تقدم"^۳ بازه A نسبت به بازه B " در نظر گرفته شود. درجه پذیرش $A < B$ با توجه به وضعیت میانگین و پهنا بازه های مورد بررسی، برابر مقادیر زیر می باشد:

۱. ranking function
 ۲. acceptability degree
 ۳. inferior

$$\Phi(A < B) = \begin{cases} \leq -1 & \text{اگر } m(A) > m(B) \text{ و } a_L \geq b_U \\ < 0, > -1 & \text{اگر } m(A) > m(B) \text{ و } a_L < b_U \\ = 0 & \text{اگر } m(A) = m(B) \\ > 0, < 1 & \text{اگر } m(A) < m(B) \text{ و } a_U > b_L \\ \geq 1 & \text{اگر } m(A) < m(B) \text{ و } a_U \leq b_L \end{cases} \quad (15-5)$$

بر اساس اندیس Φ ، اگر $\Phi(A < B) = 0$ ، فرض "تقدم بازه A بر بازه B" رد می شود. در صورتیکه $0 < \Phi(A < B) < 1$ باشد، تصمیم گیرنده فرض $(A < B)$ را با درجات رضایت مختلف بین صفر تا یک می پذیرد و اگر $\Phi(A < B) \geq 1$ باشد، تصمیم گیرنده فرض فوق را بطور کامل می پذیرد.

در مواردی تصمیم گیرنده به دلیل گسترده بودن محدوده شدنی بردار متغیر تصمیم^۱، ممکن است در $(Ax < B)$ ، Ax را به صورت زیر مجموعه ای از B در نظر گیرد که در این صورت برخی یا تمامی عناصر Ax بزرگتر یا مساوی با برخی از عناصر B در نظر گرفته می شوند. این تصمیم به سطح خوش بینی تصمیم گیرنده (مقایسه ای بین ریسک و سود حاصل) بستگی دارد. در صورتیکه دو بازه $A = [a_L, a_U]$ و $B = [b_L, b_U]$ و متغیر x مفروض باشند، بر اساس تابع رتبه بندی Φ ، شرایط پذیرش $Ax < B$ بصورت زیر تعریف می شود:

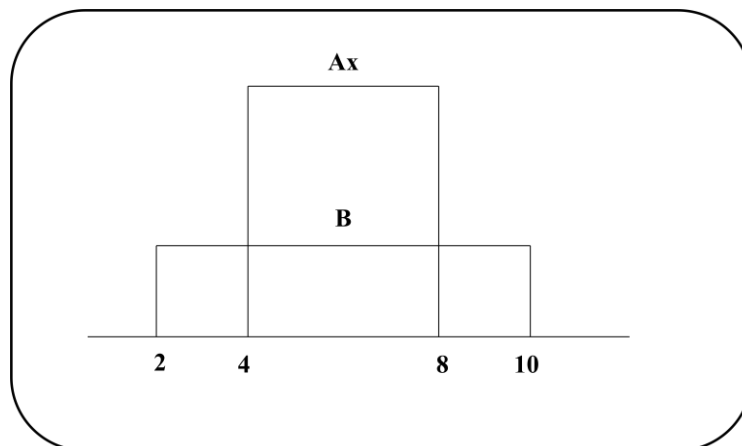
$$\Phi(Ax < B) \geq 0 \quad \text{به عبارتی} \quad m(Ax) \leq m(B) \quad (16-5)$$

در نتیجه دو حالت زیر بوجود خواهد آمد که با مثالی تشریح می گردد.

^۱. decision variable vector

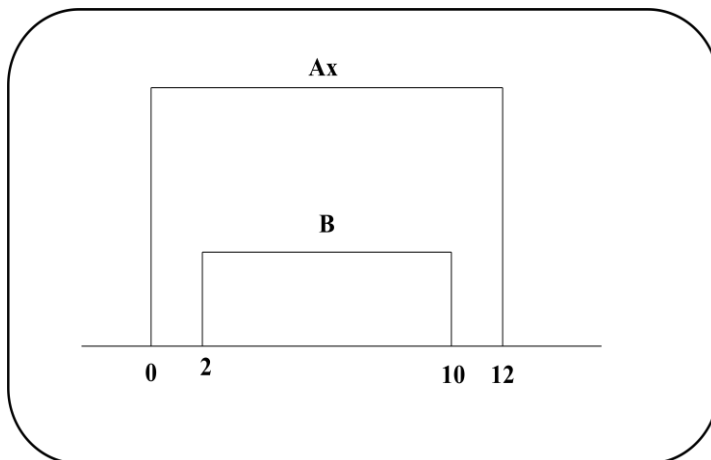
۱- اگر $a_U x < b_U$ و $a_L x > b_L$ باشد، Ax در داخل بازه B قرار دارد $([2, 10]) \leq [2, 4]x$

برای $x=2$).



شکل ۵-۱- وضعیت قرار گیری بازه ها (۱)

۲- اگر $a_U x > b_U$ و $a_L x < b_L$ باشد، B در داخل بازه Ax قرار دارد.



شکل ۵-۲- وضعیت قرار گیری بازه ها (۲)

در حالت اول، به ازای $x \leq 2$ ، $\Phi(Ax < B) \geq 0$ است و محدودیت کاملاً ارضا می گردد،

اما تصمیم گرفته شده (با توجه به موقعیت بهینه محدودیت) کاملاً رضایت بخش نیست. در نتیجه تصمیم

گیرنده به منظور ایجاد رضایت بیشتر تمایل به افزایش مقدار x به میزانی دارد که مقدار $\Phi(B < Ax)$

از حد آستانه تعیین شده عبور نکند. در حالت دوم، تصمیم گیرنده ممکن است به دلیل تجاوز حد راست (بالای) Ax از حد راست (بالای) B ، رضایت کافی نداشته باشد در نتیجه به منظور دستیابی به رضایت مورد انتظار، تصمیم گیرنده ممکن است مقدار x را کاهش دهد تا $a_U x \leq b_U$ گردد.

در نتیجه Sengupta و همکاران (۲۰۰۱)، پارامتر θ را جهت بازتاب تمایلات تصمیم گیرنده ارائه نمودند که در این تحقیق بر اساس مطالعات انجام شده و با استفاده از ویژگی های تابع رتبه بندی، یک ساختار معادل رضایت بخش^۱ برای محدودیت های نامساوی با ضرایب بازه ای ارائه شده است.

$$Ax \leq B \rightarrow Ax < D \quad D = (-\infty, b_U] \quad (17-5)$$

$$Ax \leq B \Rightarrow \begin{cases} a_U x \leq b_U \\ \Phi(B < Ax) \leq \theta_1, \theta_1 \in [-1, 1] \end{cases} \quad (18-5)$$

با محدود ساختن $a_U x < b_U$ تصمیم گیرنده بصورت خوش بینانه به منظور نزدیک کردن کران (حد) پایین Ax به کران بالای B ، مقدار بزرگتری را برای θ_1 در نظر می گیرد برعکس با دیدگاه بدبینانه، تصمیم گیرنده مقدار کمتری را به θ_1 تخصیص می دهد تا کران بالای Ax به کران پایین B نزدیکتر شود.

$$Ax \geq B \rightarrow Ax < D \quad D = [b_L, +\infty,) \quad (19-5)$$

$$Ax \geq B \Rightarrow \begin{cases} a_L x \geq b_L \\ \Phi(Ax < B) \leq \theta_2, \theta_2 \in [-1, 1] \end{cases} \quad (20-5)$$

به طور مشابه با افزایش مقادیر θ_2 کران بالای Ax به کران پایین B تا حدی که $a_L x > b_L$ باشد، نزدیکتر می شود، در نتیجه کران پایین Ax هرگز کمتر از کران پایین B نخواهد شد حتی اگر θ_2

^۱.satisfactory crisp equivalent

برابر با یک در نظر گرفته شود. برعکس هرچه مقدار θ_2 کوچکتر در نظر گرفته شود، کران پایین Ax به کران بالای B نزدیک تر خواهد بود.

به طور کلی در حالت $a_U x < b_U$ کران بالای سمت چپ $(LHS)^1$ نباید از کران بالای سمت راست $(RHS)^2$ تجاوز کند در حالیکه در $a_L x > b_L$ کران پایین RHS نمی تواند از کران پایین LHS تجاوز کند. به همین علت در یک تصمیم کاملاً بدبینانه، تصمیم گیرنده مقدار θ را (-1) و در یک تصمیم خوش بینانه مقدار θ را $(+1)$ در نظر می گیرد.

۳-۱-۵- مدل برنامه ریزی بازه ای مسئله

ساختار کلی برنامه ریزی بازه ای $(GIPM)^3$ مطابق زیر می باشد.

$$\min/\max(z) = [c^L, c^U]^T \cdot x \quad (5 - 21)$$

s.t.

$$[D^L, D^U] \cdot x \geq [F^L, F^U]$$

$$[E^L, E^U] \cdot x \leq [G^L, G^U]$$

$$x \geq 0$$

در صورتی که مدل برنامه ریزی مورد نظر دارای m محدودیت " \leq " و $M-m$ محدودیت " \geq " باشد مدل برنامه ریزی بازه بر اساس مقادیر تابع رتبه بندی $(\theta_1$ و $\theta_2)$ به مدل برنامه ریزی ریاضی خطی زیر تبدیل می گردد.

۱. Left Hand Side

۲. Right Hand Side

۳. General Interval Programming Model

$$\min/\text{Max}(z) = \frac{1}{\gamma} \sum_{j=1}^n (c_j^L + c_j^U) \cdot x_j \quad (\text{Mid}) \quad (22 - 5)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}^U \cdot x_j \leq b_i^U \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij}^L + a_{ij}^U) \cdot x_j - (b_i^L + b_i^U) \leq \theta_\gamma (b_i^U - b_i^L) + \theta_\gamma \sum_{j=1}^n (a_{ij}^U - a_{ij}^L) \cdot x_j$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}^L \cdot x_j \geq b_i^L \quad \text{for } i = m + 1, m + 2, \dots, M$$

$$b_i^L + b_i^U - \sum_{j=1}^n (a_{ij}^L + a_{ij}^U) \cdot x_j \leq \theta_\gamma (b_i^U - b_i^L) + \theta_\gamma \sum_{j=1}^n (a_{ij}^U - a_{ij}^L) \cdot x_j$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j$$

با استفاده از مطالب ارائه شده در این فصل، مدل برنامه ریزی ریاضی فازی فصل چهارم، به

مدل برنامه ریزی ریاضی خطی کلاسیک تبدیل شده است.

$$\begin{aligned}
\min z_\gamma = \frac{1}{\gamma} & \left\{ \sum_p (h_p^L + h_p^U) \cdot m_p + \sum_d (f_d^L + f_d^U) \cdot x_d + \sum_i (g_i^L + g_i^U) \cdot y_i \right. \\
& + \sum_e (b_e^L + b_e^U) \cdot z_e + \sum_r (a_r^L + a_r^U) \cdot w_r \\
& + \sum_g \left(\sum_p \sum_d (co_{pdg}^L + co_{pdg}^U + \rho_{pg}^L + \rho_{pg}^U) \cdot o_{pdg} \right. \\
& + \sum_d \sum_c (cu_{dcg}^L + cu_{dcg}^U + \varphi_{dg}^L + \varphi_{dg}^U) \cdot u_{dcg} \\
& + \sum_c \sum_i (cq_{cig}^L + cq_{cig}^U) \cdot q_{cig} \\
& + \sum_i \sum_e (cp_{ieg}^L + cp_{ieg}^U + \beta_{ig}^L + \beta_{ig}^U) \cdot p_{ieg} \\
& + \sum_i \sum_r (cs_{irg}^L + cs_{irg}^U + \beta_{ig}^L + \beta_{ig}^U) \cdot s_{irg} \\
& + \sum_i \sum_r ((1 - \varepsilon_g) \cdot \psi_{rg})^L + ((1 - \varepsilon_g) \cdot \psi_{rg})^U) \cdot s_{irg} \\
& + \sum_e \sum_d (ch_{edg}^L + ch_{edg}^U + \zeta_{eg}^L + \zeta_{eg}^U) \cdot h_{edg} \\
& + \sum_r \sum_{rm} (cv_{rrmg}^L + cv_{rrmg}^U + \lambda_{rg}^L + \lambda_{rg}^U) \cdot v_{rrmg} \\
& + \sum_{c'(d)} \sum_d (\sigma_g^L + \sigma_g^U) \cdot u_{dcg} \Big) - \sum_{pe} (hb_{pe}^L + hb_{pe}^U) \cdot B_{pe} \\
& \left. - \sum_{di} (fg_{di}^L + fg_{di}^U) \cdot A_{di} \right\} \quad (23 - 5)
\end{aligned}$$

$$\min z_\gamma = \frac{1}{\gamma} \left(\sum_g \sum_c \sum_d ((td_{dcg}^{\tilde{}} - te_{cg}^{\tilde{}})^u + (td_{dcg}^{\tilde{}} - te_{cg}^{\tilde{}})^l) \cdot u_{dcg} \right) \quad (24 - 5)$$

s.t.

$$\sum_d u_{dcg} \geq d_{cg}^L \quad \forall c, g \quad (25-5a)$$

$$(d_{cg}^L + d_{cg}^U) - \gamma \sum_d u_{dcg} \leq \theta_\gamma (d_{cg}^U - d_{cg}^L) \quad \forall c, g \quad (25-5b)$$

$$\sum_r v_{rrmg} \geq c_{rmg}^L \quad \forall rm, g \quad (26-5a)$$

$$(c_{rmg}^L + c_{rmg}^U) - \gamma \sum_r v_{rrmg} \leq \theta_\gamma (c_{rmg}^U - c_{rmg}^L) \quad \forall rm, g \quad (26-5b)$$

$$\sum_i q_{cig} \geq r_{cg}^L \quad \forall c, g \quad (27-5a)$$

$$(r_{cg}^L + r_{cg}^U) - \gamma \sum_i q_{cig} \leq \theta_\gamma (r_{cg}^U - r_{cg}^L) \quad \forall c, g \quad (27-5b)$$

$$\sum_p o_{pdg} + \sum_e h_{edg} = \sum_c u_{dcg} \quad \forall d, g \quad (28-5)$$

$$\eta_g^L \cdot \sum_c q_{cig} - \sum_r s_{irg} \geq \cdot^L \quad \forall i, g \quad (29-5a)$$

$$\begin{aligned} \gamma \sum_r s_{irg} - (\eta_g^L + \eta_g^U) \sum_c q_{cig} - \theta_\gamma (\eta_g^U - \eta_g^L) \sum_c q_{cig} \\ \leq \theta_\gamma (\cdot^U - \cdot^L) - (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall i, g \end{aligned} \quad (29-5b)$$

$$\sum_c q_{cig} - \sum_r s_{irg} = \sum_e p_{ieg} \quad \forall i, g \quad (30-5)$$

$$\sum_d h_{edg} = \sum_i p_{ieg} \quad \forall e, g \quad (31-5)$$

$$\varepsilon_g^L \cdot \sum_i s_{irg} - \sum_{rm} v_{rrmg} \geq \cdot^L \quad \forall r, g \quad (32-5a)$$

$$\gamma \sum_{rm} v_{rrmg} - (\varepsilon_g^L + \varepsilon_g^U) \sum_i s_{irg} - \theta_\gamma (\varepsilon_g^U - \varepsilon_g^L) \sum_i s_{irg} \quad (32-0b)$$

$$\leq \theta_\gamma (\cdot^U - \cdot^L) - (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall r, g$$

$$\sum_d o_{pdg} - m_p \cdot pm_{pg}^U \leq \cdot^U \quad \forall p, g \quad (33-0a)$$

$$\gamma \sum_d o_{pdg} - (pm_{pg}^L + pm_{pg}^U) \cdot m_p + \theta_\gamma \cdot m_p \cdot (pm_{pg}^U - pm_{pg}^L) \quad (33-0b)$$

$$\leq \theta_\gamma (\cdot^U - \cdot^L) + (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall p, g$$

$$\sum_p o_{pdg} + \sum_e h_{edg} - x_d \cdot px_{dg}^U \leq \cdot^U \quad \forall d, g \quad (34-0a)$$

$$\gamma \sum_p o_{pdg} + \gamma \sum_e h_{edg} - (px_{dg}^L + px_{dg}^U) \cdot x_d + \theta_\gamma \cdot x_d \cdot (px_{dg}^U - px_{dg}^L)$$

$$\leq \theta_\gamma (\cdot^U - \cdot^L) + (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall d, g \quad (34-0b)$$

$$\sum_c q_{cig} - y_i \cdot py_{ig}^U \leq \cdot^U \quad \forall i, g \quad (35-0a)$$

$$\gamma \sum_c q_{cig} - (py_{ig}^L + py_{ig}^U) \cdot y_i + \theta_\gamma \cdot y_i \cdot (py_{ig}^U - py_{ig}^L) \quad (35-0b)$$

$$\leq \theta_\gamma (\cdot^U - \cdot^L) + (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall i, g$$

$$\sum_i p_{ieg} - z_e \cdot pz_{eg}^U \leq \cdot^U \quad \forall e, g \quad (36-0a)$$

$$\gamma \sum_i p_{ieg} - (pz_{eg}^L + pz_{eg}^U) \cdot z_e + \theta_\gamma \cdot z_e \cdot (pz_{eg}^U - pz_{eg}^L) \quad (36-0b)$$

$$\leq \theta_\gamma (\cdot^U - \cdot^L) + (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall e, g$$

$$\sum_i s_{irg} - w_r \cdot pw_{rg}^U \leq \cdot^U \quad \forall r, g \quad (37-0a)$$

$$\gamma \sum_i s_{irg} - (pw_{rg}^L + pw_{rg}^U) \cdot w_r + \theta_r \cdot w_r \cdot (pw_{rg}^U - pw_{rg}^L) \quad (37-5b)$$

$$\leq \theta_r (\cdot^U - \cdot^L) + (\cdot^L + \cdot^U) \quad \forall r, g$$

$$M. ET_{dcg} \geq (td_{dcg} - te_{cg})^L \quad \forall d, c, g \quad (38-5a)$$

$$((td_{dcg} - te_{cg})^L + (td_{dcg} - te_{cg})^U) - \gamma M. ET_{dcg} \quad (38-5b)$$

$$\leq \theta_r \cdot ((td_{dcg} - te_{cg})^U - (td_{dcg} - te_{cg})^L) \quad \forall d, c, g$$

$$\gamma B_{pe} \leq m_{pe} + z_{pe} \quad \forall pe \in PE \quad (39-5)$$

$$\gamma A_{di} \leq x_{di} + y_{di} \quad \forall di \in DI \quad (40-5)$$

$$m_p, x_d, y_i, z_e, w_r, A_{di}, B_{pe}, ET_{dcg} \in \{0, 1\} \quad (41-5)$$

$$\forall p \in P, \forall d \in D, \forall i \in I, \forall e \in E, \forall r \in R, \forall di \in DI, \forall pe \in PE, \forall c \in C, \forall g \in G$$

$$O_{pdg}, u_{dcg}, q_{cig}, p_{ieg}, s_{irg}, h_{edg}, v_{rrmg} \geq 0 \quad (42-5)$$

$$\forall p \in P, \forall d \in D, \forall g \in G, \forall c \in C, \forall i \in I, \forall e \in E, \forall r \in R, \forall rm \in RM$$

5-1-4- حل مدل چند هدفه قطعی ریاضی

مقیاس سنجش اهداف (5-23) و (5-24) در مسئله مورد بررسی، با یکدیگر متفاوت است، در نتیجه امکان بهینه سازی تابع هدف کلی مطلوبیت¹ برای تصمیم گیری از طریق جمع کردن توابع اهداف وجود ندارد. در مدل چند هدفه فازی ارائه شد، دو هدف (هزینه ها و سطح رضایت) فازی وجود دارد که می بایست در مواجهه با تعدادی محدودیت فازی بطور همزمان بهینه شود. برای این منظور بر اساس مباحث تشریح شده در فصل دوم- بخش دوم، در قدم اول مقدار بهینه (در این مدل کیمینه) هر یک از اهداف، بطور مجزا از سایر اهداف در مواجهه با محدودیت های مسئله محاسبه می گردد.

¹. global utility function

$$m_i = \min f_i(x) \quad \forall i = 1, 2$$

$$s. t. \quad (43 - 5)$$

$$x \in S$$

در قدم دوم بدترین مقدار (در این مدل بیشینه) هر دو تابع هدف i ام را به طریق زیر بدست

می آید:

$$M_i = \max f_i(x) \quad \forall i = 1, 2$$

$$s. t. \quad (44 - 5)$$

$$x \in S$$

بنابراین همواره مقدار تابع هدف i ام بین دو مقدار کمینه و بیشینه قرار خواهد داشت.

$$m_i \leq f_i(x) \leq M_i \quad \forall i = 1, 2 \quad (45 - 5)$$

در قدم سوم تابع عضویت هر یک از دو هدف با اعمال تغییراتی در فرمول ۲-۲۴ مشخص می

گردد.

$$\mu_i(f_i(x)) = \frac{M_i - f_i(x)}{M_i - m_i} \quad \forall i = 1, 2 \quad (46 - 5)$$

در نهایت جواب بهینه با حل مدل زیر بدست می آید:

$$Max = \omega$$

$$s. t.$$

$$\omega \leq \mu_1(f_1(x)) \quad (47 - 5)$$

$$\omega \leq \mu_2(f_2(x))$$

$$x \in S$$

0-1-0- سطح ریسک^۱ برنامه ریزی بازه ای

با توجه به ماهیت عدم قطعی مسئله، احتمال نقض شدن برخی از محدودیت ها وجود دارد. در صورت عدم ارضای هر یک از محدودیت ها، کلیه تلاش در برنامه ریزی مسئله بی فایده می گردد. در نتیجه تعیین احتمال نقض شدن هر یک از محدودیت ها با توجه به وضعیت بازه ها از اهمیت بالایی برخوردار است. همانطور که ذکر شد، مقدار θ بستگی به نظر تصمیم گیرنده داشته و منجر به تولید جواب های متفاوتی برای مدل ریاضی می شود. در ادامه ریسک نقض شدن محدودیت ها محاسبه می گردد.

در صورتیکه دو بازه A و B مد نظر باشد، بر اساس وضعیت این بازه ها نسبت به یکدیگر، سه وضعیت احتمالی برای هر یک از این بازه ها بوجود می آید.

$$A_1: A > B \quad A_2: A \sim B \quad A_3: A < B \quad (48 - 5)$$

$$B_1: B < A \quad B_2: B \sim A \quad B_3: B > A \quad (49 - 5)$$

از آنجا که وقوع یک رویداد معین در A و B نامشخص است، احتمال مورد نظر را می توان بر اساس اطلاعات نقطه پایانی بر اساس فرمول زیر محاسبه نمود (Wang & Hsu, 2010).

