دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی صنایع

طراحی شبکه زنجیره تامین سبز تصادفی دومرحله‌ای در شرایط تجارت مجوزهای نشر آلودگی

نگارنده:

احمد رضایی

استاد راهنما:

دکتر فرزاد دهقانیان

استاد مشاور:

دکتر حسین تقی زاده

بهمن ماه ۱۳۹۲

چکیده

این پایان نامه به دنبال تحلیل تاثیر عدم قطعیت قیمت در مکانیسم تجارت مجوزهای نشر آلودگی و همچنین عدم قطعیت تقاضا،تاثیر مقدار بودجه و تاثیر سیاست‌ها زیست محیطی بر طراحی یک شبکه زنجیره تامین با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای است. تاثیر تغییرات قیمت مجوزهای نشر آلودگی، بودجه و سیاست‌های زیست محیطی بر طراحی شبکه در حالت غیر قطعی با انجام یک مطالعه موردی در کشور استرالیا بررسی خواهد شد.در انتها با استفاده از روش تخمین میانگین نمونه یک مدل با تعداد سناریو بالا حل میشود. نتایج نشان دهنده تغییر در توپولوژی شبکه و کاهش هزینه‌ها به دلیل استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی به نسبت برنامه‌ریزی قطعی است.

کلید واژه ها: طراحی شبکه زنجیره تامین، زنجیره تامین سبز، تجارت مجوزهای نشر آلودگی، برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای

فهرست مطالب

مقدمه ۱

طراحی شبکه زنجیره تامین ۴

۲-۱- شبکه زنجیره تامین ناب ۵

۲-۲- شبکه زنجیره تامین پاسخگو ۶

۲-۳- شبکه زنجیره تامین سبز ۶

برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ۷

۳-۱-مثال‌هایی از تصمیم‌گیری با پارامترهای غیرقطعی ۷

۳-۲- حل مسائل با پارامترهای غیرقطعی ۱۰

۳-۳- مدل ریاضی مسئله تصادفی دومرحله‌ای ۱۱

۳-۴- دشواری‌های حل مسائل تصادفی دومرحله‌ای ۱۱

۳-۵- مدل مبسوط ۱۲

۳-۶- مدل قطعی ۱۳

۳-۷- ارزش جواب تصادفی ۱۳

۳-۸- روش تخمین میانگین نمونه ۱۴

مرورادبیات ۱۶

تعریف مسئله ۱۹

۵-۱- تعریف پارامترهای مدل ۲۰

۵-۱-۱ اندیس‌ها ۲۰

۵-۱-۲- پارامترها ۲۰

۵-۲- متغیرهای مدل ۲۲

۵-۳- مدل تصادفی دومرحله‌ای ۲۲

مطالعه موردی ۲۶

۶-۱- اثر تغییرات قیمت مجوزهای نشرآلودگی ۲۷

۶-۱-۱- اثرتغییرات قیمت مجوزهای نشرآلودگی درحالت قطعی ۲۸

۶-۱-۲- اثر تغییرات قیمت مجوزهای نشرآلودگی درحالت غیرقطعی ۳۲
۶-۱-۳- ارزش جواب‌های تصادفی..... ۳۳
۶-۲- اثر تغییرات بودجه..... ۳۴
۶-۳- اثر استفاده ازسیاست‌های زیست محیطی ۴۲
۶-۳-۱- اثر سیاست‌های زیست محیطی بر زنجیره درحال بهره‌برداری ۴۲
۶-۳-۲- اثر سیاست‌های زیست محیطی بر طراحی شبکه زنجیره تامین ۴۴
۶-۴- حل مسئله با ابعاد بالا..... ۴۵
جمع بندی و پیشنهاد برای تحقیقات آتی ۴۸
مراجع..... ۴۹

فهرست جداول

جدول۶-۱- سناریوها ۲۷
جدول۶-۲- تغییرات توپولوژی در مدل قطعی به ازای افزایش قیمت مجوز های نشر آلودگی ۲۸
جدول۶-۳- جزئیات هر توپولوژی ۲۹
جدول۶-۴- تغییرات توپولوژی در مدل تصادفی به ازای افزایش قیمت مجوز نشر آلودگی (غیر قطعی) ۳۲
جدول۶-۵- ارزش جوابهای تصادفی ۳۴
جدول۶-۶- توپولوژی های مختلف شبکه ۳۵
جدول ۶-۷- جزئیات مربوط به هر توپولوژی ۳۷
جدول۶-۸- تاثیر بودجه بر میزان آلایندگی زنجیره ۳۹
جدول۶-۹- تاثیر بودجه بر هزینه های زنجیره ۴۰
جدول۶-۱۰- تاثیر سیاستهای زیستمحیطی بر زنجیره درحال بهرهبرداری ۴۳
جدول۶-۱۱- تاثیر سیاستهای زیستمحیطی بر زنجیره درحال طراحی ۴۴
جدول۶-۱۲- نتایج روش تخمین میانگین نمونه ۴۶
جدول۶-۱۳-توپولوژی روش تخمین میانگین نمونه ۴۷