✓ برای بازه A

$$P(A_1: A > B) = \frac{a^u - \min(\text{Max}(a^L, b^U), a^U)}{a^u - a^L} \quad (50 - 5)$$

$$P(A_2: A \sim B) = \frac{\min(a^U, b^U) - \min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U)}{a^u - a^L} \quad (51 - 5)$$

^۱.risk level

$$P(A_{\uparrow} : A < B) = \frac{\min(\text{Max}(a^L, b^L), a^U) - a^L}{a^U - a^L} \quad (52 - 5)$$

✓ برای بازه **B**

$$P(B_{\downarrow} : B < A) = \frac{\min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U) - b^L}{b^U - b^L} \quad (53 - 5)$$

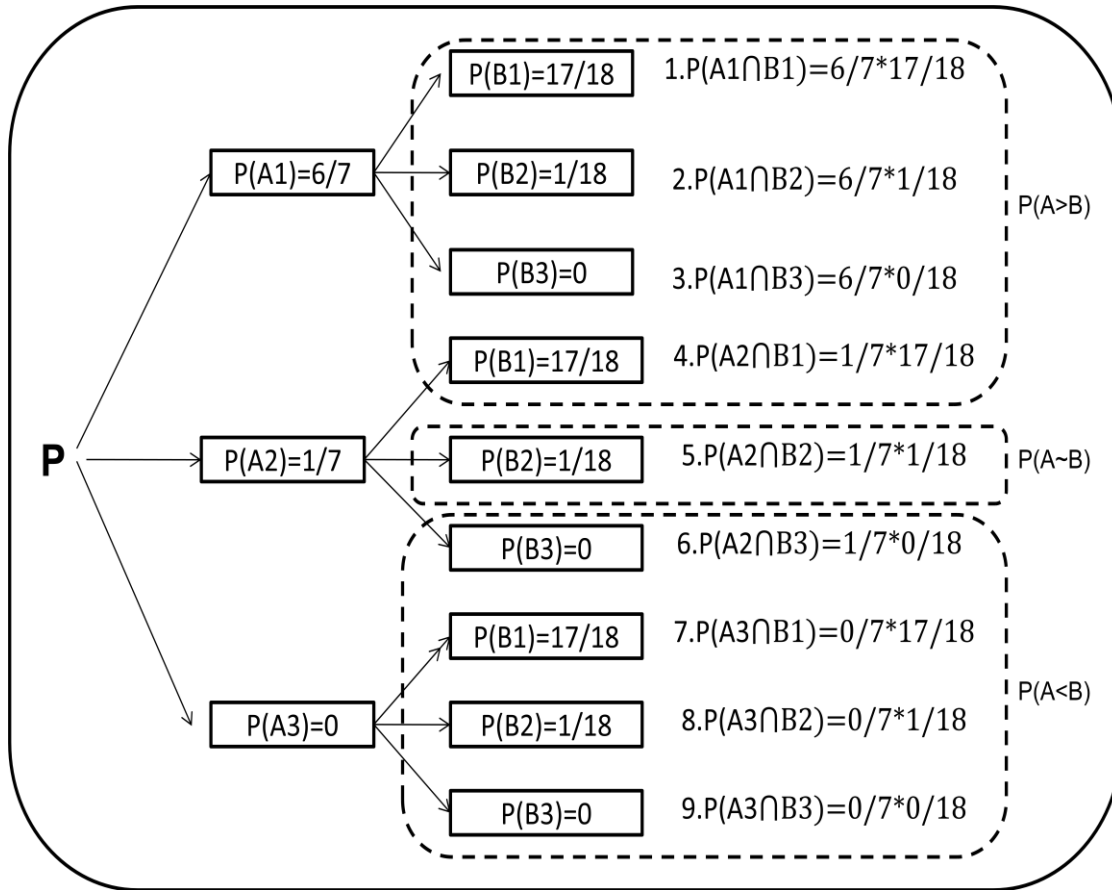
$$P(B_{\uparrow} : B \sim A) = \frac{\min(a^U, b^U) - \min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U)}{b^U - b^L} \quad (54 - 5)$$

$$P(B_{\downarrow} : B > A) = \frac{b^U - \min(\text{Max}(b^L, a^U), b^U)}{b^U - b^L} \quad (55 - 5)$$

بازه **A** دقیقاً بزرگتر از بازه **B** است اگر و تنها اگر کلیه اعضای **B** کوچکتر از **A** باشد، در نتیجه احتمال اینکه بطور همزمان بازه **A** بزرگتر از بازه **B** و بازه **B** بزرگتر از بازه **A** باشد، صفر است.

$$P(A_{\downarrow} \cap B_{\uparrow}) = P(A_{\uparrow} \cap B_{\downarrow}) = 0 \quad (56 - 5)$$

با توجه به مطالب فوق، از آنجا که هریک از بازه های **A** و **B**، سه حالت احتمالی دارند، حین مقایسه دو بازه، نه حالت ($3 \times 3 = 9$) ممکن مختلف بوجود می آید که در شکل ۳-۵ با استفاده از یک مثال ساده نشان داده شده است.



شکل ۵-۳- تحلیل ساختار درختی احتمالی بازه A, B (Wang & Hsu, ۲۰۱۰)

در نتیجه احتمال $(A>B)$ و $(A\sim B)$ و $(A<B)$ به ترتیب بر اساس فرمول های زیر قابل

محاسبه می باشد.

$$P(A > B) = \frac{a^u - \min(\text{Max}(a^L, b^U), a^U)}{a^u - a^L} + \frac{\min(a^U, b^U) - \min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U)}{a^u - a^L} \times \frac{\min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U) - b^L}{b^u - b^L} \quad (57 - 5)$$

$$P(A \sim B) = \frac{\min(a^U, b^U) - \min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U)}{a^u - a^L} \times \frac{\min(a^U, b^U) - \min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U)}{b^u - b^L} \quad (58 - 5)$$

$$P(A < B) = \frac{\min(\text{Max}(a^L, b^L), a^U) - a^L}{a^U - a^L} + \frac{\min(a^U, b^U) - \min(\text{Max}(a^L, b^L), b^U)}{a^U - a^L} \times \frac{b^U - \min(\text{Max}(b^L, a^U), b^U)}{b^U - b^L} \quad (59 - 5)$$

در صورتی که تصمیم گیرنده بخواهد بازه A بزرگتر از بازه B و یا بازه A کوچکتر از بازه B باشد، احتمال ریسک^۱ نقض این محدودیت ها به ترتیب برابر است با:

$$1 - P(A > B) = P(A < B) + P(A \sim B) \quad (60 - 5)$$

$$1 - P(A < B) = P(A > B) + P(A \sim B) \quad (61 - 5)$$

در برنامه ریزی بازه ای، در صورت ارضای کلیه محدودیت ها، مدل برنامه ریزی شده موجه^۲ خواهد بود و عدم ارضای محدودیت منجر به غیر موجه شدن سیستم می گردد. در نتیجه احتمال موجه یا غیر موجه شدن مسئله زیر بر اساس فرمول مربوط به احتمال ریسک (نقض محدودیت ها)، برابر است با:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^n [C_i^L, C_i^U] \cdot x_i \\ & \text{s.t} \\ & \sum_{i=1}^n [a_{ij}^L, a_{ij}^U] \cdot x_i \geq [b_j^L, b_j^U] \quad , \forall j \quad (62 - 5) \\ & x_i \geq 0 \quad , \forall i \end{aligned}$$

$$P\{\cap_j (A_j > B_j)\} = \prod_j \{P(A_j > B_j)\} = \text{احتمال موجه شدن مسئله} \quad (63 - 5)$$

^۱.probability of risk

^۲.feasible

$$P\{U_j (1 - (A_j > B_j))\} \quad (64 - 5)$$

$$= 1 - P\{\cap_j (A_j > B_j)\} = \text{احتمال غیر موجه شدن مسئله}$$

با افزایش مقادیر θ_1 و θ_2 (سطح خوش بینی تصمیم گیرنده)، هزینه ها کاهش و ریسک نقض محدودیت ها افزایش می یابد، در نتیجه تصمیم گیرنده به منظور تعیین مقادیر مناسب برای θ ، نیازمند سبک و سنگین کردن هزینه و ریسک می باشد. بدین منظور از معیار متوسط هزینه ی بهبود یافته^۱ (AIC)، جهت تصمیم گیری در مورد مقدار θ استفاده شده است (Wang & Hsu, ۲۰۱۰).

$$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} = \frac{TC(\theta+\Delta\theta)-TC(\theta)}{Risk(\theta+\Delta\theta)-Risk(\theta)} \quad (65 - 5)$$

TC = هزینه کل که بر اساس تابع هدف محاسبه می گردد.

$Risk$ = بر اساس فرمول مربوط به حداکثر ریسک نقض محدودیت بدست می آید

$$Max \begin{cases} 1 - P(A > B) & \text{برای محدودیت بزرگتر مساوی} \\ 1 - P(A < B) & \text{برای محدودیت کوچکتر مساوی} \end{cases} \quad (5-66)$$

به عبارتی در صورتیکه میزان AIC محاسبه شده به اندازه کافی بزرگ باشد، DM ریسک

نقض محدودیت ها را جهت بهبود تابع هدف می پذیرد و مقدار تتا را افزایش خواهد داد. در ادامه به

منظور تشریح بهتر موارد شده در این فصل مثال ساده ای ارائه می گردد.

۱. Average Improved Cost

✓ مدل برنامه ریزی بازه ای

$$\min [2, 4]x_1 - [1, 2]x_2$$

s.t

$$[1, 3]x_1 \geq [6, 24] \quad (1)$$

$$[1, 2]x_2 \leq [12, 30] \quad (2)$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

✓ مدل برنامه ریزی ریاضی خطی

$$\min 3x_1 - 1/5 x_2$$

s.t

$$x_1 \geq 6 \quad (1.a)$$

$$2\theta_1 x_1 + \varepsilon x_1 \geq 30 - 18\theta_1 \quad (1.b)$$

$$2x_2 \leq 30 \quad (2.a)$$

$$3x_2 - \theta_2 x_2 \leq 18\theta_2 + \varepsilon 2 \quad (2.b)$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

مسئله فوق برای سه سطح خوش بینانه $(\theta = 1)$ ، خنثی $(\theta = 0)$ و بد بینانه $(\theta = -1)$

حل شده و مقادیر x_1 ، x_2 و تابع هدف محاسبه شده است.

(۱) سطح خوش بینانه

در صورت در نظر گرفتن $\theta_1 = \theta_2 = 1$ ، تابع رتبه بندی برابر است با $\Phi(Ax_1 < B) = 1$

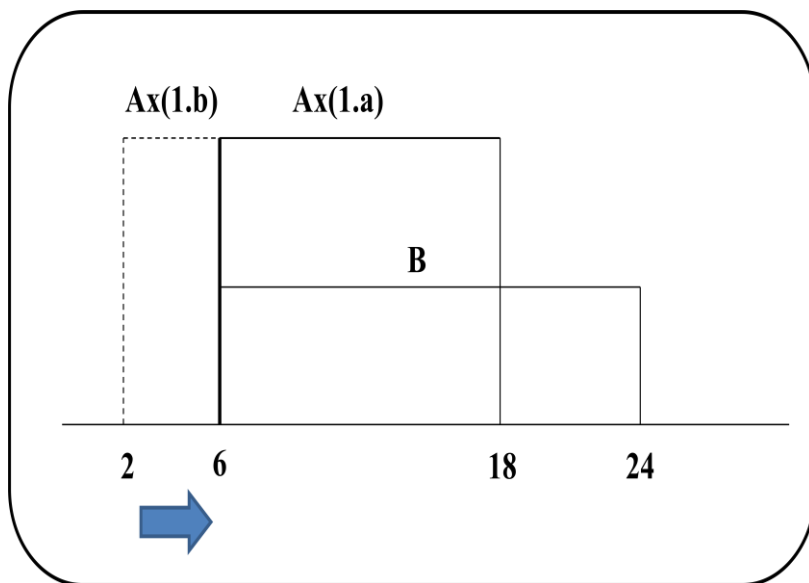
و $\Phi(B < Ax_2) = 1$. در شکل ۵-۴ و ۵-۵، خطوط نقطه چین، حدود بازه Ax را با توجه به مقدار θ

نشان می دهد. با توجه به محدودیت مربوط به (۱.a) و (۲.a) فضای موجه Ax با خطوط توپر معین

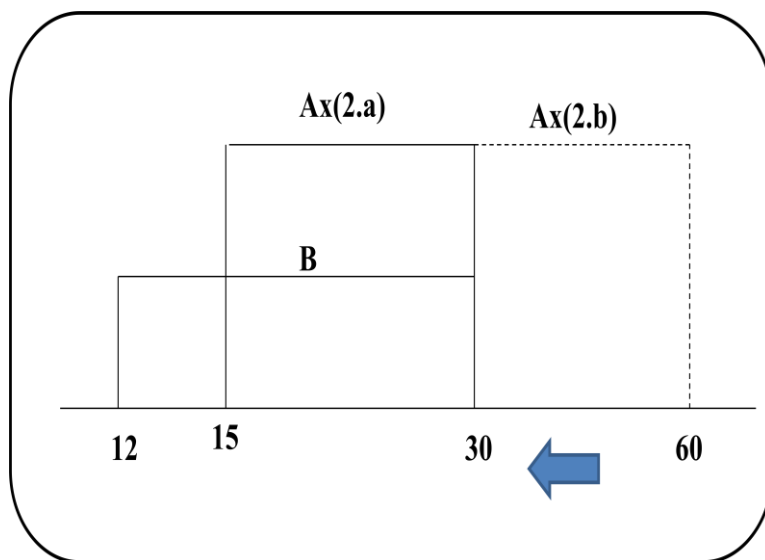
شده است که در آن به ترتیب حد پایین بازه Ax همواره برابر با حد پایین بازه B و حد بالای بازه Ax

همواره برابر با حد بالای بازه B است. در نتیجه با توجه به وضعیت بازه Ax در تصمیم خوش بینانه، امکان عدم ارضای محدودیت منابع برابر با یک می باشد.

$$\text{Max} \{1 - P(Ax_1 > B) = 1, 1 - P(Ax_2 < B) = 1\} = 1 \quad (67 - 5)$$



شکل ۵-۴- وضعیت محدودیت بزرگتر مساوی با $\theta=1$

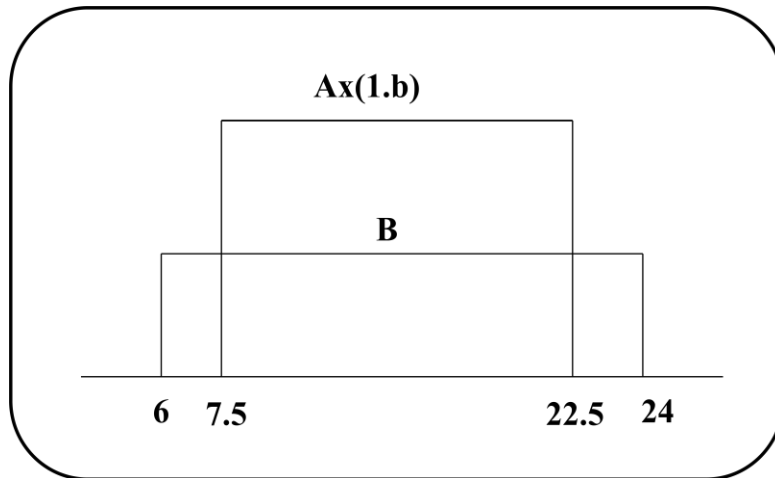


شکل ۵-۵- وضعیت محدودیت کوچکتر مساوی با $\theta=1$

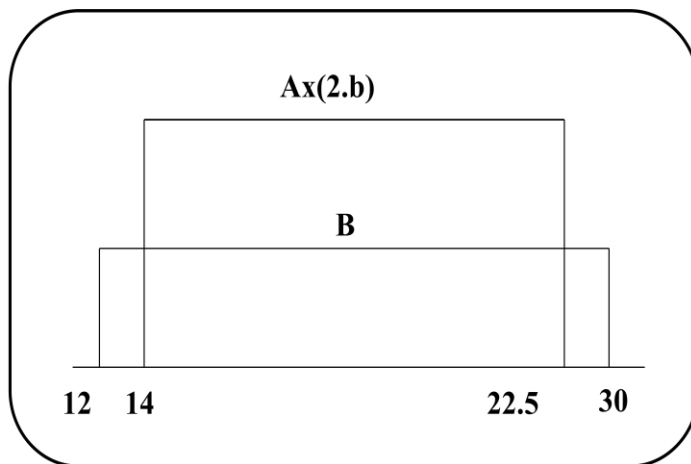
(۲) سطح ختنی

با در نظر گرفتن $\theta_1 = \theta_2 = 0$ ، تابع رتبه بندی برابر است با $\Phi(Ax_1 < B) = 0$ و $\Phi(B < Ax_2) = 0$. در این وضعیت میانگین بازه های Ax و b در هر دو دسته محدودیت بر یکدیگر منطبق می باشد (شکل ۵-۶ و ۵-۷). با توجه به فرمول محاسبه ریسک نقض محدودیت ها در این حالت، امکان عدم ارضای مسئله برابر با $\frac{16}{18}$ (ماکزیمم ریسک نقض محدودیت) می باشد.

$$\text{Max} \left\{ 1 - P(Ax_1 > B) = 1 - \frac{1}{18} = \frac{17}{18}, 1 - P(Ax_2 < B) = 1 - \frac{2}{18} = \frac{16}{18} \right\} = \frac{16}{18} \quad (5-6)$$



شکل ۵-۶- وضعیت محدودیت بزرگتر مساوی با $\theta = 0$

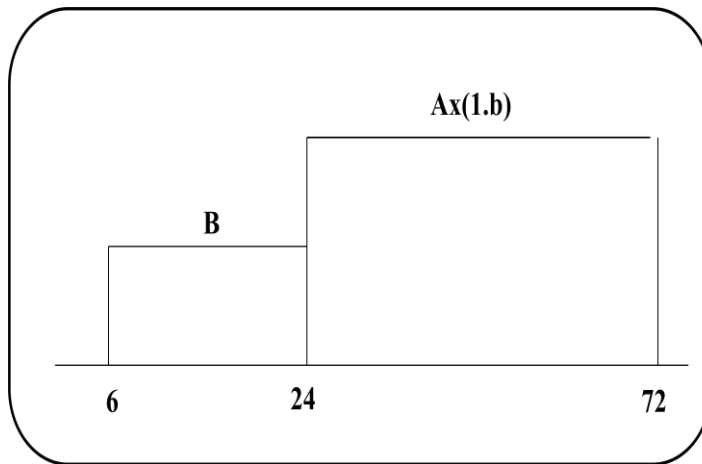


شکل ۵-۷- وضعیت محدودیت کوچکتر مساوی با $\theta = 0$

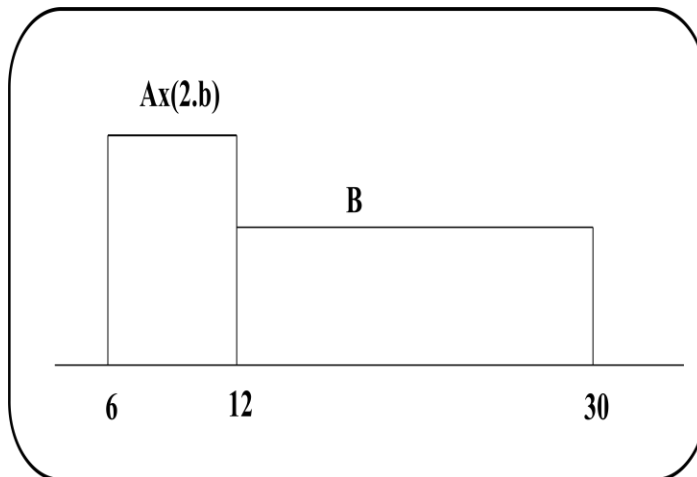
سطح بد بینانه

با توجه به شکل های ۸-۵ و ۹-۵، با در نظر گرفتن $\theta_1 = -1$ مقدار تابع رتبه بندی برابر با $\Phi(Ax_1 < B) = -1$ و با $\theta_2 = -1$ مقدار تابع برابر با $\Phi(B < Ax_2) = -1$ می گردد. در این صورت در محدودیت بزرگتر مساوی (۱)، بازه Ax همواره بزرگتر از بازه B و در محدودیت کوچکتر مساوی (۲)، بازه Ax همواره کوچکتر از بازه B خواهد شد، بنابراین در تصمیم گیری بدبینانه ریسک نقض محدودیت ها، صفر می باشد.

$$\text{Max} \{1 - P(Ax_1 > B) = 1 - 1 = 0, 1 - P(Ax_2 < B) = 1 - 1 = 0\} = 0 \quad (69 - 5)$$



شکل ۸-۵- وضعیت محدودیت بزرگتر مساوی با $\theta = -1$



شکل ۹-۵- وضعیت محدودیت کوچکتر مساوی با $\theta = -1$

جدول ۵-۱- بررسی مقادیر مختلف تابع ریسک بر اساس سطوح مختلف تصمیم

سطوح تصمیم	خروجی مدل	تابع هدف	ریسک نقض محدودیت ها	AIC
خوش بینانه	$x_1=6$ $x_2=15$	$Z=-4/5$	۱۰۰٪	۰/۷۲۰۲۸۸
خنثی	$x_1=7/5$ $x_2=14$	$Z=1/5$	۹۱/۶۷٪	۰/۶۷۰۷۸۸۵
بد بینانه	$x_1=24$ $x_2=6$	$Z=63$	۰٪	مینا

با توجه به اطلاعات جدول ۵-۱، با افزایش مقادیر θ_1 و θ_2 ، ریسک عدم ارضای محدودیت ها افزایش و هزینه ها (تابع هدف) کاهش می یابد. به دلیل بزرگ بودن تغییرات $\Delta\theta$ امکان تجزیه و تحلیل وجود ندارد. در فصل ششم بر اساس نتایج بدست آمده از حل مدل ریاضی ارائه شده، این موضوع بررسی شده است.

۵-۲- روش حل غیر دقیق

با توجه به ماهیت مدل و مرور ادبیات صورت گرفته به منظور حل مدل ریاضی چند هدفه با محدودیت، الگوریتم ژنتیک میکرو با وزن تصادفی محدود شده^۱ (CRW μ GA) با در گرفتن تابع جریمه طراحی شده است، که در ادامه مراحل پیاده سازی این الگوریتم تشریح می گردد.