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱- تصمیمات در طراحی شبکه زنجیره تامین ۵
شکل۲-۲- توابع هدف در طراحی شبکه زنجیره تامین ۶
شکل۵-۱- شبکه زنجیره تامین ۲۰
شکل۶-۱- مکانهای احداث کارخانجات و انبارها در توپولوژی۱ ..... ۳۰
شکل۶-۲- مکانهای احداث کارخانجات و انبارها در توپولوژی۲ ..... ۳۰
شکل۶-۳- مکانهای احداث کارخانجات و انبارها در توپولوژی۳ ..... ۳۱
شکل۶-۴- اثر قیمت مجوز نشر آلودگی بر میزان آلودگی (مدل قطعی) ۳۱
شکل۶-۵- تاثیر بودجه بر آلایندگی زنجیره ۳۵
شکل۶-۶- تاثیر قیمت مجوز نشر آلایندگی بر آلایندگی زنجیره ۳۸
شکل۶-۷- تغییرات تابع هدف ۴۱
شکل۶-۸- تاثیر بودجه بر مقدار تابع هدف ۴۱
شکل۶-۹-تغییرات تابع هدف ۴۵
شکل۶-۱۰- زمان حل مسائل تصادفی دومرحلهای ۴۶

فصل اول

مقدمه

طراحی شبکه زنجیره تامین[1] یک تصمیم اساسی در مدیریت زنجیره تامین[2] است که در سطح استراتژیک شامل تصمیم‌گیری در مورد تعداد، مکان، ظرفیت و نوع تکنولوژی کارخانجات و مراکز توزیع و در سطح تاکتیکی شامل تصمیم‌گیری در مورد جریان کالا و مواد اولیه و نحوه تخصیص کالا به مشتریان می-باشد[۱]. یک زنجیره شامل تامین‌کنندگان، کارخانجات، مراکز توزیع و مشتریان است به طوریکه با دریافت مواد اولیه و انجام عملیات ساخت، محصول نهایی را به دست مشتری می‌رساند. اجرای تصمیمات استراتژیک نیاز به صرفه هزینه‌های کلان دارد و تغییرات پس از ایجادکارخانجات و مراکز توزیع به سختی و با صرف هزینه‌های زیاد انجام‌پذیر خواهد بود. از این رو تصمیم‌های استراتژیک باید به گونه‌ای اخذ شوند که تا حد امکان با گذشت زمان و تغییر شرایط کمترین فاصله از وضعیت بهینه را بگیرند. انتخاب هدف و شناخت شرایط موجود و آینده سهم زیادی در اتخاذ بهتر تصمیم‌های استراتژیک دارد. هدفی که اغلب طراحان شبکه مورد توجه قرار می‌دهندحداقل کردن هزینه‌های شبکه است[۲] .

هزینه‌های شبکه زنجیره تامین شامل هزینه‌های استراتژیک (نظیر هزینه‌های ثابت ساخت کارخانجات و مراکز توزیع و هزینه خرید تکنولوژی تولید) و هزینه‌های تاکتیکی (نظیر هزینه‌های متغیر تولید و حمل‌و-نقل) است. قرار دادن این دو نوع هزینه در کنار هم باعث می شود متغیرها تصمیم تاکتیکی تحت تاثیر متغیرهای تصمیم استراتژیک قرار بگیرند. از این رو معمولا معادل سالیانه هزینه‌های استراتژیک در کنار هزینه‌های تاکتیکی مد نظر قرار گرفته است. علاوه بر اهداف اقتصادی میتوان اهداف دیگری را نیز در طراحی شبکه در نظر گرفت، یکی از اهدافی که در دهه‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است حداقل کردن آلودگی‌های زیست محیطی است.

[1] Supply chain network design
[2] Supply chain management

توجه به حداقل سازی آلودگی‌های زیست محیطی در کنار در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در طراحی زنجیره تامین باعث ظهور مفهوم طراحی شبکه زنجیره تامین سبز[1]شد که دو عامل از عوامل سه گانه توسعه پایدار[2]را دارا می‌باشد. در توسعه پایدار باید اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را به طور همزمان در نظر گرفت. حداقل‌سازی آلودگی هوا[۳]و جمع آوری محصولات و بازیافت در انتهای عمر مفید آنها[۴] نمونه‌هایی از اهداف زیست محیطی و توجه به تاثیر ایجاد یک کارخانه در رشد منطقه[۵] نمونه‌ای از اهداف اجتماعی هستند. در حوزه آلودگی هوا، مقالات به حداقل سازی آلودگی‌های ایجاد شده در بخش‌های تولید، تامین، انبارداری، لجستیک معکوس و توزیع پرداخته‌اند. در این پایان نامه به حداقل سازی آلودگی هوا در بخش‌های تولید، انبارداری و توزیع، تحت روش تجارت مجوز نشر آلودگی[3] خواهیم پرداخت که در آن بعضی از پارامترهای مسئله از عدم قطعیت برخوردار هستند.

تجارت مجوز نشر آلودگی یکی از مکانیسم‌های اقتصادی پیمان کیوتو[4] است.هدف این پیمان کاهش ۸ درصدی گازهای گلخانه‌ای تولید شده‌ی سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ است. برای کاهش هزینه‌های رسیدن به این هدف، طرح تجاری تحت عنوان بازار کربن[5] و یا تجارت مجوز نشر آلودگی به وجود آمد. دراین طرح برای هر شرکت یک حد مجاز تولید آلایندگی، به وسیله تخصیص مجوزهایی جهت انتشار آلودگی، تعریف می شود که شرکت‌ها اجازه خرید و فروش این مجوزها را دارند. هر شرکت مجاز است حداکثر به میزان مجوزهایی که دارد (بعد از خرید و فروش مجوزها) آلودگی تولید کند. پس هر شرکت باید تصمیم بگیرد که با صرف هزینه از تکنولوژی بهتری (از منظر زیست محیطی) برای تولید و حمل‌و-نقل استفاده کند و آلودگی خود را کاهش دهد و یا با خرید مجوز، نیاز خود را برطرف کند. با توجه به اینکه این خرید و فروش در بازار آزاد اتفاق می افتد، قیمت مجوزهای نشر آلودگی بر اساس عرضه و تقاضا تعیین می شوند و از عدم قطعیت بالایی برخوردار هستند.

[1] Green supply chain network design
[2] Sustainable development
[3] Emission trading
[4] Kyoto protocol
[5] Carbon market

اگر برای پارامتری از مدل چندین سناریو[1] وجود داشته باشد(غیر قطعی باشد)، یک روش برای حل مسئله قرار دادن امید ریاضی[2] پارامتر به جای آن و حل مسئله قطعی[3] است. جواب‌های بدست آمده در این حالت لزوما بهینه نیستند و حتی می توانند خیلی دور از جواب بهینه باشند و یا برای بعضی سناریوها نشدنی باشند[۶].برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها در تصمیم‌گیری می‌توان برای آن پارامترها، سناریوهای متفاوتی را جهت تحقق آنها در نظر گرفت و از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای[4] استفاده کرد.

در این پایان‌نامه بدنبال طراحی یک شبکه زنجیره تامین با هدف کمینه کردن هزینه‌های زنجیره و هزینه‌های تجارت مجوز نشر آلودگی خواهیم بود، که در آن قیمت مجوزهای نشر آلودگی غیرقطعی است. همچنین با توجه به اینکه بیشترین توجه در ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین در حالت غیر قطعی مربوط به عدم قطعیت تقاضا است[۷]، که نشان از اهمیت عدم قطعیت این پارامتر دارد، در این پایان‌نامه تقاضا نیز به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است.بدین منظور ابتدا در فصل دوم به بحث در مورد طراحی شبکه زنجیره تامین خواهیم پرداخت و در فصل سومتعاریف اولیه مبحثبرنامه‌ریزی تصادفی دو-مرحله‌ایبیان خواهد شد. در فصل چهارم مرور ادبیات استفاده از تجارت مجوز نشر آلودگی در طراحی شبکه و در نظر گرفتن عدم قطعیت در طراحی شبکه زنجیره تامین سبز میپردازیم. در فصل پنجم به تعریف مسئله و ارائه مدل تصادفی دومرحله‌ای خواهیم پرداخت. فصل ششم شامل انجام تحلیل‌هایی در مورد تاثیر تغییرات در شبکه، بر اجزاء شبکه است. فصل هفتمشامل جمع‌بندی و پیشنهاد برای تحقیق-های آتی است.