۵-۲-۱- نمایش کروموزوم ها براساس روش کدینگ اولویت محور

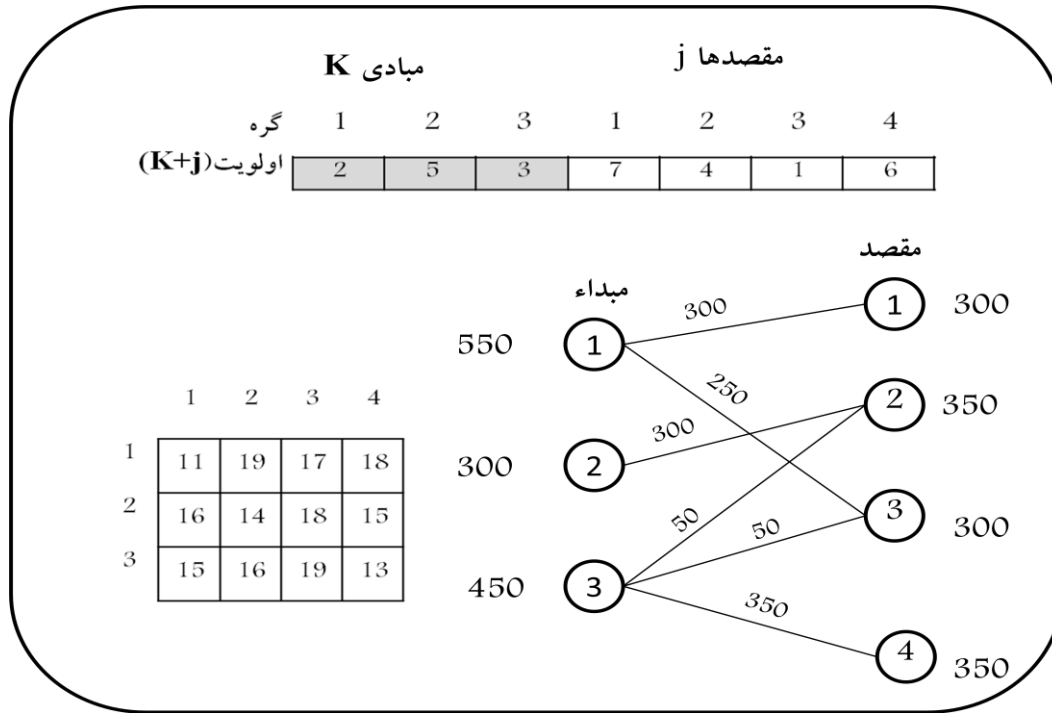
روش های مختلفی برای کدینگ جواب در مسائل طراحی شبکه ارائه شده است و از جمله می توان به روش کدینگ ماتریسی که توسط (Michalewicz et al (۱۹۹۱) ارائه شده اشاره نمود. اگر $|K|$ را تعداد مبادی و $|J|$ را تعداد مقصدها تعریف کنیم در این روش جواب به صورت یک ماتریس $|K|.|J|$ نمایش داده می شود. هر چند که نمایش جواب در این حالت بسیار ساده است اما انجام عملیات روی جواب ها نیازمند تعریف اپراتورهای خاص است و حافظه زیادی نیز اشغال می شود.

روش دیگر ارائه شده روش زیر گراف^۲ است. این روش که توسط Gen and Cheng (۲۰۰۰) ارائه شده است. در این رویکرد از یک روش خاص بر مبنای عدد پروف^۳ استفاده می شود و جواب به صورت یک بردار با اندازه $2-|K|+|J|$ نمایش داده می شود. اما این روش ممکن است به جواب غیر موجه برسد که برای جلوگیری از این امر الگوریتم های مکمل می بایست ارائه شود. اما برای فرار از این الگوریتم های مکمل (Gen and Cheng (۲۰۰۰) روش کدینگی بر مبنای اولویت ارائه دادند.

۱. Constrained Random Weighted Micro Genetic Algorithm (CRW μ GA)

۲. Spanning tree

۳. Prüfer Number



شکل ۵-۱- نمونه یک شبکه با کدینگ اولویت محور (Gen et al., ۲۰۰۶)

در این روش، جواب به صورت یک بردار با اندازه $|K|+|J|$ نمایش داده می شود که در آن محل هر خانه از بردار، نشان دهنده مبدا و مقصد می باشد و مقدار داخل هر خانه اولویت آن را نشان می دهد (شکل ۵-۱). در هر مرحله خانه با بیشترین اولویت انتخاب و بسته به مبدا یا مقصد بودن، مقصد یا مبدا با کمترین هزینه برای ایجاد کمان انتخاب می شود. الگوریتم باز خوانی^۱ در ادامه تشریح شده است.

^۱.decoding

✓ الگوریتم ۱: بازخوانی جواب کد شده براساس روش اولویت محور (Gen et al , ۲۰۰۶)

ورودی ها: K : مجموعه مبادی

J : مجموعه مقصدها

b_j : تقاضا در مقصد J

a_k : ظرفیت مبدا K

c_{kj} : هزینه حمل یک واحد محصول از مبدا k به مقصد j

$V(k+j)$: جواب کد شده (اولویت ها)

خروجی: g_{kj} : جریان بین گره ها

تا وقتی که $v(|K| + j) \neq 0 \quad \forall j \in J$

قدم اول: $g_{kj} = 0 \quad \forall j \in J, k \in K$

قدم دوم: انتخاب یک گره بر اساس

$$l = \arg \max\{v(t), t \in |K| + |J|\} \quad \forall j \in J, \forall k \in K$$

قدم سوم: اگر $l \in K$ ، آنگاه یک مبدا انتخاب شده $k^* = l$

انتخاب مقصد با کمترین هزینه $j^* = \operatorname{argmin}\{c_{kj} | v(j) \neq 0, k \in K\}$

در غیر این صورت یک مقصد انتخاب شده $j^* = l$

انتخاب مبدا با کمترین هزینه $k^* = \operatorname{argmin}\{c_{kj} | v(j) \neq 0, k \in K\}$

قدم چهارم: به روز رسانی تقاضا و ظرفیت $g_{k^*j^*} = \min(a_{k^*}, b_{j^*})$

$$a_{k^*} = a_{k^*} - g_{k^*j^*}, \quad b_{j^*} = b_{j^*} - g_{k^*j^*}$$

اگر قدم پنجم: $a_{k^*} = 0$ آنگاه $v(k^*) = 0$

اگر $a_{k^*} = 0$ آنگاه $v(k^*) = 0$

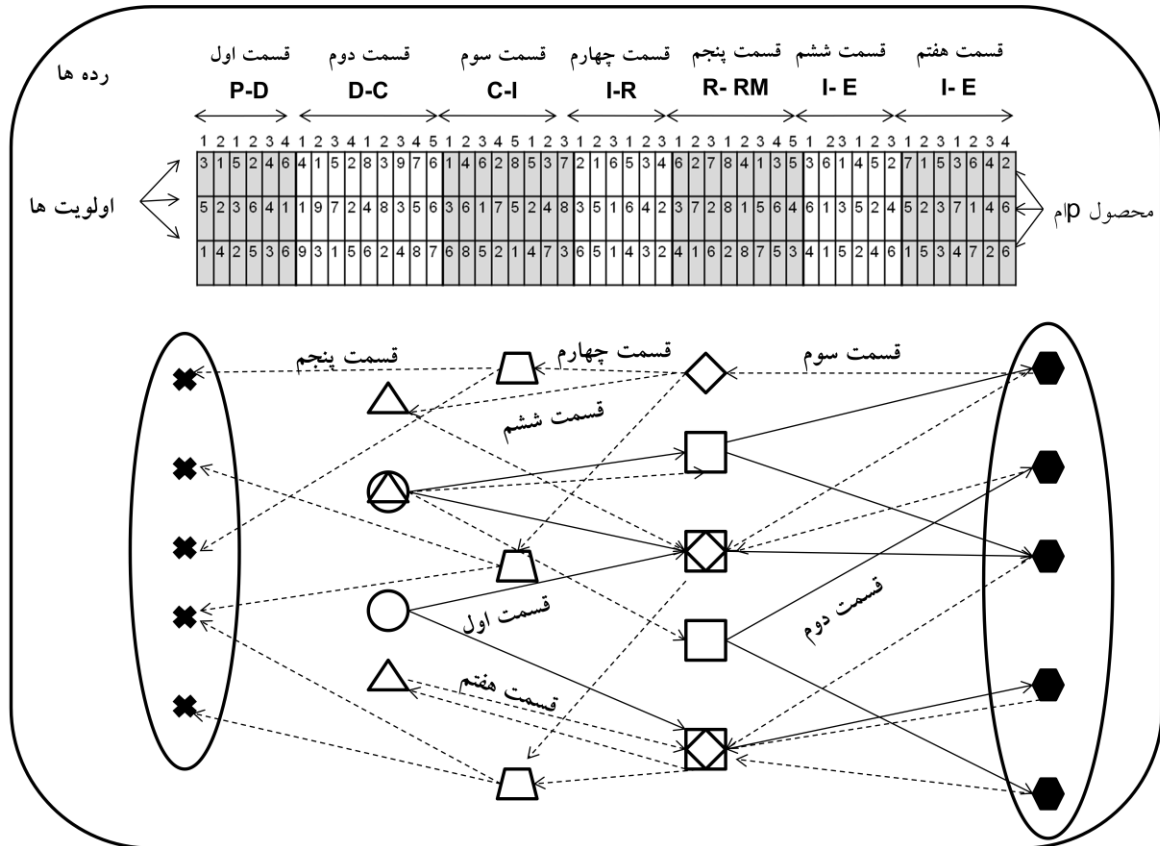
پایان الگوریتم اول.

برای مثال نمایش داده شده در شکل ۵-۱۰، در مرحله اول مقصد ۱ که دارای بیشترین اولویت (۷) است، انتخاب می شود. با توجه به ماتریس هزینه، مبدا ۱ کمترین هزینه را با مقصد ۱ دارد، لذا انتخاب شده و برابر حداقل ظرفیت و تقاضا بین گره (۳۰۰, ۵۵۰) \min بین این دو، جریان برقرار می شود و از ظرفیت و تقاضا برابر جریان کسر می گردد. بعد از به روز رسانی، تقاضا مقصد ۱ به صفر رسیده و اولویت آن هم به صفر تغییر می کند. بقیه روند الگوریتم برای جواب کد شده در شکل ۵-۱۰ در جدول ۵-۲ نمایش داده شده است.

جدول ۵-۲- روند الگوریتم کدینگ اولویت محور برای شکل ۵-۱۰ (Gen et al, ۲۰۰۶)

تکرار	$V(k+j)$	a	b	k	j	g_{kj}
۰	(۲۵۳|۷۴۱۶)	(۵۵۰, ۳۰۰, ۴۵۰)	(۳۰۰, ۳۵۰, ۳۰۰, ۳۵۰)	۱	۱	۳۰۰
۱	(۲۵۳|۰۴۱۶)	(۲۵۰, ۳۰۰, ۴۵۰)	(۰, ۳۵۰, ۳۰۰, ۳۵۰)	۳	۴	۳۵۰
۲	(۲۵۳|۰۴۱۰)	(۲۵۰, ۳۰۰, ۱۰۰)	(۰, ۳۵۰, ۳۰۰, ۰)	۲	۲	۳۰۰
۳	(۲۰۳|۰۴۱۰)	(۲۵۰, ۰, ۱۰۰)	(۰, ۵۰, ۳۰۰, ۰)	۳	۲	۵۰
۴	(۲۰۳|۰۰۱۰)	(۲۵۰, ۰, ۵۰)	(۰, ۰, ۳۰۰, ۰)	۳	۳	۵۰
۵	(۲۰۰|۰۰۱۰)	(۲۵۰, ۰, ۰)	(۰, ۰, ۲۵۰, ۰)	۱	۳	۲۵۰
۶	(۰۰۰|۰۰۰۰)	(۰, ۰, ۰)	(۰, ۰, ۰, ۰)			

با توجه به در نظر گرفتن هفت رده مختلف در مدل ریاضی ارائه شده در فصل چهارم، طرح کدینگ هر جواب شامل هفت قسمت می باشد (شکل ۵-۱۱). قسمت اول به کارخانه های تولید و مراکز توزیع، قسمت دوم به مراکز توزیع و مراکز مشتریان، قسمت سوم به مراکز مشتریان و مراکز جمع آوری/بازرسی/مرتب سازی، قسمت چهارم به جمع آوری/بازرسی/مرتب سازی و مراکز بازیافت، قسمت پنجم به مراکز بازیافت و مراکز مشتریان مواد خام، قسمت ششم به مراکز جمع آوری/بازرسی و مراکز احیا و در نهایت قسمت هفتم به مراکز احیا و مراکز توزیع اختصاص یافته است.



شکل ۵-۱۱- روش کدینگ اولویت محور مسئله

با توجه به ویژگی چند محصولی بودن مسئله مطرح شده، هر جواب به صورت یک ماتریس $G*(P+D+D+C+C+I+I+R+R+RM+I+E+E+D)$ نشان داده می شود. در نتیجه به منظور تولید یک جواب می بایست الگوریتم ۱ را به تعداد محصولات (G) تکرار کنیم.

ترتیب بازخوانی قسمت‌های مختلف جواب باید از منطق مشخصی پیروی کند. به این ترتیب که برای بازخوانی قسمت‌های مربوط به جریان مستقیم ابتدا باید قسمت دوم جواب بازخوانی شود تا بازخوانی قسمت اول میسر گردد. در جریان معکوس نیز قبل از بازخوانی قسمت سوم امکان بازخوانی قسمت چهارم، پنجم، ششم و هفتم میسر نیست.

با بازخوانی کردن هر جواب ما به یک جواب واقعی برای مسئله طراحی شبکه لجستیک یکپارچه می رسیم. نکته مهم این است که رابطه هر ماتریس کد شده با جواب واقعی مسئله یک رابطه

یک به یک نیست، بلکه امکان دارد ماتریس های کد شده مختلف جواب یکسانی را نتیجه دهند. به عبارت دیگر رابطه بین ماتریس های کد شده با جواب واقعی مسئله یک رابطه چند به یک است.

✓ الگوریتم ۲: بازخوانی جواب مسئله طراحی شبکه لجستیک یکپارچه

ورودی ها: $CO_{pdg}, CU_{dgc}, CQ_{cig}, CS_{irg}, CV_{rrmg}, CP_{ieg}, Ch_{edg}, pm_{pg}, pX_{dg}, pY_{ig}, pW_{rg}, pZ_{eg}, d_{cg}, C_{rmg}, r_{cg}$

خروجی ها: $O_{pdg}, u_{dgc}, q_{cig}, S_{irg}, V_{rrmg}, p_{ieg}, h_{edg}, m_p, X_d, Y_i, W_r, Z_e$

قدم اول: بدست آوردن u_{dgc}, X_d با استفاده از الگوریتم ۱

قدم دوم: بدست آوردن q_{cig}, Y_i با استفاده از الگوریتم ۱

قدم سوم: بدست آوردن S_{irg}, W_r با استفاده از الگوریتم ۱

قدم چهارم: بدست آوردن V_{rrmg} با استفاده از الگوریتم ۱

قدم پنجم: بدست آوردن p_{ieg}, Z_e با استفاده از الگوریتم ۱

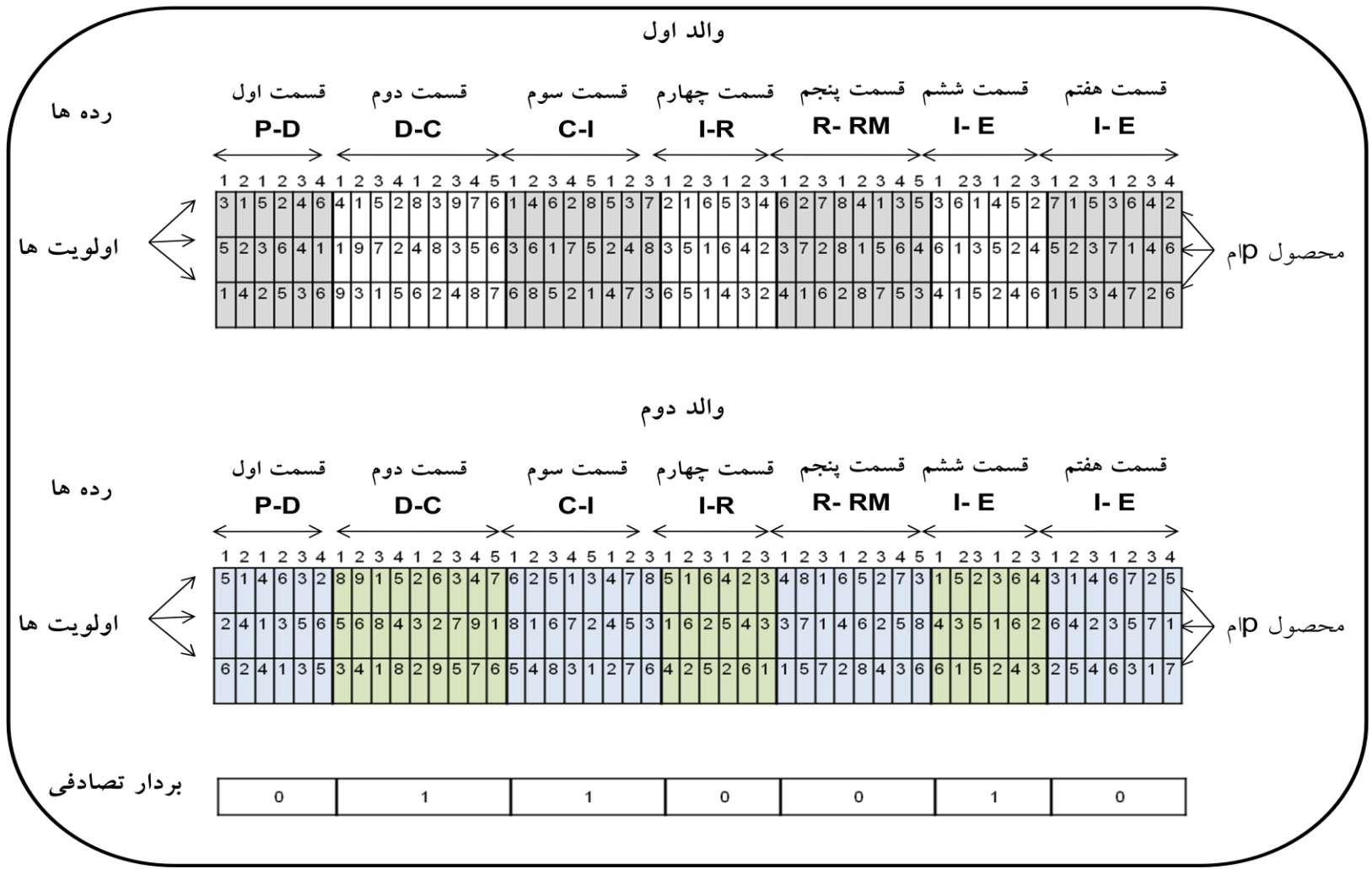
قدم ششم: بدست آوردن h_{edg} با استفاده از الگوریتم ۱

قدم هفتم: بدست آوردن O_{pdg}, m_p با استفاده از الگوریتم ۱

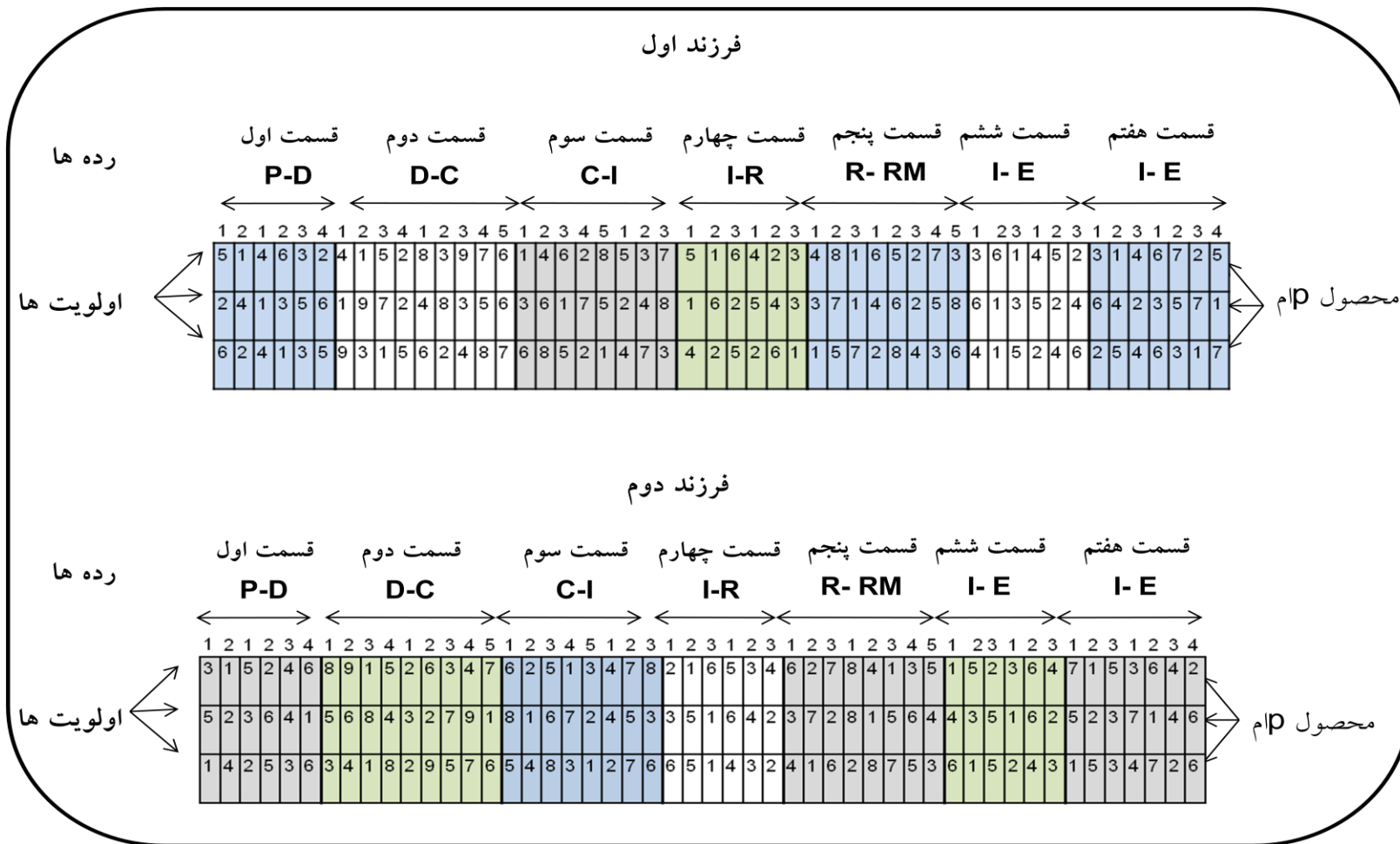
۵-۲-۲- اعمال عملگر تقاطع

برخی از روش های اعمال عملگر تقاطع عبارتند از: یک نقطه تقاطع^۱، چند نقطه تقاطع^۲، یکنواخت^۳، حسابی^۴ و ابتکاری^۵. در این تحقیق از عملگر یکنواخت به منظور تولید فرزندان جدید استفاده شده است. در این عملگر ابتدا یک بردار صفر و یک هفت قسمتی (تعداد رده های مدل) بصورت تصادفی تولید می شود. بدین ترتیب در صورت یک بودن بردار تصادفی رده J_{ام}، ژن های رده J_{ام} کروموزوم والد اول و در غیر این صورت ژن ها از والد دوم به فرزند اول منتقل می شود. در شکل ۵-۱۲-الف و ب نحوه عملکرد این عملگر نمایش داده شده است.