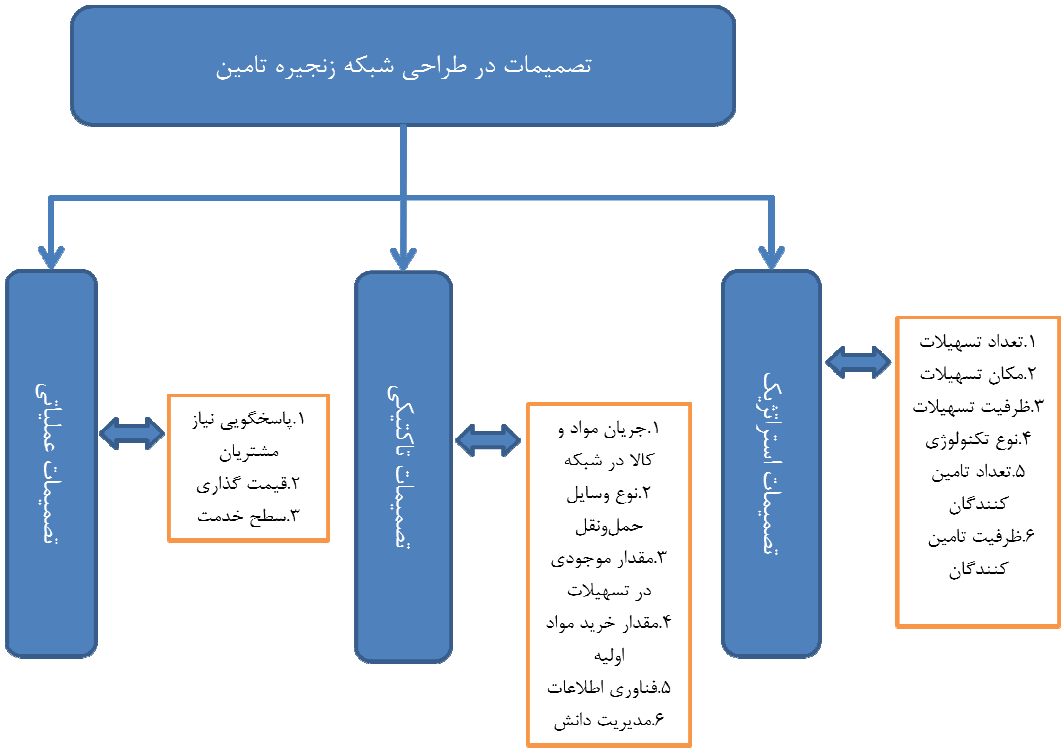
[1] Scenario
[2] Expected value
[3] Deterministic problem
[4] Two stage stochastic programming

فصل دوم

طراحی شبکه زنجیره تامین

شرایط رقابتی امروزه باعث تمایل سازمان‌ها به عضویت در زنجیره‌های تامین شده است. عضویت در یک زنجیره به سازمان کمک میکند تا بر تخصص اصلی خود تمرکز بیشتری داشته باشد، همچنین پاسخ سریعتری به تغییر نیازهای مشتریان بدهد و چابکی خود را افزایش دهد. هدف نهایی یک زنجیره تامین بهبود خصوصیات رقابتی کل زنجیره است[۸]. این هدف با یکپارچه‌سازی بخش‌های زنجیره و هماهنگی فعالیت‌های آنها قابل دسترسی خواهد بود. یکپارچه‌سازی بخش‌ها و مدیریت جریان مواد در این ساختار نقش مهمی در عملکرد زنجیره و قابلیت رقابتی آن دارد. طراحی شبکه زنجیره تامین یک تصمیم استراتژیک است که بر سایر تصمیم‌ها اثر میگذارد و بیشترین تاثیر را بر نرخ بازگشت سرمایه زنجیره و عملکرد کلی آن دارد [۹].

هدف طراحی شبکه زنجیره تامین طراحی ساختار یک شبکه با کارایی بالا (به طور مثال برای یک عضو جدید) و یا بازنگری یک شبکه موجود جهت افزایش ارزش کلی زنجیره است. در این بخش است که تصمیمات مختلفی در مورد تعداد سطوح زنجیره، مکان و ظرفیت تسهیلات و جریان کالا و یا مواد در طول شبکه بایستی اخذ شود که بخشی از این تصمیمات در طراحی شبکه زنجیره تامین پاسخ داده می-شوند. طراحی شبکه زنجیره تامین شامل سه سطح استراتژیک، تاتکیکی و عملیاتی است. شکل۲-۱ تصمیمات رایج در هر سطح را نشان میدهد.

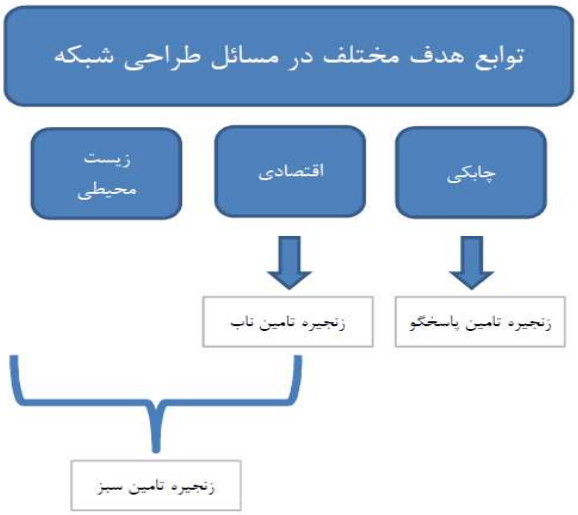


شکل۲-۱- تصمیمات در طراحی شبکه زنجیره تامین

در ادبیات طراحی شبکه زنجیره تامین مدل‌های بسیاری وجود دارد. اما هدف اغلب آنها کمینه کردن هزینه‌ها و یا بیشینه کردن سود است. اخیرا مسائل دیگری نیز در زمینه زنجیره تامین وارد شده‌اند که تابع هدف طراحی شبکه زنجیره تامین تحت هر کدام از این مسائل متفاوت خواهد بود. شکل۲-۲ توابع هدف طراحی شبکه زنجیره تامین را با توجه به این اهداف نشان میدهد.

۲-۱- شبکه زنجیره تامین ناب

از آنجایی که زنجیره تامین اساسا جهت تولید محصولات با هدف کاهش هزینه‌ها از طریق حذف فعالیت-های زائد توسعه یافته است، در نتیجه هدف طراحی شبکه زنجیره تامین در این مدل‌ها، کمینه کردن هزینه‌های کلی زنجیره است.مرجع[۱۰] مروری بر این این مدل‌ها در ادبیات موضوع دارد. وی مدل‌های مختلف را بر اساس تابع هدف و هزینه‌های عملیاتی که در مدل مورد توجه قرار گرفته است دسته‌بندی می‌کند. برای بررسی این مدل‌ها وی مدل مرجع[۱۱]را به عنوان مدل پایه در نظر می‌گیرد. و سایر مدل‌ها را توسعه‌ای از این مدل پایه می‌داند.



شکل۲-۲- توابع هدف در طراحی شبکه زنجیره تامین

۲-۲- شبکه زنجیره تامین پاسخگو

امروزه نیازها و انتظارات مشتریان سریعا تغییر می‌کند. در این تغییرات سازمان‌ها به تکنولوژی‌ها و استراتژی‌های جدید جهت بهبود پاسخگویی و افزایش انعطاف پذیری خود با حداقل هزینه نیاز دارند. بنابراین آنها بر روی توسعه زنجیره تامین پاسخگو جهت کاهش فاصله زمانی با بازارهای خود با حداقل هزینه تمرکز کرده‌اند. از این رو بایستی مفهوم تولید چابک و مدیریت زنجیره تامین برای رسیدن به این اهداف درهم آمیخته شوند. بر اساس نظر[۱۲] یک زنجیره تامین پاسخگو باید سه بخش اصلی زنجیره ارزش، فناوری اطلاعات و مدیریت دانش را داشته باشد.

۲-۳- شبکه زنجیره تامین سبز

هدف اصلی مدیریت زنجیره تامین سبز کاهش صدمات محیط زیست در کنار افزایش سود است. مدیریت زنجیره تامین سبز یعنی در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تامین که شامل طراحی محصولات، تامین و انتخاب مواد اولیه، فرایندهای تولید، تحویل کالا به مشتری و جمع‌آوری آن در انتهای عمر مفید کالا است [۱۳].

فصل سوم

برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای

در این فصل ابتدا مثال‌هایی از مدلسازی مسائل با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای بیان خواهد شد و سپس تعاریف اولیه برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای به صورت مختصر توضیح داده می‌شوند.