-
۱. single-point crossover
 ۲. multi-point crossover
 ۳. uniform crossover
 ۴. arithmetic crossover
 ۵. heuristic crossover



شکل ۵-۱۲-الف- نحوه عملکرد عملگر تقاطع یکنواخت



شکل ۵-۱۲-ب- نحوه عملکرد عملگر تقاطع یکنواخت

۳-۲-۵- مکانیزم ایجاد تنوع در مجموعه جواب

با توجه به جمعیت کوچک کروموزوم ها، به منظور ایجاد تنوع در مجموعه کروموزوم ها، کلیه جمعیت مجدداً بصورت تصادفی تولید می شود، در نتیجه عملگر جهش در این الگوریتم اعمال نمی گردد.

۴-۲-۵- تعریف تابع برازندگی

بر اساس مرور ادبیات صورت گرفته، معمولاً تابع هدف مسئله به عنوان تابع تعیین برازندگی انتخاب می گردد. در الگوریتم ارائه شده مقدار برازندگی جواب ها به وسیله عبارت زیر محاسبه می گردد که در آن C ضریب جریمه^۱ و $\gamma(x)$ تابع جریمه می باشد.

$$\min F(x) = f(x) + C \cdot \gamma(x) \quad (70 - 5)$$

در این تحقیق با توجه به نوع مسئله (چند هدفه همراه با محدودیت) می بایست مکانیزمی برای تبدیل یک مسئله چند هدفه به یک مسئله تک هدفه و حذف محدودیت ها در $GA\mu CRW$ ارائه نمود. در ادامه این مکانیزم تشریح می شود.

۴-۲-۵- الف- تبدیل مسئله چند هدفه به یک مسئله تک هدفه

رویکرد کلاسیک حل مسئله بهینه سازی چند هدفه، تخصیص وزن w_i به تابع هدف نرمالایز شده $Z_i'(x)$ می باشد که با این عمل مسئله به یک مدل تک هدفه تبدیل می گردد.

۱. weighted sum

$$\min z = w_1 z_1'(x) + w_2 z_2'(x) + \dots + w_k z_k'(x) \quad (۷۱ - ۵)$$

در عبارت فوق $\sum_i w_i = 1$ در نظر گرفته شده است. مشکل اساسی این روش تعیین صحیح وزن توابع می باشد، در نتیجه به منظور حل این مشکل از یک روش مجموع وزنی^۱ توابع هدف چندگانه استفاده شده است که در آن بردار وزن نرمالایز شده بصورت تصادفی طی فاز انتخاب حین اجرای الگوریتم ایجاد می گردد. در این روش جستجو در چندین جهت به طور همزمان بدون اضافه شدن پارامتری به مدل امکان پذیر است (Ishibuchi and Murata, ۱۹۹۶).

۷ الگوریتم ۳: تعیین وزن توابع هدف و تبدیل مدل به یک مدل تک هدفه

قدم اول: تولید تصادفی جمعیت P

قدم دوم: تخصیص میزان برازندگی به هر یک از جواب ها $x \in P_t$ با طی قدم های زیر:

قدم دوم-الف: تولید عدد تصادفی u_k بین صفر و یک برای هر یک از اهداف $k=1, 2$

قدم دوم-ب: محاسبه وزن تصادفی هر یک از اهداف k مطابق عبارت زیر:

$$w_k = \left(\frac{u_k}{\sum_{i=1}^2 u_i} \right) \quad (۷۲ - ۵)$$

قدم دوم-ج: محاسبه میزان برازندگی جواب ها مطابق عبارت زیر:

$$f(x) = \sum_{k=1}^2 w_k * z_k'(x) \quad (۷۳ - ۵)$$

که در آن مقدار $z_k'(x)$ برابر است با مقدار نرمالایز شده تابع هدف مطابق فرمول زیر:

$$z_k'(x) = \frac{f_k - f_k^{\min}}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} \quad k = 1, 2 \quad (۷۴ - ۵)$$

^۱.weighted sum

۵-۲-۴-ب- تبدیل مسئله محدودیت دار به مسئله بدون محدودیت

همانطور که اشاره شد، استفاده از تابع جریمه یکی از رایج ترین تکنیک های تبدیل مسائل محدودیت دار به مسئله بدون محدودیت می باشد. با توجه به فرمول محاسبه تابع برآزندگی $(minF(x) = f(x) + C.V(x))$ دو مسئله مهم در استفاده از این تکنیک تعیین تابع جریمه و ضریب جریمه است.

✓ تعیین تابع جریمه

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته تابع جریمه بر اساس فاصله هر یک از جواب های تولید شده از حدود فضای موجه تعیین می گردد. در صورتی که x یک جواب موجه^۱ باشد، مقدار تابع جریمه صفر در نظر گرفته می شود. ارتباط بین جواب های غیر موجه^۲ و نواحی موجه^۳ از فضای جستجو، نقش معناداری را در جریمه این جواب ها بازی می کند. سه گزینه مختلف برای تعریف رابطه بین جواب غیر موجه و ناحیه موجه از فضای جستجو^۴ وجود دارد (Gan, ۲۰۱۰):

۱. یک جواب تنها به صرف غیر موجه بودن جریمه گردد (بدون استفاده از اطلاعات مربوط به میزان نزدیکی این جواب به ناحیه موجه).
۲. تعیین میزان غیر موجه بودن جواب غیر موجه به دست آمده و استفاده از آن به عنوان تابع جریمه.
۳. هزینه تبدیل جواب غیر موجه بدست آمده به یک جواب موجه.

۱. feasible solution
۲. infeasible solution
۳. feasible region
۴. search space

Coello Coello (۲۰۰۲) مطالعه جامعی را در زمینه انواع تکنیک های جریمه نظیر جریمه

ایستا^۱، پویا^۲، گداختی^۳، انطباقی^۴، تکاملی^۵ و میرا^۶، ارائه داده است. مسئله مهم در استفاده از تکنیک توابع جریمه، تعیین مناسب پارامترها است تا مقدار جریمه نه بسیار بزرگ و نه بسیار کوچک در نظر گرفته شود. در اکثر مواقع به دلیل وجود محدودیت های خطی و غیر خطی در بهینه سازی مسائل دنیا واقعی، تعیین دقیق مقدار جریمه به دلیل عدم وجود اطلاعات در مورد محل دقیق حدود^۷ نواحی موجه و غیر موجه بسیار مشکل می باشد (Gan, ۲۰۱۰).

مقدار تابع جریمه در این الگوریتم با توجه به میزان نقض محدودیت های $g(x)$ بر اساس

فرمول زیر محاسبه می گردد (Jiang, ۲۰۰۸):

$$C(i) = \left(\max \left(0, -(g_i(x) - b(i)) \right) \right)^2 \quad (75 - 5)$$

به عبارتی در صورت نقض محدودیت مقدار خالص نقض محدودیت ضرب در ضریب جریمه به مقدار تابع هدف افزوده می شود. در نتیجه جواب غیر موجه (با توجه به این مقدار تابع هدف جریمه شده)، به یک جواب بد تبدیل می شود که شانس انتخاب شدن آن کاهش می یابد زیرا جواب های جریمه شده مقدار برازندگی کمتری دارد در نتیجه احتمال انتخاب کمتری دارند.

۱. static penalty

۲. dynamic penalty

۳. annealing penalty

۴. adaptive penalty

۵. evolutionary penalty

۶. death penalty

۷. boundary

✓ تعیین ضریب جریمه

در اکثر مواقع تخمین مقدار مناسب ضریب جریمه (G) توسط تصمیم گیرنده امکان پذیر نیست. در صورتی که مقدار ضریب جریمه بسیار بزرگ باشد، جستجو در ناحیه موجه تضمین می گردد اما جستجو در نواحی غیر موجه را محدود می سازد که این امر منجر به از دست دادن برخی اطلاعات ارزشمند که توسط جواب های غیر موجه بدست می آید، می گردد. همچنین مقدار بالا این ضریب برای حل مسائلی که فضای موجه گسسته دارند و یا مسائلی که مقادیر بهینه آن ها در حدود نواحی موجه واقع شده است، کارآمد نمی باشد. علاوه بر این در صورت در نظر گرفتن جریمه پایین، زمان بسیار زیادی صرف جستجوی فضای های غیر موجه جهت یافتن نقطه بهینه می گردد (Gan, ۲۰۱۰).

در این الگوریتم بر اساس مطالعات انجام شده توسط (Gan, ۲۰۱۰) یک روش تصمیم گیری انطباقی^۱ (ADM) با ساختار ساده و تعداد پارامتر اندک، جهت تعیین ضریب جریمه بر اساس نسبت جواب های موجه موجود در جمعیت نسل فعلی ارائه شده است. این روش تعادلی را بین مقدار تابع هدف و میزان نقض محدودیت ها حین جستجو در فضای حل مسئله بوجود آورده و در نهایت جمعیت را به سوی مجموعه جواب های موجه و در نهایت بهینه سوق می دهد.

به طور معمول در ابتدا اجرای الگوریتم $GA\mu CRW$ جواب های موجهی در جمعیت وجود ندارد در نتیجه مقدار ضریب جریمه بسیاری بالایی به منظور هدایت جستجو به سمت ناحیه موجه توسط الگوریتم در نظر گرفته می شود. طی مراحل تکامل تعدادی جواب موجه وارد جمعیت جواب ها می شود که این امر منجر به کاهش ضریب و هدایت الگوریتم به جستجوی جواب بهینه در نواحی موجه می گردد. هر چه مقدار جواب های موجه در جمعیت افزایش یابد مقدار ضریب جریمه کاهش می یابد و زمانی که کل جمعیت را جواب های موجه تشکیل دهد به کمترین مقدار خود می رسد.

۱. Adaptive Decision Maker (ADM)

با توجه به توضیح فوق ضریب جریمه بطور کامل به نسبت جواب های موجه موجود در جمعیت فعلی وابسته است. در صورتیکه نسبت جواب های موجه موجود در جمعیت با Ω نشان داده شود، ضریب جریمه C تابعی از Ω با فرمول زیر خواهد بود:

$$h(\Omega) = 1 \cdot \pi^{(1-\Omega)} \quad (76 - 5)$$

π یک پارامتر مثبت است که باید مقدار مناسب آن تعیین شود. در نهایت مقدار تابع برازندگی بر اساس فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$F(x) = \left(\sum_{k=1}^2 w_k * z_k'(x) \right) + 1 \cdot \pi^{(1-\Omega)} \sum_{i=1}^k C(i) \quad (77 - 5)$$

5-2-5- اعمال مکانیزم انتخاب والد

روش های مختلف انتخاب والدین در الگوریتم ژنتیک عبارتند از چرخ رولت^۱، نمونه گیری تصادفی (ترنمنت)^۲، نرمالیزاسیون، رتبه بندی^۳. در این تحقیق انتخاب والدین جهت تولید نسل جدید بر اساس روش چرخ رولت صورت گرفته است. به این ترتیب والدهایی که مقدار برازندگی مناسب تری دارند احتمال پذیرش بالاتری نیز خواهند داشت. در صورتی که مقدار برازندگی کروموزوم i ام در جمعیت جاری را با f_i ، احتمال تجمعی انتخاب کروموزوم i ام به عنوان والد برابر عبارت زیر می باشد:

$$F(x) = \left(\sum_{k=1}^2 w_k * z_k'(x) \right) + \left(1 \cdot \pi^{(1-\Omega)} * \sum_{i=1}^k C(i) \right) \quad (78 - 5)$$

۱. roulette wheel

۲. tournament

۳. ranking

$$p(x) = \frac{(F^{max} - F(x))}{\sum_{y \in P_t} (F^{max} - F(y))} \quad \text{احتمال انتخاب کروموزوم } i \text{ ام} \quad (79 - 5)$$

$$f^{min} = \min\{f(x) | x \in P_t\} \quad (80 - 5)$$

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_j \quad \text{احتمال تجمعی انتخاب کروموزوم } i \text{ ام} \quad (81 - 5)$$

در ادامه عدد تصادفی q بین صفر و یک تولید می شود در صورتیکه $q_i < q \leq q_{i+1}$ باشد، کروموزوم q_{i+1} به عنوان والد انتخاب می شود.

5-2-6- مکانیزم انتخاب مجموعه جواب برای نسل بعد

در این تحقیق از یک روش نخبه سالاری^۱ جهت انتخاب مجموعه جواب منتقل شده به نسل بعدی استفاده شده است. بدین صورت که پس از تولید فرزندان جدید از والدین موجود در نسل حاضر، جمعیت والدها و فرزندان برای بقا و انتقال به نسل بعد، بر اساس مقدار تابع برازندگی با یکدیگر رقابت می کنند. از آنجا که هدف حل یک مدل ریاضی با محدودیت است، می بایست موجه و یا غیر موجه بودن جواب های منتخب برای انتقال به نسل بعدی بررسی گردد (Coello Coello and Pulido, 2005).

^۱.elitism

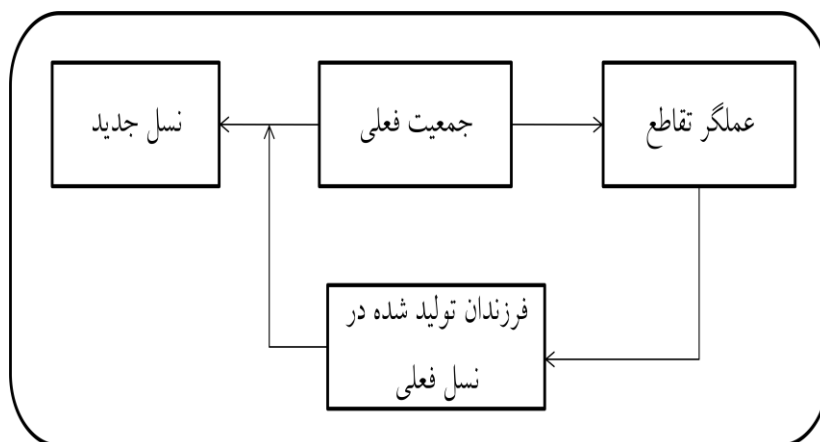
✓ الگوریتم ۴: مکانیزم انتخاب بهترین جواب ها برای انتقال به نسل بعد

قدم اول: تابع برازندگی فرزندان تولید شده را تعیین کنید.

قدم دوم: در صورتیکه یکی از این جواب ها موجه باشد و یکی از جواب ها موجه نباشد، جواب موجه انتخاب می شود و الگوریتم متوقف می شود. در صورتیکه هر دو جواب غیر موجه باشد به قدم سوم بروید و در غیر این صورت به قدم چهارم.

قدم سوم: در صورتیکه هر دو جواب غیر موجه باشد، جوابی با مقدار تابع جریمه کمتر انتخاب خواهد شد. در صورتیکه هر دو جواب غیر موجه مقدار جریمه یکسان داشته باشد به قدم چهارم بروید.

قدم چهارم: جواب غیر مسلط^۱ را انتخاب کنید.



شکل ۵-۱۳- نحوه انتخاب مجموعه جواب برای نسل بعد

^۱. non dominant

GA μ CRW - ۷-۲-۵ - مراحل اجرای

در این الگوریتم، دو معیار همگرایی داخلی^۱ و خارجی^۲ در نظر گرفته شده است. در حلقه داخلی^۳ در صورتی که کل جمعیت به یک مقدار اسمی^۴ همگرا شود (به عبارتی کل جمعیت کمتر از ۰.۵٪ از بهترین جواب موجود در جمعیت تفاوت داشته باشند) الگوریتم از حلقه داخلی خارج می شود و حلقه خارجی تا رسیدن به تعداد دفعات تعریف شده تولید نسل، ادامه می یابد. در نتیجه تعداد حلقه های داخلی از یک نسل به نسل دیگر متفاوت است اما تعداد تکرار نسل های ثابت است. در ادامه الگوریتم مربوط به اجرای GA μ CRW ارائه شده است.

✓ مراحل اجرای GA μ CRW:

قدم اول: تعیین پارامترهای الگوریتم مانند اندازه جمعیت، نرخ تقاطع، نرخ استفاده از عملگر نخبه گرا، تعیین معیار توقف (تعداد تکرارها).

قدم دوم: تولید پارامترهای بازه ای مدل

قدم سوم: تعریف توابع هدف و محدودیت ها

قدم چهارم: تولید جمعیت اولیه بصورت تصادفی بر اساس الگوریتم ۲

قدم پنجم: تعیین تابع برازندگی بر اساس قدم ها زیر:

قدم پنجم- الف: نرمالایز کردن و وزن دهی به اهداف بر اساس الگوریتم ۳

قدم پنجم- ب: محاسبه مقدار تابع جریمه C بر اساس فرمول (۷۵-۵)

قدم پنجم- ج: تعیین نسبت جواب های موجه به کل جواب های موجود در جمعیت (Ω) و

محاسبه ضریب جریمه $C(\Omega)$ بر اساس فرمول (۷۶-۵)

۱. inner convergence criteria

۲. outer convergence criteria

۳. inner loop

۴. nominal value

قدم پنجم- د: محاسبه تابع برازندگی بر اساس فرمول (۷۷-۵)

قدم ششم: چک کردن معیار همگرایی خارجی. در صورتیکه الگوریتم به تعداد تکرارها لازم رسیده باشد (معیار توقف)، الگوریتم متوقف شده و بهترین جواب بدست آمده چاپ شود در غیر این صورت به قدم بعدی بروید.

قدم هفتم: انتخاب والدین از بین جواب های موجود در جمعیت $(x \in P_t)$ بر اساس روش چرخ رولت.

قدم هشتم: اعمال عملگر تقاطع با نرخ تعیین شده

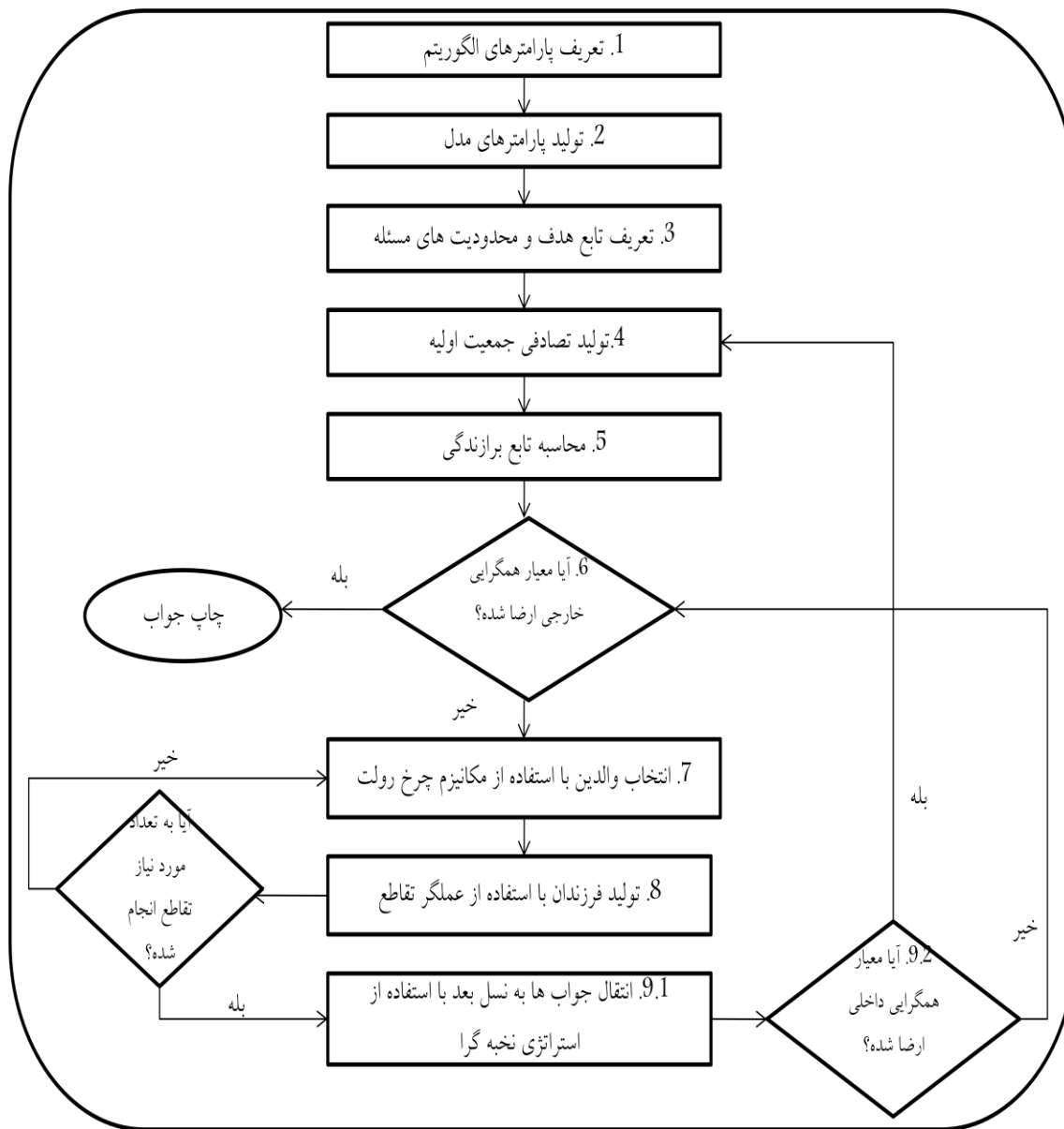
قدم نهم: انتقال بهترین جواب ها به نسل بعد بر اساس قدم های زیر:

قدم نهم- الف: انتخاب بهترین جواب بر اساس الگوریتم ۴ (استراتژی نخبه سالاری)

قدم نهم- ب: چک کردن معیار همگرایی داخلی. در صورتیکه کل جمعیت کمتر از ۰.۵٪ از بهترین

جواب موجود در جمعیت تفاوت داشته باشند، بهترین جواب را ذخیره کنید و به قدم چهارم رفته و جمعیت تصادفی اولیه تولید کنید، در غیر اینصورت به قدم بعدی بروید.