۳-۱-مثال‌های از تصمیم‌گیری با پارامترهای غیر قطعی

مثال یک:مونتاژ چند محصولی

حالتی را در نظر بگیرید که یک کارخانه n محصول را تولید میکند. در حالت کلی این n محصول از m جزء متفاوت تشکیل می‌شوند. یک واحد از محصول i به تعداد a_{ij} عدد از جزء j را نیاز دارد که $i=1,\dots,n$ و $j=1,\dots,m$ است. a_{ij} می‌تواند برای بعضی حالات صفر باشد که نشان می‌دهد از جزء j در محصول i استفاده نمی‌شود. تقاضا برای محصولات بر اساس بردار تصادفی $D = (D_1, \dots, D_n)$ است. قبل از اینکه مقدار بردار تقاضا مشخص شود صاحب کارخانه باید اجزا مورد نیاز خود را از تامین‌کننده خارجی تامین کند. هزینه تامین یک جزء j برابر c_j است. بعد از اینکه تقاضا مشخص شد صاحب کارخانه باید تصمیم بگیرد که کدام بخش از تقاضا را جواب دهد و در آن موقع نمی‌تواند تعداد اجزاء خریداری شده را افزایش دهد. هزینه تولید یک واحد از محصول i برابر l_i و سود حاصل از فروش آن برابر q_iخواهد بود. هر یک از اجزائی که بکار برده نشوند را میتوان با قیمت s_jبه فروش رساند$(s_j < c_j)$. تقاضای پاسخ داده نشده از دست خواهد رفت.

فرض کنید تعداد اجزای نوع j که سفارش داده میشوند برابر x_jباشند. پس از آنکه تقاضا مشخص شود باید تصمیم بگیریم که چه تعداد از هر محصول باید ساخته شود. تعداد محصول از نوع i که ساخته میشوند را با z_i و تعداد اجزاء باقی مانده را با y_j نمایش خواهیم داد. برای بردار تقاضای مشاهده شده d

از بردار تصادفی D میتوانیم برنامه تولید بهینه را با حل مسئله برنامه‌ریزی خطی زیر بدست آوریم $(d = (d_1, \dots, d_n))$

$$\begin{aligned} & min \sum_{i=1}^{n} (l_i - q_i)\, z_i - \sum_{j=1}^{m} s_j y_j \\ & s.t. \\ & y_j = x_j - \sum_{i=1}^{n} a_{ij} z_i \; j = 1, \dots, m \\ & 0 \le z_i \le d_i i = 1, \dots, n \\ & 0 \le y_j j = 1, \dots, m \end{aligned} \qquad (۱-۳)$$

همانطور که مشاهده می‌شود جواب مسئله فوق به بردار مشاهده شده d از بردار تصادفی D و بردار x بستگی دارد. فرض کنید تابع $Q(x, d)$ مقدار بهینه مسئله (۳-۱) باشد. مقادیر x_jکه باید تامین شوند از حل مسئله (۳-۲) بدست می‌آیند. در حالی که مقدار امید ریاضی، از تابع چگالی توزیع بردار تصادفی تقاضا محاسبه میشود.

$$min\, cx + \mathbb{E}(Q(x, D)) \qquad (۲-۳)$$

قسمت اول تابع هدف، هزینه تامین و قسمت دوم، امید ریاضی برنامه تولید بر اساس بردار x است.

مسائل (۳-۱) و (۳-۲) نمونه‌ای از یک مسئله برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای است که در آن به مسئله (۳-۱) مسئله مرحله دوم و به مسئله (۳-۲) مسئله مرحله اول می‌گویند. چون مسئله مرحله دوم شامل پارامترهای تصادفی است مقدار بهینه $Q(x, D)$ نیز یک متغیر تصادفی است.

در این مثال ما سه متغیر تصمیم داریم، تعداد اجزاء تامین شده (بردار x)، تعداد محصولات ساخته شده (بردارz) و تعداد اجزاء باقی مانده در انبار پس از تولید (بردارy). این متغیرها (تصمیم‌ها) به دو دسته

تصمیم‌های مرحله اول و تصمیم‌های مرحله دوم تقسیم می‌شوند. تصمیم‌های مرحله اول (بردارx) باید قبل از مشخص شدن پارامترهای تصادفی گرفته شوند، در نتیجه مستقل از پارامترهای تصادفی هستند و تصمیم‌های مرحله دوم (بردارهای yz) باید بعد از مشخص شدن پارامترهای تصادفی گرفته شوند و تابعی از پارامترهای تصادفی هستند. تصمیمات مرحله اول را معمولا تصمیمات here and now و تصمیمات مرحله دوم را wait and see می‌نامند.