قدم دهم: تکرار قدم های ششم تا نهم.



۱۴-۵- مراحل اجرای $GA\mu CRW$

فصل ششم

نتایج محاسباتی

در این فصل ابتدا با استفاده از روش تشریح شده در فصل پنجم، پس از تولید پارامترهای فازی و تبدیل آن‌ها به بازه‌های قطعی، مقدار پارامتر θ (سطح خوش بینی تصمیم گیرنده) در مدل ریاضی بازه‌ای تعیین شده و به منظور نشان دادن کارایی الگوریتم فراابتکاری ارائه شده، نمونه مسئله‌هایی در ابعاد مختلف، با استفاده از نرم افزار $Lingo^9$ و $Matlab(R^{2009a})$ ، حل و نتایج این محاسبات با یکدیگر مقایسه می‌گردد.

۶-۱- مسئله‌های مورد بررسی

۶-۱-۱- تولید پارامترهای فازی مسئله

بر اساس مطالعات انجام شده توسط $Lai \& Hwang$ (۱۹۹۲)، سه نقطه اصلی محتمل ترین، بد بینانه ترین، و خوش بینانه ترین مقدار، باید جهت تولید پارامترهای فازی مثلثی (تشریح شده در فصل پنجم)، تخمین زده شود. در این روش محتمل ترین مقدار (C^m) برای هر پارامتر، ابتدا بصورت تصادفی (بر اساس تابع توزیع یکنواخت تعریف شده برای هر پارامتر در جدول ۶-۱-الف تا ج) تولید می‌گردد. سپس دو عدد تصادفی Γ_1 و Γ_2 بین $0/2$ و $0/8$ بر اساس تابع توزیع یکنواخت تولید شده و

خوش بینانه ترین مقدار (C^0) و بدبینانه ترین مقدار (C^P) عدد فازی (\tilde{C}) بر اساس فرمول های ۱-۶ و ۲-۶ محاسبه می گردد.

$$C^0 = (1 + r_1) * C^m \quad (1 - 6)$$

$$C^P = (1 - r_2) * C^m \quad (2 - 6)$$

در نهایت اعداد فازی تولید شده، بر اساس روش تشریح شده در فصل دوم و فرمول های ۲-۱۳ تا ۱۸، به بازه های قطعی با کران بالا و پایین معین، تبدیل و در اکسل ذخیره می گردد و در طول اجرای برنامه نرم افزار های ۹ Lingo و Matlab (R۲۰۰۹a) فراخوانی می شود.

۲-۱-۶- تولید مسئله های آزمایشی

با توجه به ابعاد مسائل حل شده در ادبیات موجود، برای سنجش کارایی الگوریتم پیشنهادی ۱۰ مسئله آزمایشی مطابق اطلاعات جدول ۲-۶ در نظر گرفته شده است. مسائل از اندازه های کوچک شروع و به اندازه های بزرگ ختم می گردد.

جدول ۶-۱-الف- منابع تولید تصادفی محتمل ترین مقدار پارامترهای مسئله

توزیع تصادفی مربوطه	تعریف	پارامتر
- Uniform (۷۵۰, ۱۶۵۰)	تقاضای مشتری ناحیه C ام از محصول g ام	\tilde{d}_{cg}
-Uniform(۰/۴۰, ۰/۳۵)	درصد نرخ بازگشت محصول g ام از ناحیه مشتری C ام	$\tilde{\omega}_{cg}$
$\tilde{r}_{cg} = \tilde{d}_{cg} * \tilde{w}_{cg}$	حجم محصول بازگشتی g ام از مشتریان ناحیه C ام	\tilde{r}_{cg}
- Uniform(۷۰, ۵۰)	تقاضای مواد خام محصول g ام توسط مشتری مواد خام rm ام	\tilde{c}_{rmg}
-Uniform(۰/۶۵, ۰/۶۰)	متوسط نرخ قرضه محصول g ام	$\tilde{\eta}_g$
- Uniform(۰/۵۵, ۰/۵۰)	متوسط نرخ قرضه های بازیافت شده محصول g ام	$\tilde{\epsilon}_g$
- Uniform(۵۰۰,۰۰۰, ۴۰۰,۰۰۰)	هزینه ثابت راه اندازی کارخانه p ام	\tilde{h}_p
-Uniform(۲۶۰,۰۰۰, ۱۸۰,۰۰۰)	هزینه ثابت راه اندازی مرکز توزیع d ام	\tilde{f}_d
- Uniform(۲۶۰,۰۰۰, ۱۸۰,۰۰۰)	هزینه ثابت راه اندازی مرکز جمع آوری و بازرسی i ام	\tilde{g}_i
- Uniform(۴۰۰,۰۰۰, ۳۰۰,۰۰۰)	هزینه ثابت راه اندازی مرکز احیاء e ام	\tilde{b}_e
- Uniform(۲۲۰,۰۰۰, ۱۵۰,۰۰۰)	هزینه ثابت راه اندازی مرکز بازیافت r ام	\tilde{a}_r
- Uniform(۱۰, ۴)	هزینه حمل و نقل یک واحد جریان مستقیم محصول g ام از کارخانه p ام به مرکز عرضه d ام	\tilde{co}_{pdg}
-Uniform(۱۰, ۴)	هزینه حمل و نقل یک واحد جریان مستقیم محصول g ام از مرکز عرضه d ام به ناحیه مشتریان C ام	\tilde{cu}_{dcg}
- Uniform(۱۰, ۴)	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازگشتی g ام از ناحیه مشتریان C ام به مراکز جمع آوری و بازرسی i ام	\tilde{cq}_{cig}

جدول ۶-۱-ب- منابع تولید تصادفی محتمل ترین مقدار پارامترهای مسئله

توزیع تصادفی	تعریف	پارامتر
- Uniform(۴, ۱۰)	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازگشتی بازیافتی g ام از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مراکز احیاء e ام	cp_{ieg}
- Uniform(۴, ۱۰)	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازگشتی قراضه g ام از مرکز جمع آوری و بازرسی i ام به مراکز بازیافت r ام	cs_{irg}
- Uniform(۴, ۱۰)	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول احیا شده g ام از مرکز احیاء e ام به مراکز توزیع d ام	ch_{edg}
- Uniform(۴, ۱۰)	هزینه حمل و نقل یک واحد محصول بازیافتی g ام از مرکز بازیافت r ام به مراکز مشتریان مواد خام rm ام	cv_{rrmg}
- Uniform(۳, ۵)	هزینه ساخت یک واحد محصول g ام در کارخانه p ام	ρ_{pg}
- Uniform(۱.۵, ۳)	هزینه پردازش یک واحد محصول g ام در مرکز عرضه d ام	φ_{dg}
- Uniform(۱.۵, ۳)	هزینه پردازش یک واحد محصول g ام در مرکز جمع آوری و بازرسی i ام	β_{ig}
- Uniform(۲, ۴)	هزینه ساخت مجدد یک واحد محصول g ام در مرکز احیاء e ام	ζ_{eg}
- Uniform(۲, ۴)	هزینه بازیافت یک واحد محصول g ام در مرکز بازیافت r ام	λ_{rg}
- Uniform(۲, ۴)	هزینه دفن ایمن یک واحد از محصول g ام در مرکز بازیافت r ام	ψ_{rg}
- Uniform(۵, ۸)	جریمه ناشی از تاخیر در ارسال محصول g ام در مدت زمان مورد انتظار	
- Uniform(۲,۸۰۰, ۳,۳۰۰)	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در کارخانه p ام	pm_{pg}
- Uniform(۱,۵۰۰, ۲,۰۰۰)	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مرکز عرضه d ام	px_{dg}
- Uniform(۱,۰۰۰, ۱,۳۰۰)	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مراکز جمع آوری و بازرسی i ام	py_{ig}

جدول ۶-۶-ج- منابع تولید تصادفی محتمل ترین مقدار پارامترهای مسئله

توزیع تصادفی	تعریف	پارامتر
- Uniform(۸۰۰, ۱,۲۰۰)	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مرکز بایافت r ام	pw_{rg}
- Uniform(۸۰۰, ۱,۲۰۰)	ماکزیمم ظرفیت محصول g ام در مرکز احیاء e ام	pz_{eg}
- Uniform(۵, ۸)	مدت زمان ارسال محصول g ام از مرکز توزیع d ام به ناحیه مشتریان c ام	td_{dcg}
- Uniform(۴, ۶)	مدت زمان مورد انتظار برای ارسال محصول g ام به ناحیه مشتریان c ام	te_{cg}
- Uniform(۸۰,۰۰۰, ۱۵۰,۰۰۰)	میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مکان کارخانه و مرکز احیا در مکان مشترک pe	hb_{pe}
- Uniform(۴۵,۰۰۰, ۹۰,۰۰۰)	میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از انطباق مرکز توزیع و مرکز جمع آوری و بازرسی در مکان مشترک di	fg_{di}

جدول ۶-۲- ابعاد مسائل آزمایشی تولید شده جهت بررسی

تعداد شماره مسئله	کارخانه ها (p)	مراکز توزیع (d)	مراکز مشتریان (c)	مراکز جمع آوری و بازرسی (i)	مراکز باز یافت (r)	مراکز احیاء (e)	مراکز مشتریان مواد خام (rm)	محصولات (g)
۱	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۴	۲
۲	۲	۴	۵	۳	۳	۳	۵	۲
۳	۳	۶	۸	۴	۴	۵	۱۰	۲
۴	۶	۱۲	۱۵	۸	۷	۹	۱۰	۲
۵	۱۰	۱۵	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۳
۶	۱۵	۲۰	۳۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۳
۷	۲۰	۲۵	۴۰	۲۰	۲۰	۱۵	۲۰	۴
۸	۲۵	۳۰	۵۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۵	۴
۹	۳۰	۳۵	۷۰	۳۰	۳۰	۲۰	۴۰	۵
۱۰	۳۰	۴۰	۹۰	۳۰	۳۵	۳۰	۴۵	۵

۶-۲- تعیین مقدار مطلوب پارامتر θ

همانطور که در فصل پنجم تشریح شد، مقادیر θ_1 و θ_2 ، سطح خوش بینی و بد بینی تصمیم گیرنده را در محدودیت های کوچکتر مساوی (\leq) و بزرگتر مساوی (\geq)، نشان می دهد. با افزایش سطح این پارامترها، هزینه ها کاهش و ریسک نقض شدن محدودیت ها افزایش می یابد، در نتیجه به منظور تعیین مقادیر مناسب این پارامتر در مسئله باید تغییرات هزینه و ریسک به صورت همزمان مورد بررسی قرار گیرد. نتایج جدول ۶-۳- الف و ب نشان می دهد که مدل ریاضی ارائه شده نسبت به تغییرات پارامتر θ_1 بی تفاوت است که این امر مسبق به سابقه است (Wang & Hsu, ۲۰۱۰). به عبارت دیگر با تغییر در مقدار پارامتر θ_1 و ثابت نگهداشتن پارامتر θ_2 مقادیر یکسانی برای تابع هدف بدست می آید در حالیکه برعکس با تغییر در مقدار پارامتر θ_2 تغییرات قابل ملاحظه ای در مقادیر تابع هدف بوجود می آید.

در نتیجه در این مدل پارامتر تاثیر گذار θ_2 است که می بایست سطح مطلوب آن تعیین گردد. برای این منظور مقدار θ_1 را برابر صفر در نظر گرفته و مدل را در ابعاد مسئله شماره یک به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_2 حل و بر اساس فرمول ۵-۶۵ (مربوط به معیار متوسط هزینه ی بهبود یافته (AIC))، مقدار مطلوب این پارامتر مطابق اطلاعات جدول ۶-۴- الف تا ب تعیین می گردد.

جدول ۶-۳-الف- مقادیر تابع هدف اول و دوم به ازای مقادیر مختلف θ_1 و θ_2

$\theta_2 \backslash \theta_1$	-۱	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۲	.
-۱	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
-۰/۸	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
-۰/۶	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
-۰/۴	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
-۰/۲	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
.	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
۰/۲	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
۰/۴	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
۰/۶	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
۰/۸	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳
۱	۳۹۰.۶۴۳۹	۳۸۹۷۱۵۸	۳۸۸۷۹۲۸	۳۸۷۸۷۲۸	۳۸۶۹۵۳۴	۱۷۹۵۶۰۷
	۶۲۹۳.۹۴۴	۶۱۰۴.۹۶۱	۵۹۱۸.۵۸۴	۵۷۳۲.۲۰۷	۵۵۴۵.۸۳۰	۵۳۵۹.۴۵۳

جدول ۶-۳-ب- مقادیر تابع هدف اول و دوم به ازای مقادیر مختلف θ_1 و θ_2

$\theta_2 \backslash \theta_1$	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱
-۱	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
-۰/۸	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
-۰/۶	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
-۰/۴	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
-۰/۲	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
.	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
۰/۲	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
۰/۴	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
۰/۶	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
۰/۸	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹
۱	۱۷۷۹۶۴۷	۱۷۶۴۳۳۰	۱۵۹۵۱۹۵	۱۵۸۴۶۳۴	۱۵۷۲۸۷۴
	۵۱۷۳۰۰۷۶	۴۹۸۶.۶۹۹	۴۸۰۱.۰۶۲	۴۶۳۲.۱۱۵	۴۴۶۳.۱۶۹

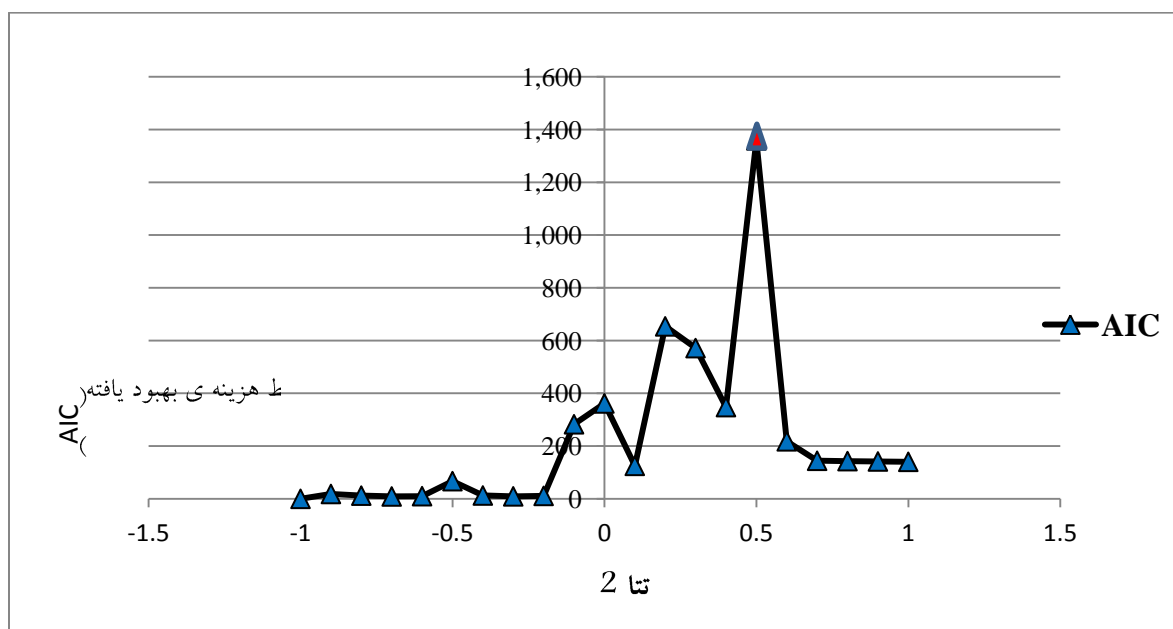
جدول 6-4-الف- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ در مسئله شماره ۱

θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیم سازی)		تابع هدف دوم (مینیم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
۰	-۱	۲۹۶۲۳۳۶	۳۵۴۰۴۷۵	۲۶۴۲.۶۹۰	۱۵۸۶۴.۶۵	۲۹۶۷۳۹۶	۲۷۵۸.۴۲۱	۰.۹۹۱۲۵	%۰	-
۰	-۰/۹	۲۹۵۹۳۳۳	۳۵۴۵۰۴۲	۲۶۰۶.۴۰۷	۱۶۰۵۸.۶۲	۲۹۶۴۴۰۶	۲۷۲۲.۹۲۱	۰.۹۹۱۳۴	%۵	۱۸.۳۴
۰	-۰/۸	۲۹۵۶۴۵۱	۳۵۴۵۰۹۳	۲۵۷۰.۱۲۴	۱۶۱۰۴.۲۶	۲۹۶۱۵۱۰	۲۶۸۶.۴۵۰	۰.۹۹۱۴۱	%۱۰.۴۵	۱۲.۱۷
۰	-۰/۷	۲۹۵۳۶۷۵	۳۵۴۵۱۳۸	۲۵۳۳.۸۴۱	۱۶۱۴۹.۹۱	۲۹۵۸۷۲۰	۲۶۴۹.۹۹۰	۰.۹۹۱۴۷	%۱۷.۶۵	۸.۹۹
۰	-۰/۶	۲۹۵۰۹۲۸	۳۵۴۵۱۸۴	۲۴۹۷.۵۵۸	۱۶۱۹۵.۵۶	۲۹۵۵۹۵۹	۲۶۱۳.۵۲۱	۰.۹۹۱۵۳	%۲۴.۰۷	۱۰.۰۶
۰	-۰/۵	۲۹۴۸۱۹۱	۳۵۴۵۲۲۹	۲۴۶۱.۲۷۵	۱۶۲۴۱.۲۱	۲۹۵۳۲۰۸	۲۵۷۷.۰۷۳	۰.۹۹۱۶	%۲۵	۶۶.۹۹
۰	-۰/۴	۲۹۴۵۴۴۵	۳۵۴۵۲۷۴	۲۴۲۴.۹۹۲	۱۶۲۸۶.۸۶	۲۹۵۰۴۴۸	۲۵۴۰.۶۰۱	۰.۹۹۱۶۶	%۳۰	۱۲.۶۶
۰	-۰/۳	۲۹۴۲۶۹۶	۳۵۴۵۳۱۹	۲۳۸۸.۷۰۹	۱۶۳۳۲.۵۱	۲۹۴۷۶۸۵	۲۵۰۴.۱۵۲	۰.۹۹۱۷۲	%۳۶.۵	۹.۳۸
۰	-۰/۲	۲۹۳۹۹۷۰	۳۵۴۵۳۶۴	۲۳۵۲.۴۲۶	۱۶۳۷۸.۱۵	۲۹۴۴۹۴۵	۲۴۶۷.۶۹۱	۰.۹۹۱۷۸	%۴۲	۱۱.۰۹
۰	-۰/۱	۲۹۳۳۶۲۴	۳۵۴۵۴۰۹	۲۳۱۶.۱۴۳	۱۶۴۲۳.۸۰	۲۹۳۸۱۳۳	۲۴۲۰.۱۱۶	۰.۹۹۲۶۳	%۴۵	۲۸۲.۷۰
۰	۰	۱۵۶۴۵۴۸	۳۵۴۵۴۵۴	۲۲۷۹.۸۶۰	۱۶۴۶۹.۴۵	۱۶۵۰۹۸۶	۲۹۴۰.۶۴۶	۰.۹۹۴۴۴	%۵۰	۳۶۱.۶۰

جدول ۶-۴-ب- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ در مسئله شماره ۱

θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیمم سازی)		تابع هدف دوم (مینیمم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
۰	۰/۱	۱۵۵۲۳۰۴	۳۵۴۵۵۰۰	۲۲۴۳۰۵۷۷	۱۶۵۱۵۰۱۰	۱۵۵۶۳۲۷	۲۸۶۶۰۴۵۵	۰.۹۹۵۱۳۸	%۵۵.۵۸	۱۲۵.۰۰
۰	۰/۲	۱۵۵۰۰۰۳	۳۵۴۵۵۴۵	۲۲۰۷۰۲۹۴	۱۶۵۶۰۰۷۵	۱۵۶۲۷۵۶	۲۷۹۲۰۲۶۴	۰.۹۵۹۲۵	%۶۰	۶۵۳.۸۷
۰	۰/۳	۱۵۴۶۲۷۸	۳۵۴۵۵۹۰	۲۱۷۱۰۰۱۱	۱۶۶۰۶۰۴۰	۱۵۵۸۴۷۳	۲۷۱۸۰۰۷۴	۰.۹۶۲۱	%۶۵	۵۷۱.۴۸
۰	۰/۴	۱۵۴۴۰۰۲	۳۵۴۵۶۳۵	۲۱۳۴۰۷۲۸	۱۶۶۴۵۰۸۶	۱۵۴۶۰۰۳	۲۶۴۳۰۸۸۳	۰.۹۶۴۹۱	%۷۳.۰۸	۳۴۷.۷۸
۰	۰/۵	۱۵۴۱۷۲۴	۳۵۴۵۶۸۰	۲۰۹۸۰۴۴۵	۱۶۶۸۱۰۰۵	۱۵۵۹۶۳۸	۲۵۷۲۰۰۵۶	۰.۹۶۷۵۲	%۷۵	۱۰۳۵۹.۰۶
۰	۰/۶	۱۵۳۶۲۳۵	۳۵۴۵۷۲۵	۲۰۶۲۰۱۶۱	۱۶۷۱۳۰۵۳	۱۵۵۰۱۶۷	۲۵۲۲۰۰۳۱	۰.۹۶۸۶۱	%۸۰	۲۱۸.۰۶
۰	۰/۷	۱۵۳۴۰۰۳	۳۵۴۵۷۷۱	۲۰۲۵۰۸۷۸	۱۶۷۴۶۰۰۲	۱۵۴۵۲۰۰	۲۴۷۷۰۲۸۹	۰.۹۶۹۳۳	%۸۵	۱۴۴.۲۶
۰	۰/۸	۱۵۲۹۴۲۱	۳۵۴۵۸۱۶	۱۹۸۹۰۵۹۵	۱۶۷۷۸۰۵۰	۱۵۳۶۳۴۶	۲۴۳۲۰۵۴۶	۰.۹۷۰۰۵	%۹۰	۱۴۲.۹۲
۰	۰/۹	۱۵۲۶۱۰۳	۳۵۴۵۸۶۱	۱۹۵۳۰۳۱۲	۱۶۸۱۰۰۹۹	۱۵۳۳۹۸۹	۲۳۸۷۰۸۰۴	۰.۹۷۰۷۶	%۹۵	۱۴۱.۶۰
-۱	۱	۱۵۲۴۰۳۸	۳۵۴۵۹۰۶	۱۹۱۷۰۰۲۹	۱۶۸۴۳۰۴۷	۱۵۲۵۴۹۱	۲۳۴۳۰۰۶۱	۰.۹۷۱۴۶	%۱۰۰	۱۴۰.۳۰

برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۱، با توجه به اطلاعات جداول ۶-۴-الف تا ب، با افزایش مقادیر α تا ۲، مقدار بهینه (در این مدل مینیمم اهداف) روندی کاهشی خواهد داشت، این درحالی است که ریسک نقض محدودیت ها افزایش خواهد یافت، در نتیجه مقدار بهینه پارامتر α تا ۲ با توجه به مقادیر مختلف AIC برابر با ۰/۵ انتخاب می شود. به عبارتی به ازای سایر مقادیر α تا ۲، میزان بهبود ایجاد شده در هزینه ها نسبت به ریسک نقض محدودیت ها مقادیر کمتری را دارا می باشد.



شکل ۶-۱- رابطه بین مقادیر مختلف α و مقدار AIC برای مسئله شماره ۱

به منظور تعیین مقدار بهینه α برای نمونه مسائل بعدی، هر یک از این مسائل به ازای مقدار مختلف α با نرم افزار ۹ Lingo حل شده و مقدار AIC محاسبه و نتایج آن در جداول ۶-۵ تا ۶-۷ و اشکال ۶-۲ تا ۶-۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است به علت رشد نمایی زمان حل با افزایش تعداد متغیر، تعیین جواب بهینه مسائل آزمایشی ۱ تا ۳ در زمان قابل قبول، امکان پذیر می باشد، در نتیجه با توجه به نتایج بدست آمده مقدار α تا ۲ برای سایر مسائل آزمایشی، به طور تقریبی ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

جدول 6-5-الف- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ در مسئله شماره ۲

θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیمم سازی)		تابع هدف دوم (مینیمم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
۰	-۱	۳۸۸۸۴۹۱	۴۵۸۴۰۹۳	۷۳۶۶.۷۳۶	۲۶۳۲۰.۳۴	۳۹۰۱۴۵۰	۷۷۱۹.۸۵۲	۰.۹۸۱۳۷	%۰	-
۰	-۰/۹	۳۸۸۳۷۸۰	۴۵۹۱۷۵۱	۷۱۷۷.۳۷۳	۲۶۶۵۴.۲۳	۳۸۹۷۰۰۴	۷۵۴۱.۱۷۷	۰.۹۸۱۳۲	%۵	-۹.۶۶
۰	-۰/۸	۳۸۷۹۲۲۵	۴۵۹۱۹۱۵	۷۰۲۰.۰۰۷	۲۶۷۳۵.۳۸	۳۸۹۲۵۵۷	۷۳۸۸.۸۲۲	۰.۹۸۱۲۹	۱۰.۹۰%	-۴.۷۸
۰	-۰/۷	۳۸۷۴۷۱۰	۴۵۹۲۰۷۳	۶۸۶۲.۶۴۱	۲۶۸۱۶.۵۴	۳۸۸۸۱۳۸	۷۲۳۶.۱۳۹	۰.۹۸۱۲۸	۱۵.۲۰%	-۲.۵۶
۰	-۰/۶	۳۸۷۰۲۷۳	۴۵۹۲۲۳۰	۶۷۱۲.۵۱۳	۲۶۸۹۷.۶۹	۳۸۸۳۷۰۱	۷۰۸۷.۹۳۳	۰.۹۸۱۱۴	۱۷.۸۷%	۴۴.۶۴
۰	-۰/۵	۳۸۶۵۹۱۳	۴۵۹۲۳۸۸	۶۵۶۹.۸۸۷	۲۶۹۷۸.۸۴	۳۸۷۹۲۴۵	۶۹۴۴.۴۲۰	۰.۹۸۱۶۵	۲۵%	۳۴.۷۰
۰	-۰/۴	۳۸۶۱۵۵۳	۴۵۹۲۵۴۵	۶۴۲۷.۲۶۰	۲۷۰۵۹.۹۹	۳۸۷۴۷۹۱	۶۸۰۰.۸۹۹	۰.۹۸۵۴۱	۳۲.۳۰%	۵۱۵.۲۶
۰	-۰/۳	۳۸۵۷۱۹۲	۴۵۹۲۷۰۳	۶۲۸۴.۶۳۴	۲۷۱۴۱.۱۵	۳۸۶۶۸۴۳	۶۵۵۸.۳۰۲	۰.۹۸۶۸۸	۳۵%	۵۴۳.۸۹
۰	-۰/۲	۳۸۵۲۸۳۲	۴۵۹۲۸۶۰	۶۱۴۲.۰۰۸	۲۷۲۲۲.۳۰	۳۸۶۰۱۷۴	۶۳۵۱.۱۵۵	۰.۹۹۰۰۸	۴۳%	۴۰۰.۰۱
۰	-۰/۱	۳۸۴۸۴۹۲	۴۵۹۳۰۱۸	۵۹۹۹.۳۸۲	۲۷۳۰۳.۴۵	۳۸۵۴۷۷۱	۶۱۷۹.۰۶۱	۰.۹۹۱۵۷	۴۸%	۲۹۷.۴۸
۰	۰	۲۱۳۳۴۰۳	۴۵۹۳۱۷۶	۵۸۵۶.۷۵۶	۲۷۳۸۴.۶۰	۲۱۶۰۸۷۲	۶۰۹۷.۱۶۸	۰.۹۹۰۲۵	۵۰%	-۶۵۸.۰۰

جدول 6-5-ب- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ_4 در مسئله شماره 2

θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیم سازی)		تابع هدف دوم (مینیم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
0	0/1	2128180	4593325	57140130	27465076	2150880	5914029	0.99079	55.6%	96.70
0	0/2	2122971	4593473	55789918	27536042	2145888	5782060	0.98907	60%	-390.71
0	0/3	2117766	4593621	54500463	27580090	2137948	5630861	0.99185	65%	555.21
0	0/4	1957045	4593769	5322009	27625038	1975619	5479020	0.99296	73.08%	137.04
0	0/5	1795431	4585314	5193054	27669087	1820201	5393013	0.99112	75%	-955.36
0	0/6	1790081	4585462	50750345	27713071	1814754	52750161	0.99117	80%	10.44
0	0/7	1782082	4578534	49640296	27756081	1804803	51490483	0.99188	85%	140.30
0	0/8	1777293	4578759	48530248	27799090	1796665	5011027	0.99308	90%	241.96
0	0/9	1772898	4574030	47420199	27843000	1792215	4901005	0.9931	95%	380
-1	1	1765815	4569648	46310150	27886009	1780882	47560113	0.99463	100%	304.50

جدول ۶-۶-الف- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ در مسئله شماره ۳

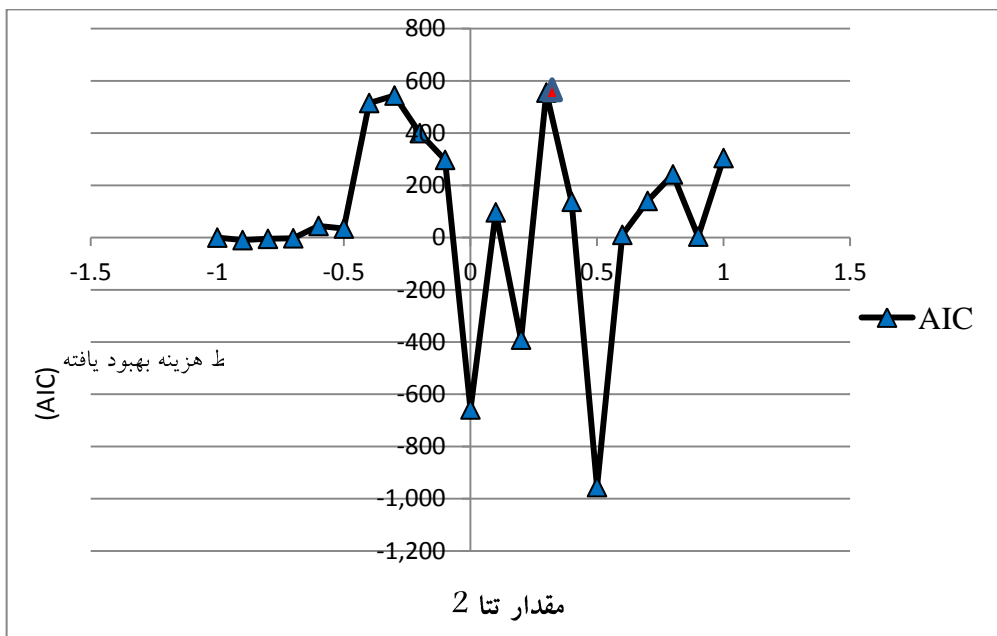
θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیمم سازی)		تابع هدف دوم (مینیمم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
۰	-۱	۵۸۸۴۵۸۶	۶۸۷۸۵۴۵	۱۰۳۵۱.۷۵	۴۱۴۸۶.۳۸	۵۸۹۸۸۸۶	۱۰۷۹۹.۶۷	۰.۹۸۵۶۱	%۰	-
۰	-۰/۹	۵۸۷۷۱۴۴	۶۸۸۵۹۳۸	۱۰۱۳۴.۴۹	۴۲۰۲۴.۳۹	۵۸۹۱۴۲۴	۱۰۵۸۵.۹۰	۰.۹۸۵۸۴	%۰.۵	۴۶.۳۰
۰	-۰/۸	۵۸۷۰۱۴۴	۶۸۸۶۲۰۹	۹۹۵۱.۳۴۱	۴۲۱۵۷.۰۷	۵۸۸۴۳۹۲	۱۰۴۰۲.۹۵	۰.۹۸۵۹۸	%۱.۰	۲۶.۵۲
۰	-۰/۷	۵۸۶۳۲۲۴	۶۸۸۶۴۶۶	۹۷۶۸.۱۹۲	۴۲۲۸۹.۷۴	۵۸۷۷۴۳۵	۱۰۲۱۹.۸۵	۰.۹۸۶۱۱	%۱۷.۴۰	۱۸.۲۰
۰	-۰/۶	۵۸۵۶۳۷۷	۶۸۸۶۷۲۲	۹۵۸۵.۰۴۳	۴۲۴۲۲.۴۱	۵۸۷۰۵۷۲	۱۰۰۳۷.۴۵	۰.۹۸۶۲۲	%۲۰	۴۲.۵۸
۰	-۰/۵	۵۸۴۹۵۶۵	۶۸۸۶۹۷۵	۹۴۰۶.۰۸۴	۴۲۵۵۵.۰۹	۵۸۶۳۶۷۲	۹۸۵۶.۸۵۵	۰.۹۸۶۴	%۲۵	۳۵.۷۸
۰	-۰/۴	۵۸۴۰۴۵۹	۶۸۸۷۲۲۹	۹۲۲۸.۵۰۰	۴۲۶۸۶.۷۴	۵۸۵۳۱۴۶	۹۶۳۴.۰۱۷	۰.۹۸۷۸۸	%۳۱.۷۴	۲۱۹.۳۲
۰	-۰/۳	۵۸۳۱۴۱۵	۶۸۸۷۴۸۲	۹۰۵۰.۹۱۷	۴۲۸۰۸.۱۲	۵۸۴۵۵۰۸	۹۵۰۱.۴۰۷	۰.۹۸۶۶۶	%۳۵.۰۰	-۳۷۵.۷۴
۰	-۰/۲	۵۸۲۴۷۷۷	۶۸۸۷۷۳۶	۸۸۷۷.۲۱۹	۴۲۹۲۹.۴۹	۵۸۳۸۷۷۲	۹۳۲۵.۵۵۷	۰.۹۸۶۸۳	%۴۰.۰۰	۳۵.۷۶
۰	-۰/۱	۵۸۱۸۱۴۶	۶۸۸۷۹۹۰	۸۷۱۲.۵۷۳	۴۳۰۵۰.۸۶	۵۸۲۹۱۶۴	۹۰۶۶.۲۲۶	۰.۹۸۹۷	%۴۵.۰۰	۵۷۳.۴۲
۰	۰	۳۲۹۵۰۶۴	۶۸۸۸۲۴۳	۸۵۶۰.۳۴۸	۴۳۱۷۲.۲۳	۳۳۱۶۶۱۵	۸۷۶۷.۹۴۳	۰.۹۹۹۴	%۵۰	۸۶۰.۲۶

جدول 6-6-ب- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ در مسئله شماره 3

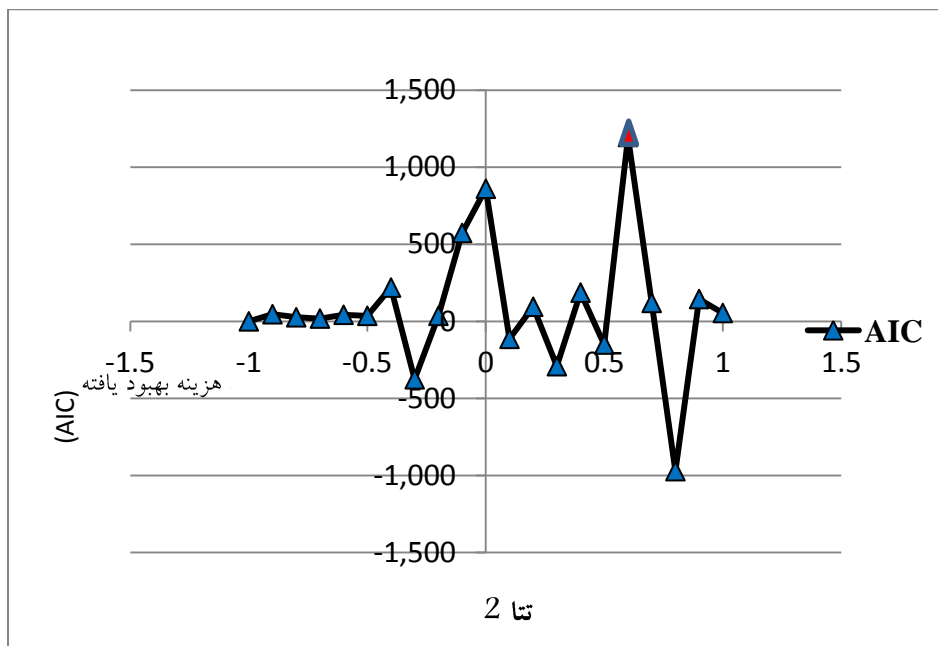
θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیم سازی)		تابع هدف دوم (مینیم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
0	0/1	3287384	7881497	8408.122	43293.71	331.033	8737.159	0.99343	50%	-113.52
0	0/2	32788878	7881750	8255.897	43414.98	330.870	8470.094	0.99391	60%	94.64
0	0/3	3266257	7889004	8103.671	20807.14	3293594	8199.532	0.99245	75%	-290.78
0	0/4	3256460	7889257	7951.633	43657.72	3280485	8187.774	0.99339	70%	186.54
0	0/5	3250866	7889511	7800.643	43779.09	3279818	8086.912	0.99204	78.94%	-150.26
0	0/6	3239992	7889764	7649.660	43900.47	3264403	7892.118	0.99331	80%	1,196.51
0	0/7	3233759	7890015	7498.788	44010.44	3256024	7721.128	0.99391	85%	119.76
0	0/8	3034529	7890266	7347.953	44107.30	3119770	7575.540	0.98905	90%	-971.82
0	0/9	3013943	7890517	7197.118	44204.16	3037760	7431.841	0.98977	95%	144.60
-1	1	2999797	7890768	7046.284	44294.75	3023457	7417.070	0.99005	100%	54.26

جدول ۶-۷- محاسبه AIC به ازای مقادیر مختلف پارامتر θ در مسئله شماره ۴

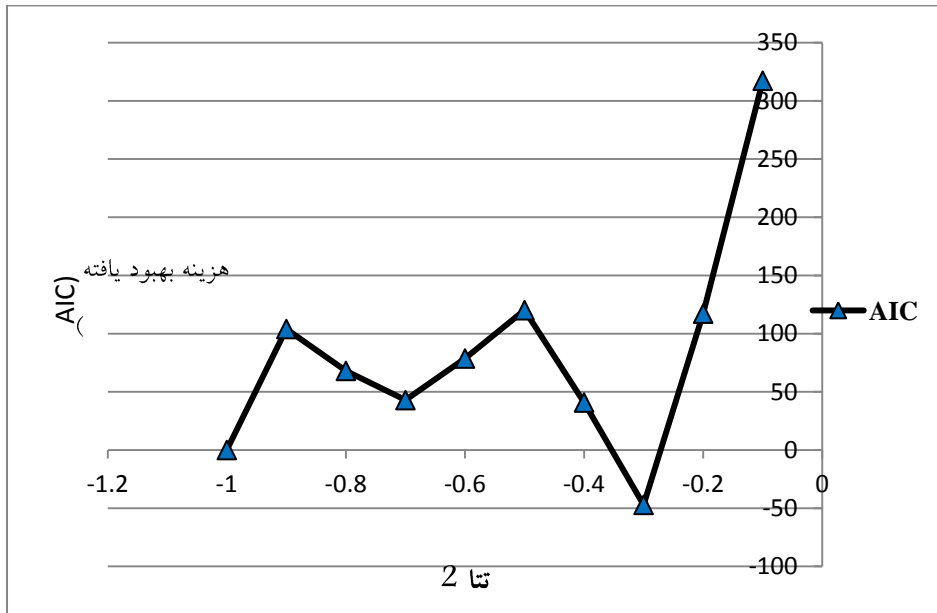
θ_1	θ_2	تابع هدف اول (مینیمم سازی)		تابع هدف دوم (مینیمم سازی)		مقدار بهینه تابع هدف اول	مقدار بهینه تابع هدف دوم		حداکثر ریسک مورد انتظار	$AIC(\theta|\Delta\theta) = \frac{|\Delta TC(\theta|\Delta\theta)|}{|\Delta Risk(\theta|\Delta\theta)|} * 10000$
		بهترین مقدار	بدترین مقدار	بهترین مقدار	بدترین مقدار					
۰	-۱	۱۰,۵۳۰,۰۷۰	۱۲,۵۳۸,۱۸۰	۱۳,۶۱۴,۰۲	۹۵,۶۸۰,۳۳	۱۰,۵۶۸,۱۷۰	۱۵,۱۷۰,۹۸	۰,۹۸۱۰۳	۰٪	-
۰	-۰/۹	۱۰,۵۱۷,۷۵۰	۱۲,۵۵۴,۸۳۰	۱۳,۳۶۵,۴۷	۹۶,۸۴۴,۹۳	۱۰,۵۵۵,۳۳۰	۱۴,۹۰۵,۶۳	۰,۹۸۱۵۵	۵٪	۱۰۴,۰۰
۰	-۰/۸	۱۰,۵۰۵,۷۱۰	۱۲,۵۵۵,۱۵۰	۱۳,۱۳۹,۸۶	۹۷,۱۱۰,۶۰	۱۰,۵۴۲,۸۲۰	۱۴,۶۶۰,۲۱	۰,۹۸۱۸۹	۱۰٪	۶۸,۰۰
۰	-۰/۷	۱۰,۴۹۳,۷۱۰	۱۲,۵۵۵,۴۰۰	۱۲,۹۱۶,۴۸	۹۷,۳۷۶,۲۷	۱۰,۵۳۰,۳۹۰	۱۴,۴۱۹,۲۶	۰,۹۸۲۲۱	۱۷,۴۶٪	۴۲,۹۰
۰	-۰/۶	۱۰,۴۸۱,۷۵۰	۱۲,۵۵۵,۶۵۰	۱۲,۶۹۳,۷۶	۹۷,۶۳۶,۵۷	۱۰,۵۱۷,۸۴۰	۱۴,۱۷۱,۹۱	۰,۹۸۲۶۰	۲۲,۴۲٪	۷۸,۶۳
۰	-۰/۵	۱۰,۴۶۹,۸۰۰	۱۲,۵۵۵,۹۰۰	۱۲,۴۷۱,۰۴	۹۷,۸۹۶,۸۶	۱۰,۵۰۵,۴۴۰	۱۳,۹۳۰,۶۲	۰,۹۸۲۹۱	٪۲۵	۱۲۰,۱۶
۰	-۰/۴	۱۰,۴۵۷,۸۹۰	۱۲,۵۵۶,۱۴۰	۱۲,۲۴۸,۳۲	۹۸,۱۵۷,۱۵	۱۰,۴۹۳,۰۴۰	۱۳,۶۸۷,۳۰	۰,۹۸۳۲۵	۳۳,۳۳٪	۴۰,۸۲
۰	-۰/۳	۱۰,۴۴۰,۱۸۰	۱۲,۵۵۶,۳۹۰	۱۲,۰۲۵,۶۱	۹۸,۴۱۷,۴۵	۱۰,۴۷۶,۱۷۰	۱۳,۴۹۴,۹۵	۰,۹۸۲۹۹	۳۸,۸۵٪	-۴۷,۱۰
۰	-۰/۲	۱۰,۴۱۹,۶۵۰	۱۲,۵۵۶,۶۳۰	۱۱,۸۰۲,۹۶	۹۸,۶۷۷,۷۴	۱۰,۴۵۴,۹۹۰	۱۳,۲۳۹,۸۴	۰,۹۸۳۴۶	۴۲,۸۶٪	۱۱۷,۲۱
۰	-۰/۱	۱۰,۳۹۱,۸۱۰	۱۲,۵۵۶,۸۸۰	۱۱,۵۸۰,۹۰	۹۸,۹۳۰,۰۴	۱۰,۴۲۴,۳۴۰	۱۲,۸۹۳,۲۳	۰,۹۸۴۹۸	٪۴۷,۶۵	۳۱۷,۳۳
۰	۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-