مثال دو: مسئله مکانیابی-تخصیص

فرض کنیم در ماه فروردین می‌خواهیم تعدادی انبار جهت توزیع محصولات بین مشتریان را مکانیابی کنیم. پس از مکانیابی باید انبارها تاسیس شوند که این عمل شش ماه طول خواهد کشید. بعد از ساخت انبارها و شروع بهره‌برداری از آنها (در مهر ماه)، تقاضای مشتریان را به انبارها تخصیص خواهیم داد. فرض کنید تقاضای مشتریان بعد از شروع بهره‌برداری از انبار ها در مهرماه معلوم خواهد شد و در زمان تصمیم-گیری (فروردین ماه) برای انتخاب مکان‌های ایجاد انبارها فقط سناریوهایی با احتمال معین از تقاضا را داریم. در این مثال متغیرهای تصمیم مکانیابی انبارها متغیرهای مرحله اول و متغیرهای مربوط به تخصیص تقاضای مشتریان به انبارها متغیرهای مرحله دوم هستند.

برای حل این مساله میتوانیم در زمان تصمیم‌گیری برای ایجاد انبارها (فروردین ماه)، برای پارامتر تقاضای مشتریان میانگین آن پارامتر را قراردهیم و مساله مکانیابی-تخصیص مورد نظر را حل کنیم و با توجه به جواب‌های مربوط به مکان ایجاد انبارها، عمل نموده و انبارها را تاسیس کنیم. در واقع در این حالت فرض کرده‌ایم که تقاضا تا زمانی که شبکه توزیع در حال بهره‌برداری است ثابت و بدون تغییر و برابر همان مقدار میانگین خواهد ماند. چرا که اگر میزان تقاضا نسبت به میانگین تغییر کند این احتمال وجود دارد که مکانیابی بدست آمده دیگر بهینه نباشد. اگر پس از تاسیس شبکه (از مهر ماه به بعد) تقاضا نسبت به میانگین تغییر کند باید یک مساله تخصیص را حل کنیم تا تخصیص بهینه با توجه به شبکه

موجود بدست بیاید.در ادامه دو رویکرد برای حل مسائلی که تعدادی از پارامتر های آنها غیر قطعی است بررسی خواهد شد.

۳-۲- حل مسائل با پارامترهای غیر قطعی

فرض کنید که میخواهیم مثال دو (مسئله مکانیابی-تخصیص) بخش قبل را با دو رویکرد زیر حل کنیم، داریم:

رویکرد الف- قرار دادن امید ریاضی پارامترهای غیرقطعی به عنوان مقدار هر پارامتر و حل مدل به صورت قطعی

مسئله۳-۳ یک مدل قطعی است که در آن امید ریاضی تعدادی از پارامترها غیرقطعی بجای سناریوها مختلف آن پارامترها درمدل قرار داده شده است. امید ریاضی پارامتر b را با $E(b)$ نشان داده‌ایم.x و y بردار متغیرهای تصمیم، a و b بردار ضرایب تابع هدف و (h, h') بردار اعداد سمت راست محدودیت‌ها هستند و پارامترهای غیرقطعی (b, h') هستند.

$$\begin{aligned} \min \quad & ax + (E_s(b_s))y \\ s.t. \quad & Ax + By = h \\ & A'x + B'y = E_s(h'_s) \\ & x\,, y \geq 0 \end{aligned} \qquad (۳-۳)$$

رویکرد ب- حل مدل با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی

در این رویکرد برای تصمیم‌گیری در مورد مکانیابی تسهیلات به جای استفاده از امید ریاضی پارامترهای غیرقطعی از سناریوهای ممکن و احتمالات مربوط به آنها استفاده می‌شود. در این حالت با توجه به شرایط مساله می‌توان از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و یا برنامه‌ریزی احتمالی استفاده کرد. در ادامه مفاهیم اولیه برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای بیان می‌شود. خوانندگان علاقه‌مند به سایر روش‌های برنامه‌ریزی تصادفی می‌توانند به[۱۵] یا[۱۶] مراجعه کنند.

۳-۳- مدل ریاضی مسئله تصادفی دومرحله‌ای

یک مدل تصادفی دومرحله‌ای در حالت کلی به شکل زیر است[۱۵]:

$$\begin{aligned} \min z &= cx + E_s(Q(x, h_s, q_s)) \\ s.t. Ax &= b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \qquad (۴-۳)$$

به طوریکه برای هر سناریو داریم:

$$\begin{aligned} Q(x, h_s, q_s) &= \min q_s y_s \\ s.t. Wy_s &= h_s - Tx \\ y_s &\geq 0 \end{aligned} \qquad (۵-۳)$$