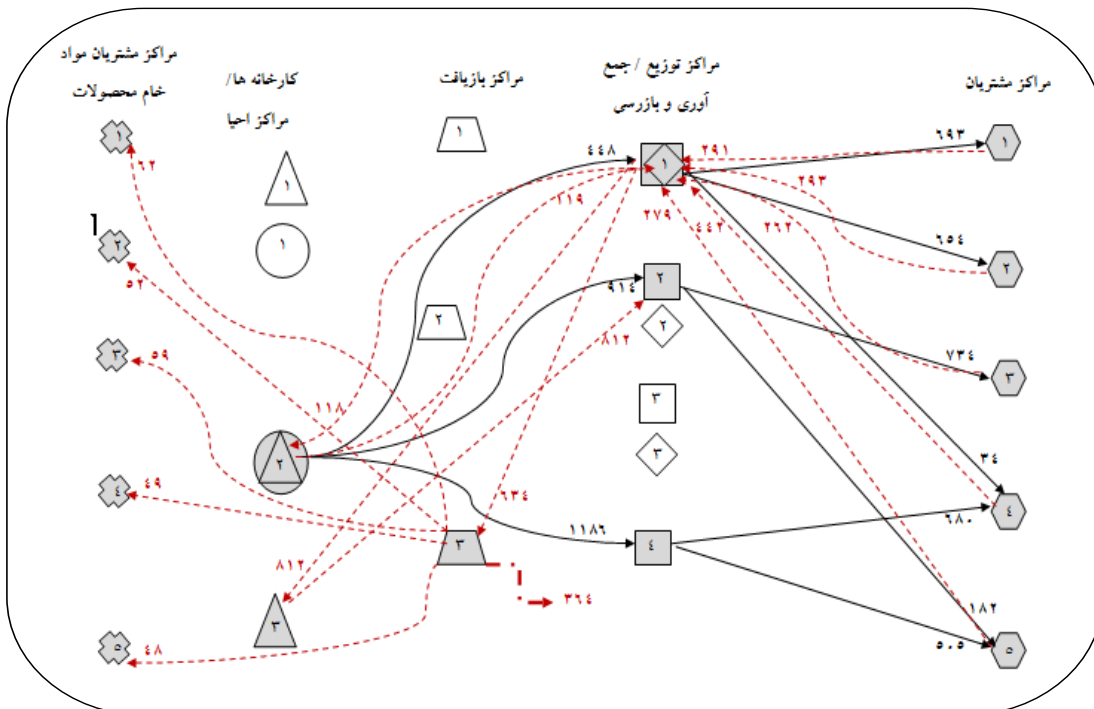
شکل ۲-۶- رابطه بین مقادیر مختلف تتا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۲



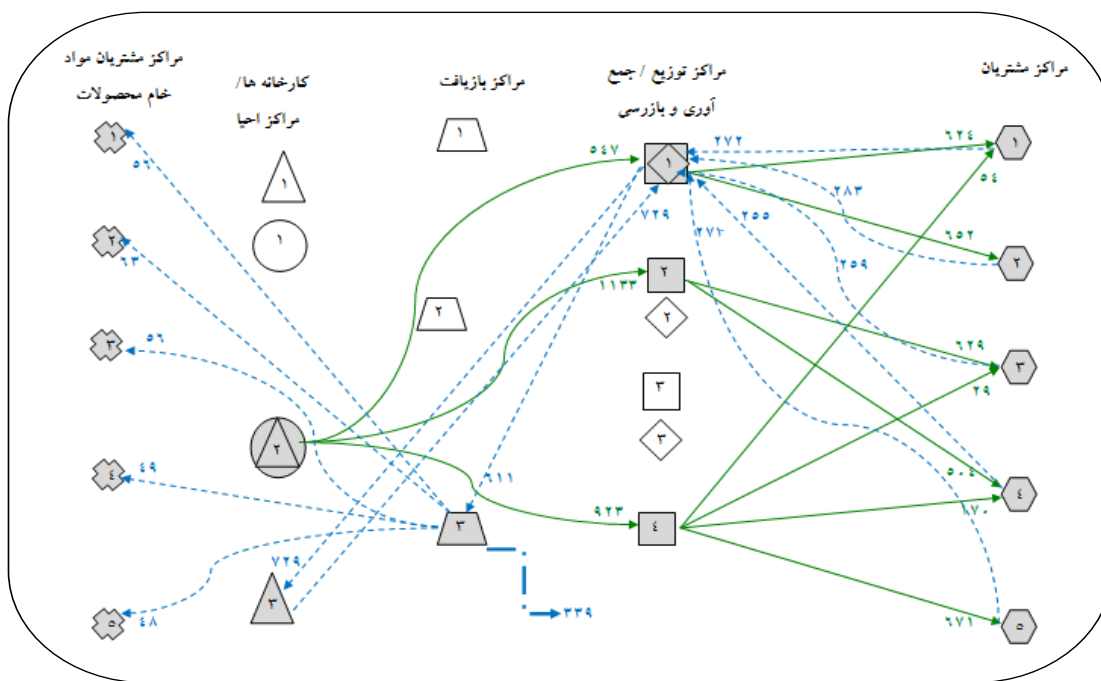
شکل ۳-۶- رابطه بین مقادیر مختلف تتا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۳



شکل ۶-۴- رابطه بین مقادیر مختلف تا ۲ و مقدار AIC برای مسئله شماره ۴



شکل ۶-۵- نمایش شبکه زنجیره تامین بهینه محصول اول در نمونه مسئله آزمایشی ۲



شکل ۶-۶- نمایش شبکه زنجیره تامین بهینه محصول دوم در نمونه مسئله آزمایشی ۲

۳-۶- ارزیابی کارایی الگوریتم ابتکاری پیشنهادی

با تعیین مقادیر مختلف تتا ۲ برای هر یک از مسائل آزمایشی، حداکثر ریسک مورد انتظار نقض محدودیت های این مسائل تعیین می گردد. به منظور آزمون کارایی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم در محیط Matlab(R۲۰۰۹a) پیاده سازی شده، و نتایج حاصل از اجرای آن در مسائل آزمایشی تولید شده با نتایج حل دقیق بدست آمده از نرم افزار ۹ Lingo مقایسه شده است. کلیه محاسبات به کمک یک یارانه با پردازشگر Core (TM) i۷ و RAM ۴ GB انجام و نتایج حاصل از این ۵ بار اجرای الگوریتم پیشنهادی و حل دقیق بدست آمده، در جدول ۶-۸- الف و ب نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است با محاسبه فاصله بین حل بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی و حل بهینه به وسیله فرمول های ۳-۶ تا ۵-۶، معیاری جهت سنجش کارایی الگوریتم پیشنهاد شده ارائه گردیده است. این معیار نشان دهنده میزان اعتبار الگوریتم توسعه داده شده می باشد.

$$landa_1 = \frac{F_1 - f_1'}{F_1 - f_1} \quad (3-6)$$

$$landa_2 = \frac{F_2 - f_2'}{F_2 - f_2} \quad (4-6)$$

$$\% \text{ خطا} = \left((\omega^* - (\min(landa_1, landa_2))) / \omega^* \right) * 100 \quad (5-6)$$

جدول ۶-۸-الف- خلاصه نتایج محاسباتی

شماره مسئله	مقدار توابع هدف با الگوریتم پیشنهادی				مقدار توابع هدف با LINGO	زمان حل با الگوریتم پیشنهادی (ثانیه)			زمان حل با LINGO (ثانیه)	خطا (درصد)		
	توابع هدف	ماکزیمم	مینیمم	متوسط		ماکزیمم	مینیمم	متوسط		ماکزیمم	مینیمم	متوسط
۱	تابع هدف اول	۱,۶۶۳,۶۰۰	۱,۶۴۲,۹۰۰	۱,۶۵۰,۶۴۰	۱,۵۵۹,۶۳۸	۲۶,۸۳	۲۱,۰۱	۲۳,۲۸	۱۰	۴,۴۵%	۱,۸۶%	۳,۰۶%
	تابع هدف دوم	۳,۲۰۰	۲,۶۰۰	۲,۹۸۰	۲,۵۷۲,۰۵۶							
۲	تابع هدف اول	۲,۲۳۱,۷۰۰	۲,۱۳۸,۶۰۰	۲,۱۷۶,۵۶۰	۲,۱۳۷,۹۴۸	۲۵,۶۹	۲۱,۱۸	۲۸,۷۲	۱۵	۴,۴۱%	۲,۳۹%	۳,۲۵%
	تابع هدف دوم	۶,۶۰۰	۵,۹۰۰	۶,۲۴۰	۵,۶۳۰,۸۶۱							
۳	تابع هدف اول	۳,۲۲۷,۳۰۰	۳,۳۹۷,۰۰۰	۳,۳۳۳,۴۶۰	۳,۲۶۴,۴۰۳	۳۱,۸	۲۹,۳۳	۳۰,۱۱	۲,۶۳۷	۴,۱۹%	۵,۸۵%	۴,۹۶%
	تابع هدف دوم	۹,۴۰۰	۱۰,۰۰۰	۹,۶۸۰	۷,۸۹۲,۱۱۸							
۴	تابع هدف اول	۵,۶۲۳,۴۰۰	۶,۰۸۲,۷۰۰	۵,۸۰۳,۲۴۰	۱	۳۳,۸	۳۱,۵	۳۲,۶۲	>۲۴,۸۳۵	-	-	-
	تابع هدف دوم	۴۲,۱۰۰	۳۵,۹۰۰	۳۸,۸۲۰								
۵	تابع هدف اول	۱۰,۲۰۶,۰۰۰	۹,۵۳۱,۲۰۰	۹,۸۳۴,۲۴۰	-	۹۸,۵	۹۲,۳	۹۵,۵۴	-	-	-	-
	تابع هدف دوم	۱۱۰,۲۰۰	۱۰۴,۲۰۰	۱۰۶,۴۴۰								
۶	تابع هدف اول	۱۳,۶۳۳,۰۰۰	۱۳,۰۰۶,۰۰۰	۱۳,۳۵۶,۰۰۰	-	۱۹۶,۵	۲۱۲,۵	۲۰۴,۴۸	-	-	-	-
	تابع هدف دوم	۱۲۵,۰۰۰	۱۱۱,۰۰۰	۱۱۸,۰۰۰								

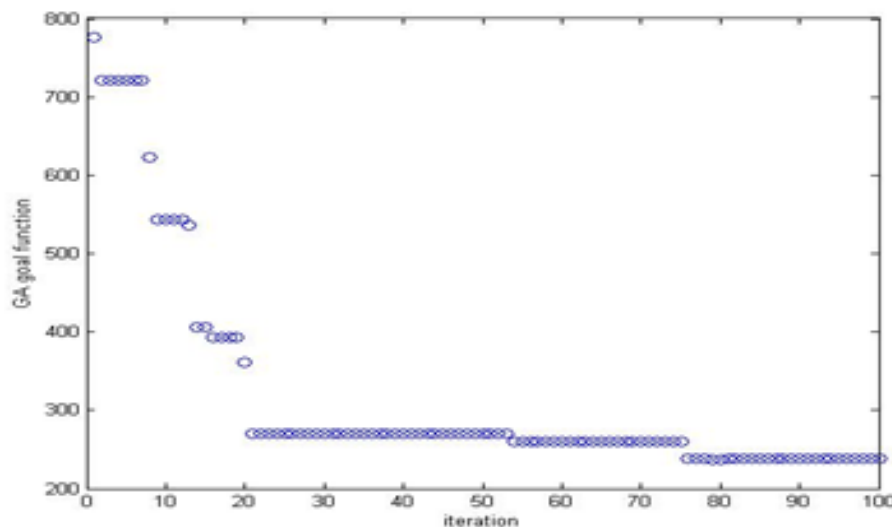
^۱ - محاسبه جواب بهینه مسئله آزمایشی شماره ۴ علیرغم زمان طولانی (۲۴,۸۳۵ ثانیه) اجرای برنامه توسط نرم افزار ۹,۰ LINGO، امکان پذیر نیست.

جدول ۶-۸-ب- خلاصه نتایج محاسباتی

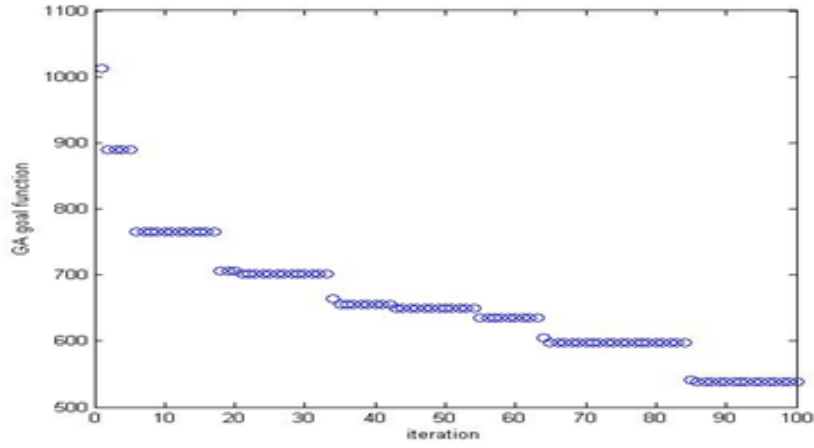
شماره مسئله	مقدار توابع هدف با الگوریتم پیشنهادی			مقدار توابع هدف با LINGO	زمان حل با الگوریتم پیشنهادی (ثانیه)			زمان حل با LINGO (ثانیه)	خطا (درصد)			
	توابع هدف	ماکزیمم	مینیمم		متوسط	ماکزیمم	مینیمم		متوسط	ماکزیمم	مینیمم	متوسط
۷	تابع هدف اول	۱۸,۵۷۳,۰۰۰	۱۸,۱۵۸,۰۰۰	۱۸,۳۳۰,۲۰۰	-	۲۲۳,۵	۲۷۶,۳	۲۵۶,۵۸	-	-	-	-
	تابع هدف دوم	۱۹۸,۰۰۰	۱۸۶,۰۰۰	۱۹۲,۶۰۰								
۸	تابع هدف اول	۲۳,۵۶۹,۰۰۰	۲۱,۵۶۳,۰۰۰	۲۲,۵۶۸,۰۰۰	-	۳۰۵	۲۹۲,۵	۲۹۸,۲	-	-	-	-
	تابع هدف دوم	۲۴۴,۰۰۰	۲۳۴,۰۰۰	۲۳۹,۰۰۰								
۹	تابع هدف اول	۳۰,۶۴۷,۰۰۰	۲۹,۷۵۲,۰۰۰	۳۰,۳۰۳,۸۰۰	-	۵۵۹,۳	۵۰۹,۹	۵۴۴,۸۸	-	-	-	-
	تابع هدف دوم	۴۲۹,۰۰۰	۴۲۰,۰۰۰	۴۲۴,۲۰۰								
۱۰	تابع هدف اول	۳۴,۹۸۰,۰۰۰	۳۴,۱۶۷,۰۰۰	۳۴,۵۴۴,۲۰۰	-	۸۵۴	۸۰۰	۸۲۸,۶۰	-	-	-	-
	تابع هدف دوم	۵۴۵,۰۰۰	۵۱۹,۰۰۰	۵۳۲,۰۰۰								

با توجه به اطلاعات جداول ۶-۸-الف و ب، پیچیدگی مسئله مورد بررسی با افزایش تعداد تسهیلات و بالا رفتن تعداد متغیرهای تصمیم، افزایش می یابد، بنابراین تنها جواب بهینه مسئله در ابعاد کوچک (۱ تا ۳) در زمان قابل قبول با استفاده از نرم افزار LINGO ۹ قابل تولید می باشد و در ابعاد بزرگتر، محاسبه جواب بهینه دقیق در زمان معقول امکان پذیر نیست. در مسئله نمونه شماره ۴ علیرغم زمان طولانی اجرا (تا ۲۴،۸۳۵ ثانیه) جواب بهینه توسط نرم افزار LINGO ۹ تولید نگردید. در واقع زمان دست یابی به جواب بهینه توسط نرم افزار LINGO ۹ به طور نمایی رشد می کند و این امر استفاده از الگوریتم پیشنهادی را با توجه به خطای پایین الگوریتم نسبت به جواب بهینه به خوبی قابل توجیه می باشد.

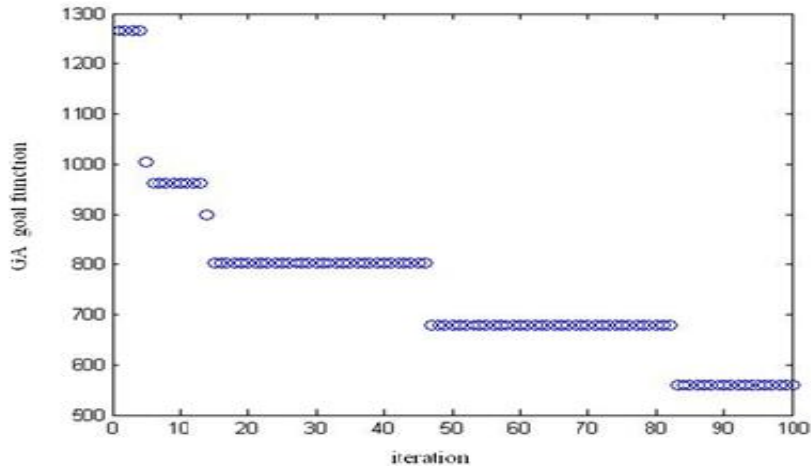
همچنین بر اساس مقادیر بدست آمده برای معیار کارایی در اجرای مسائل در اندازه های مختلف (جدوال ۶-۸-الف و ب)، متوسط خطای محاسباتی الگوریتم پیشنهادی ۳/۷۶٪ است که این امر نشان دهنده کارایی الگوریتم می باشد. در ادامه نحوه همگرایی جواب های تولید شده توسط الگوریتم پیشنهادی برای مسائل ابعاد ۱ تا ۱۰، در اشکال ۶-۷ تا ۱۶-۶ ارائه شده است.



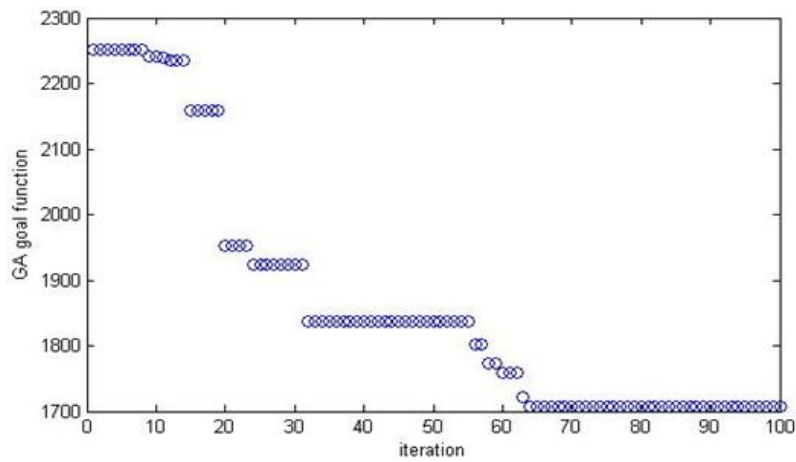
شکل ۶-۷- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۱



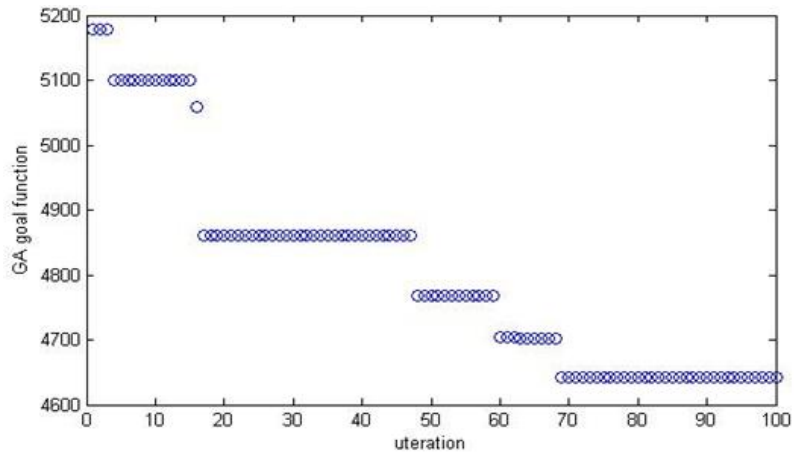
شکل ۶-۸- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۲



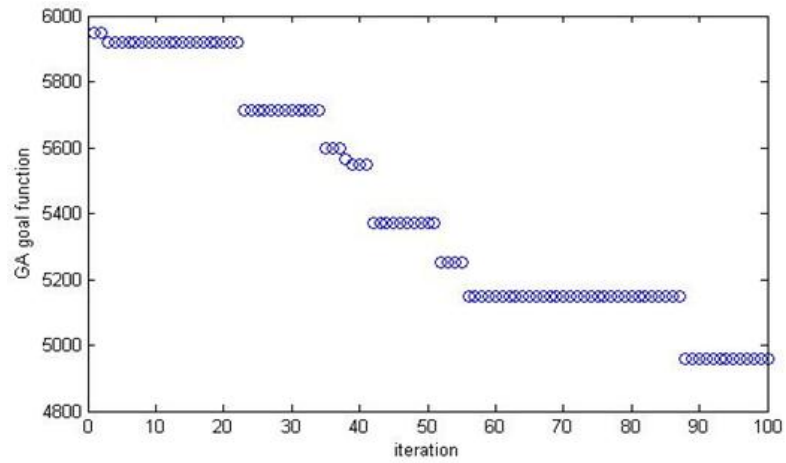
شکل ۶-۹- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۳



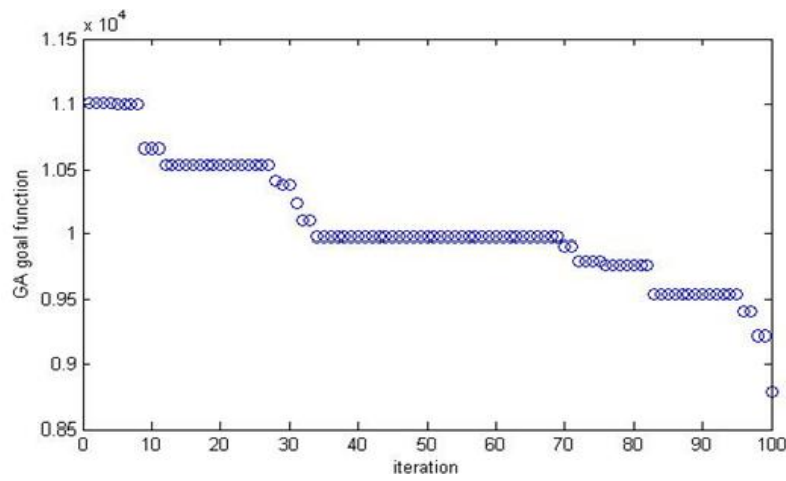
شکل ۶-۱۰- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۴



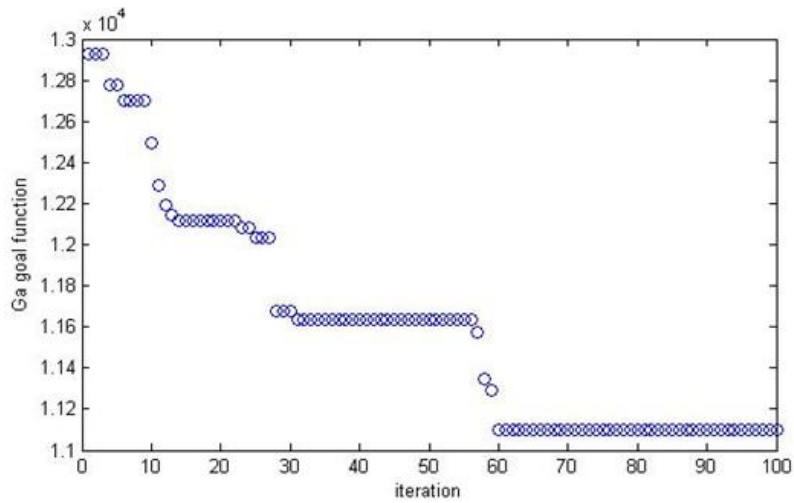
شکل ۶-۱۱- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۵



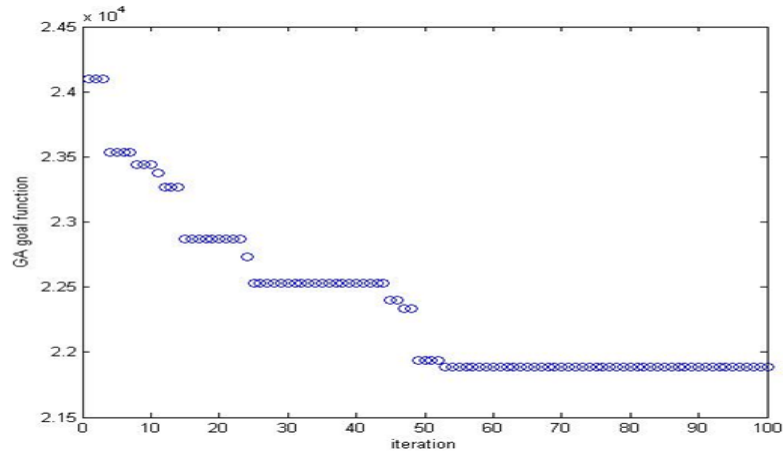
شکل ۶-۱۲- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۶



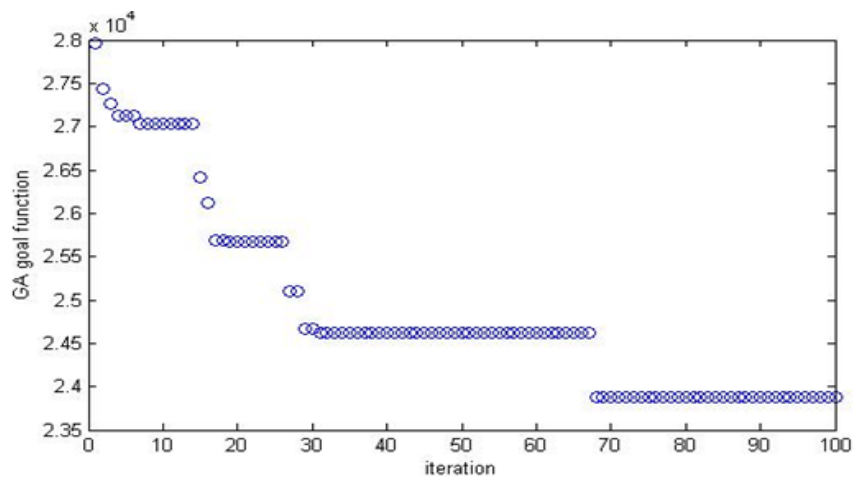
شکل ۶-۱۳- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۷



شکل ۶-۱۴- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۸



شکل ۶-۱۵- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۹



شکل ۶-۱۶- نمایش خروجی برنامه الگوریتم GA برای نمونه مسئله آزمایشی شماره ۱۰

۶-۴- نتیجه گیری

در این پایان نامه مدلی برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس به منظور جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی هنگام طراحی جداگانه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس، توسعه داده شده است. در این مدل کلیه پارامترهای غیر قطعی مسئله با استفاده از اعداد فازی تولید شده و از تکنیک برش لاندا برای تبدیل این اعداد فازی به بازه های قطعی و مدل سازی و حل برنامه ریزی بازه ای عدد صحیح آمیخته غیر خطی، استفاده شده است. همچنین مدل غیر خطی ارائه شده با استفاده از تکنیک های برنامه ریزی ریاضی به یک مدل خطی تبدیل می گردد. در نهایت به علت پیچیدگی بالای مدل مذکور و عدم امکان حل آن در اندازه های بزرگ با روش های دقیق، یک روش ابتکاری بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای حل آن پیشنهاد داده شده است. از ویژگی های برجسته این روش می توان به نمایش جواب بر اساس روش کدینگ اولویت محور و در نظر گرفتن تابع جریمه در تابع برازندگی به منظور حل مسائل محدودیت دار، اشاره کرد.

این مدل با در نظر گرفتن شرایطی که در ذیل به آن ها اشاره می گردد سعی در برطرف نمودن برخی از نواقص و کاستی های مدل های توسعه داده شده در ادبیات دارد:

✓ در نظر گرفتن کلیه رده های مربوط به R^3 و مراکز مشتریان محصولات بازیافت شده در لجستیک معکوس به منظور رفع مشکل مبتنی بر مورد بودن و عدم قابلیت تعمیم به کلیه حالات مدل های پیشین.

✓ در نظر گرفتن امکان تاسیس تسهیلات ترکیبی به منظور توجه به صرفه جویی حاصل از ادغام تسهیلات در جریان مستقیم و معکوس.

✓ در نظر گرفتن پارامترهای سیستمی و محیطی طراحی شبکه لجستیک یکپارچه به صورت غیر قطعی با هدف تطابق هر چه بیشتر مدل با واقعیت.

✓ اعمال محدود ظرفیت برای تسهیلات موجود در شبکه.

✓ امکان جریان یافتن همزمان چندین محصول در کانال های شبکه.

✓ در نظر گرفتن توابع هدفه متعارض موجود در طراحی شبکه لجستیک یکپارچه و توسعه یک مدل دو هدفه (مینیمم سازی هزینه های و ماکزیمم سازی سطح سرویس).

۶-۵- تحقیقات آتی

تحقیقات متنوعی در زمینه طراحی زنجیره تامین حلقه بسته غیر قطعی قابل بسط و توسعه می باشد که به عنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ در نظر گرفتن پارامترهای غیر قطعی محیطی / سیستمی دیگر مرتبط با طراحی زنجیره تامین.
- ✓ بکارگیری تکنیک های مختلف احتمالی و فازی جهت مدل سازی عدم قطعیت مسئله.
- ✓ در نظر گرفتن افق ها/ دوره های مختلف زمانی در مدل سازی ریاضی مسئله.
- ✓ در نظر گرفتن توابع هدف مربوط به ماکزیمم سازی پایداری شبکه و یا مینیمم سازی تاثیرات زیست محیطی در مدل.
- ✓ یکپارچگی سطوح تصمیم گیری استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی (یکپارچگی عمودی) در طراحی شبکه یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس (یکپارچگی افقی) به منظور جلوگیری از ایجاد زیر بهینگی.
- ✓ توسعه روش های حل ابتکاری و فرا ابتکاری قوی جهت تولید جواب هایی نزدیک به بهینه با درصد خطای کمتر.
- ✓ توسعه الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی در این تحقیق، با اعمال تغییراتی در نحوه تعیین ضرایب و تابع جریمه، عملگر های الگوریتم، کدینگ جواب و ...

- Ahmadi Javid, A., & Azad, N. (۲۰۱۰). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E*, ۴۶, ۵۸۲-۵۹۷.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., & Karaoglan, I. (۲۰۰۹). A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۶, ۵۲۱-۵۳۷.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., & Paksoy, T., (۲۰۰۶). A genetic algorithm approach for multi objective optimization of supply chain networks. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۱, ۱۹۷-۲۱۶.
- Amaro, A.C.S., & Barbosa-Póvoa, A.P.F.D. (۲۰۰۹). The effect of uncertainty on the optimal closed-loop supply chain planning under different partnerships structure. *J.Computers and Chemical Engineering*, ۳۳, ۲۱۴۴-۲۱۵۸.
- Amiri, A. (۲۰۰۶). Designing a distribution network in a supply chain system: formulation and efficient solution procedure. *European Journal of Operational Research*, ۱۷۱, ۵۶۷-۷۶.
- Aras, N., Aksen, D., & Tanugur, A.G. (۲۰۰۷). Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles, *European Journal of Operational Research*, In press paper, doi:۱۰.۱۰۱۶/j.ejor.۲۰۰۷.۰۸.۰۰۲.
- Aras, N., & Aksen, D. (۲۰۰۸). Locating collection centers for distance and incentive dependent returns. *International Journal of Production Economics*, ۱۱۱, ۳۱۶-۳۳۳.
- Azaron, A., Brown, K.N., Tarim, S.A., & Modarres, M. (۲۰۰۸). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. *Int. J. Production Economics*, ۱۱۶, ۱۲۹-۱۳۸.
- Barros, A.I., Dekker, R., & Scholten, V. (۱۹۹۸). A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research*, ۱۱۰, ۱۹۹-۲۱۴.
- Bellman, R.E., & Zadeh, L.A. (۱۹۷۰). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, ۱۷, ۱۴۱-۱۶۴.
- Bellman, R.E., & Zadeh, L.A. (۱۹۷۰) Decision making in a fuzzy environment. *Management Science*, ۱۷, ۱۴۱-۱۶۴.
- Bidhandi, H.M., Yusuff, R.M., Megat Ahmad, M.M.H., & Abu Bakar, M.R. (۲۰۰۹). Development of a new approach for deterministic supply chain network design. *European Journal of Operational Research*, ۱۹۸, ۱۲۱-۱۲۸.
- Cardona-Valdés, Y., Álvarez, A., & Ozdemir, D. (۲۰۱۰). A bi-objective supply chain design problem with uncertainty. *Transportation Research Part C*, xxx, xxx-xxx.
- Carlsson, C., & Fuller, R. (۲۰۰۱). On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and System*, ۱۲۲(۲), ۳۱۵-۳۲۶.

- Chopra, S. (2003). Designing the distribution network in a supply chain. *Transportation Research Part E*, 39, 123-130.
- Coello Coello, C.A. (2002). Theoretical and Numerical Constraint Handling Techniques used with Evolutionary Algorithms: A Survey of the State of the Art. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191(11-12):1240-1287.
- Coello Coello, C.A. & Pulido, G.T. (2000). Multi objective structural optimization using a micro genetic algorithm. *Struct Multidisc Optim*, 30, 388-403.
- Cruz-Rivera, R., & Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196, 930-939.
- Dasci, A., & Verter, V. (2001). A continuous model for production-distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 129, 278-298.
- Davila, E., & Chang, N. (2000). Sustainable pattern analysis of a publicly owned material recovery facility in a first-growing urban setting under uncertainty. *Journal of Environmental Management*, 50(2), 337-351.
- Davis, P. S., & Ray, T. L., (1969). A branch-and-bound algorithm for the capacitated facilities location problem. *Naval Research Logistics*, 16, 331-344.
- Dippon, J. (1998). Globally convergent stochastic optimization with optimal asymptotic distribution. *Journal of Applied Probability*, 35(2), 390-402.
- Doris, S., Cortés, C.E., & Núñez, A. (2008). Hybrid adaptive predictive control for the multi-vehicle dynamic pick-up and delivery problem based on genetic algorithms and fuzzy clustering. *Computers and Operations Research*, 35, 2412-248.
- Du, F., & Evans, G.W. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for postsale service'. *Computers & Operations Research*, 35, 2617-2634.
- Dubois, D., & Prade, H. (1987). The Mean Value of a Fuzzy Number. *Fuzzy Sets and Systems*, 24, 279-300.
- Dubois, D., Fargier, H., Fortemps, P. (2003). Fuzzy scheduling: modeling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge. *European Journal of Operational Research*, 147, 231-252.
- Fidler, B. (2000). Returns a cost of doing business? You need to hear this! Presentation at Genco Life Cycle Conference, Lake Tahoe, September.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., & Van Wassenhove, L.N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production & Operations Management*, 10, 106-123.
- Fleischmann, M., Bloemhof Ruwaard, J.M., Beullens, P., & Dekker, R. (2004). Reverse logistics network design, in: R. Dekker, M. Fleischmann, K. Inderfurth, L.N. Van

- Wassenhove (Eds.), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-loop Supply chains* Springer, Berlin, ٦٥-٩٤.
- Gan, R., Guo, Q., Chang, H., & Yi, Y. (٢٠١٠). Improved ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problems. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, Vol. ٢١, No. ٢, ٢٢٩-٢٣٣.
- Gen, M., & Cheng, R. (٢٠٠٠). *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*. John Wiley & Sons Inc.
- Gen, M., Altıparmak, F., & Lin, L. (٢٠٠٦). A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding. *OR Spectrum*, ٢٨, ٣٣٧-٣٥٤.
- Gen, M., & Cheng, R. (١٩٩٧). *Genetic algorithms and engineering design*. New York, Wiley.
- Goldberg, DE. (١٩٨٩). *Genetic algorithms in search optimization, and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Guillén, G., Mele, F.D., Bagajewicz, M.J., Espuña, A., & Puigjaner, L. (٢٠٠٥). Multi objective supply chain design under uncertainty. *Chemical Engineering Science*, ٦٠, ١٥٣٥ - ١٥٥٣.
- Gumus, A.T., Guneri, A.F., & Keles, S. (٢٠٠٩). Supply chain network design using an integrated neuro-fuzzy and MILP approach: A comparative design study. *Expert Systems with Applications*, ٣٦, ١٢٥٧٠-١٢٥٧٧.
- Ho, C. (١٩٨٩). Evaluating the impact of operating environments on MRP system nervousness. *International Journal of Production Research*, ٢٧, ١١١٥-١١٣٥.
- Holland, J. (١٩٧٥). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: university of Michigan Press.
- Ilgin, M.A., & Gupta, S.M. (٢٠١٠). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art". *Environmental Management*, ٩١, ٥٦٣-٥٩١.
- Inuiguchi, M., & Ramik, J. (٢٠٠٠). Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *Fuzzy Sets and Systems*, ١١١(١), ٣-٢٨.
- Jayaraman, V., Guide, V.D.R., & Srivastava, R. (١٩٩٩). Closed-loop logistics model for remanufacturing. *The Operational Research Society*, ٥٠, ٤٩٧-٥٠٨.
- Jayaraman V., & Pirkul H. (٢٠٠١). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, ١٣٣, ٣٩٤-٤٠٨.

- Jayaraman V., & Ross A. (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, 144, 729-740.
- Jiang, C., Han, X., Liu, G.R., & Liu, G.P. (2008). A nonlinear interval number programming method for uncertain optimization problems. *European Journal of Operational Research*, 188, 1-13.
- 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, 600-610.
- Ko, H.J., & Evans, G.W. (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. *Computers & Operations Research*, 34, 336-366.
- Konaka, A., Coitb, D.W., & Smithc, A.E. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 992-1007.
- Kongar, E. (2008). Performance measurement for supply chain management and evaluation criteria determination for reverse supply chain management. *Environmentally Conscious Manufacturing*, 6, 106-117.
- Krikke, H.R., Van Harten, A., & Schuur, P.C. (1999). Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers. *OR Spectrum*, 21, 381-399.
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., & Van Wassenhove, L.N. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *Int. J. prod. res.*, vol. 41, No. 16, 3689-3719.
- Krishnakumar, K. (1989). Micro-genetic algorithms for stationary and non-stationary function optimization. In: *SPIE proceedings: intelligent control and adaptive systems*, 289-96.
- Kumar, S., & Malegeant, P. (2006). Strategic alliance in a closed-loop supply chain, a case of manufacturer and eco-non-profit organization. *Technovation*, 26, 1127-1130.
- Kusumastuti, R.D., Piplani, R., & Lim, G.H. (2008). Redesigning closed-loop service network at a computer manufacturer: A case study. *International Journal of Production Economics*, 111, 244-260.
- Lai, Y.J., & Hwang, C.L. (1992). A new approach to some possibilistic linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 49, 121-133.
- Lee, D.H., & Dong, M. (2008). A heuristic approach to logistics network design for end of lease computer products recovery. *Transportation Research Part E*, 44, 400-414.
- Lee, D.H., & Dong, M. (2009). Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. *Transportation Research Part E*, 45, 61-71.

- Lee, D.H., Dong, M., & Bian, W. (۲۰۱۰). The design of sustainable logistics network under uncertainty. *International Journal of Production Economics*.
- Listes, O., & Dekker, R. (۲۰۰۵). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*, ۱۶۰, ۲۶۸–۲۸۷.
- Listes, O. (۲۰۰۷). A generic stochastic model for supply-and-return network design. *Computers & Operations Research*, ۳۴, ۴۱۷–۴۴۲.
- Mahnam, M., Yadollahpour, M.R., Famil-Dardashti, V., & Hejazi, S.R. (۲۰۰۹). Supply chain modeling in uncertain environment with bi-objective approach. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۶, ۱۰۳۵–۱۰۴۴.
- Meepetchdee, y., & Shah, N. (۲۰۰۷). Logistical network design with robustness and complexity considerations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, ۳۷, ۲۰۱–۲۲۲.
- Michalewicz, Z., & Janikow, C.Z. (۱۹۹۱). Handling constraints in genetic algorithms. In: Belew RK, Booker LB, editors. *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, ۱۵۱–۷.
- Melachrinoudis, E., Messac, A., & Minc, H. (۲۰۰۵). Consolidating a warehouse network: A physical programming approach. *International Journal of Production Economics*, ۹۷, ۱–۱۷.
- Min, H., Ko, H.J., & Ko, C.S. (۲۰۰۶a). A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns. *Omega*, ۳۴, ۵۶–۶۹.
- Min, H., Ko, C.S., & Ko, H.J. (۲۰۰۶b). The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۱, ۳۰۹–۳۲۰.
- Min, H., & Ko, H.J. (۲۰۰۸). The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. *International Journal of Production Economics*, ۱۱۳, ۱۷۶–۱۹۲.
- Miranda, P.A., & Garrido, R.A. (۲۰۰۴). Incorporating inventory control decisions in to a strategic distribution network design model with stochastic demand. *Transportation Research Part E*, ۴۰, ۱۸۳–۲۰۷.
- Moore, R.E. (۱۹۷۹). *Method and application of Interval Analysis*. SIAM, Philadelphia.
- Ishibuchi, H. & Murata, T. (۱۹۹۶). Multi-objective genetic local search algorithm. In *Proceedings of ۱۹۹۶ IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp. ۱۱۹–۱۲۴, IEEE: Piscataway, NJ.
- Mutha, A., & Pokharel, S. (۲۰۰۹). Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۶, ۳۳۴–۳۴۶.

- Pan, F., & Nagi, R. (2010). Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing. *Computers & Operations Research*, 37, 668-683.
- Pishvae, M.S., Jolai, F., & Razmi, J. (2010). A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design". *J. Manufacturing Systems*.
- Pishvae, M.S., & Torabi, S.A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain Network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*,
- Poirier, C. C. (2004). *Using models to improve the supply chain*. Boca Raton, FL: St. Lucie Press.
- Qin, Z., & Ji, X. (2010). Logistics network design for product recovery in fuzzy environment. *J. European Journal of Operational Research*, 202, 479-490.
- Rogers, D.S., & Tibben-Lembke, R. (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and practices"*. Reverse Logistics Executive Council.
- Sabri E.H., & Beamon, B.M. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega*, 28, 581-598.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., & Novais, A.Q. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077.
- Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., & Novais, A.Q. (2010). Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modeling framework. *European Journal of Operational Research*, 202, 336-349.
- Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., & Shapiro, A. (2005). A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 167, 96-110.
- Schultmann, F., & Engels, B. (2003). Rentz, O"losed-loop supply chains for spent batteries. *Interfaces*, 33, 57-71.
- Schütz, P., Tomasgard, A., & Ahmed, S. (2009). Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition. *European Journal of Operational Research*, 199, 409-419.
- Sengupta, A., Pal, T.K., & Chakraborty, D. (2001). Interpretation of inequality constraints involving interval coefficients and a solution to interval linear programming.
- Shear, H., Speh, T.W., & Stock, J. R. (2003). The warehousing link of reverse logistics. In Presented at the 26th annual warehousing education and research council conference, San Francisco, CA.
- Shen, Z.J.M. (2006). A profit-maximizing supply chain network design model with demand choice flexibility. *Operations Research Letters*, 34, 673 - 682.

- Shen, Z.M. (2007). Integrated supply chain design models: A survey and future research directions. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 3(1), 1-27.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2003). *Designing and managing the supply chain. Concepts, strategies, and case studies*, second ed., Boston.
- Smilowitz, K. R., & Daganzo, C. F. (2007). *Continuum Approximation Techniques for the Design of Integrated Package Distribution Systems* DOI 10.1002/net.20189 Published online in Wiley (www.interscience.wiley.com).
- Stadtler, H., Kilger, C. (2000). *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*. Springer, Berlin.
- Szöllös, A., Smíd, M., and Hájek, J. (2009). Aerodynamic optimization via multi objective micro-genetic algorithm with range adaptation, knowledge-based reinitialization, crowding and epsilon-dominance. *Advances in Engineering Software*, 40(6), 419-430.
- Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E., & Çetinkaya, S. (2007). Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model. *Naval Research Logistics*, 54, 890-907.
- Wang, Q., Fang, H., & Zou, X.K. (2010). Application of Micro-GA for optimal cost base isolation design of bridges subject to transient earthquake loads. *Struct Multidisc Optim*, 41, 760-777.
- Wang, H.F., & Hsu, H.W. (2010a). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm". *Computers & Operations Research*, 37, 376-389.
- Wang, H.F., & Hsu, H.W. (2010b). Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: An application to fuzzy linear programs with risk analysis. *Journal of Environmental Management*, xxx, 1-10.
- 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, 2022-2043.
- Xu, J., He, Y., & Gen, M. (2009). A class of random fuzzy programming and its application to supply chain design. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 937-950.
- Yan, H., Yu, Z., & Cheng, T.C. E. (2003). A strategic model for supply chain design with logical constraints: formulation and solution. *Computers & Operations Research*, 30, 2130-2150.
- Yeh, W.C. (2000). A hybrid heuristic algorithm for the multistage supply chain network Problem. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 26, 770-80.
- You, F., & Grossmann, L.E. (2008). Design of responsive supply chains under demand uncertainty. *Computers and Chemical Engineering*, 32, 3090-3111.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

Zadeh, L. (1975). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility". *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3-28.

Zadeh, L. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8 and 9, 199-249.

Zimmermann, H.J. (1983). *Fuzzy Set Theory and its Application*, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht; London.

منابع فارسی:

کوزه پزان دزفولی، امین، اصول تئوری مجموعه های فاززی و کاربردهای آن، چاپ اول، تهران: جهاد دانشگاهی صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۴.

شوندی، حسن، نظریه مجموعه های فاززی و کاربرد آن در مهندسی صنایع و مدیریت، چاپ اول، تهران: گسترش علوم پایه، ۱۳۸۵.

پیشوایی، میر سامان. "مدلی برای طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس در یک زنجیره تامین". پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۷.

پیوست: برنامه کد شده در نرم افزار