به مسئله۳-۴ مسئله مرحله اول[1] (به عنوان مثال مکانیابی) و به مسئله ۳-۵ مسئله مرحله دوم[2](به عنوان مثال تخصیص) می‌گویند. بردار x بردار متغیرهای تصمیم مرحله اول و بردار yکه برای هر سناریو تعریف میشودبردار متغیرهای تصمیم مرحله دوم هستند. توجه به این نکته ضروری است که بردار x در مسئله مرحله دوم متغیر تصمیم نبوده و به عنوان پارامتر است.s اندیس مربوط به هر سناریو و h اعداد سمت راست مسئله مرحله دوم هستند. $E_s(Q(x, h_s, q_s))$ امید ریاضی مقادیر تابع هدف مسائل مرحله دوم است. مقدار تابع هدف مسئله اول شامل هزینه‌های مرحله اول (به عنوان مثال هزینه تاسیس تسهیلات) و امید ریاضی مقادیر توابع هدف مسائل مرحله دوم است.

۳-۴- دشواری‌های حل مسائل تصادفی دومرحله‌ای

حل هر مسئله تصادفی دومرحله‌ای دارای سه سطح از مشکلات است[۱۷]:

سطح اول- حل مسئله مرحله دوم به ازای هر سناریو زمانبر و پیچیده باشد. در مورد این مشکل، در اکثر مقالات در ادبیات حل مسائل تصادفی دومرحله‌ای، فرض می‌شود که زمان حل مسئله دوم کم است.

[1] First stage problem
[2] Second stage problem

سطح دوم-بدست آوردن امید ریاضی مسائل مرحله دوم برای هر جواب شدنی مسئله مرحله اول زمانبر و یا نشدنی باشد.در این مورد برای کاهش پیچیدگی، تابع احتمال سناریوها را در صورتی که پیوسته باشد با تابعی گسسته تقریب میزنند، و اگر تابع احتمال سناریوها گسسته با تعداد سناریو بالا باشد میتوان از روش‌های کاهش سناریو[1] و یا نمونه‌برداری مونت کارلو[2] [۱۸] استفاده کرد.

سطح سوم-روش انتخاب جواب شدنی بعدی در حل مسئله مرحله اول برای رسیدن به جواب بهینه به چه صورت باشد. اکثر مقالات در ادبیات حل مسائل تصادفی به این زمینه مربوط میشود. برای فایق آمدن بر این مشکل می‌توان از روش‌های الگوریتم تجزیه بندرز[۱]، روش ال-شکل[3][۱۹] و روش‌های تجزیه دوگان[۲۰] استفاده کرد که هر روش دارای ادبیات موضوع خاص خودش است. شرایط مسئله در انتخاب روش حل بسیار تاثیر گذار است.

۳-۵- مدل مبسوط

اگر تعداد سناریوها در مدل تصادفی دومرحله‌ای کم باشد می‌توان به جای حل مدل دومرحله‌ای، مدل مبسوط[4] معادل (مسئله (۳-۶)) آنرا حل کرد. مدل مبسوط معادل مدل تصادفی دومرحله‌ایقبل به شکل زیر است که از ترکیب مسائل (۳-۲) و (۳-۳) در یک مدل و انجام اصلاحات جزئی مورد نیاز، بدست می‌آید[۹].

$$\begin{gathered} \min cx + \sum_s p_s q_s y_s \\ s.t. Ax = b \\ Tx + Wy_s = h_s s = 1, \dots, k \\ x \geq 0 \quad , \quad y_s \geq 0 \quad s = 1, \dots, k \end{gathered} \qquad (۶-۳)$$

[1] Scenario reduction
[2] Monte Carlo sampling
[3] L-shaped
[4] Extensive

۳-۶- مدل قطعی

در این مسئله امید ریاضی هر پارامتر غیر قطعی به جای آن پارامتر در مدل قرار گرفته است[۱۵]. در واقع اینطور فرض کرده ایم که مسئله فقط یک سناریو دارد و در آن سناریو پارامترهای غیرقطعی مقدار میانگین خود را میگیرند.

$$\begin{gathered} \min cx + E_s(q_s)y \\ s.t. Ax = b \\ Tx + Wy = E_s(h_s) \\ x\,, y \geq 0 \end{gathered} \qquad (۳-۷)$$

۳-۷- ارزش جواب تصادفی

مقدار تابع هدف مسئله تصادفی دومرحله‌ای بهتر و یا برابر با مقدار تابع هدف مسئله قطعی است[۱۵]. مقدار بهبود تابع هدف در صورت استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی به جای استفاده از برنامه‌ریزی قطعی را ارزش جواب تصادفی[1] می‌گویند.روش محاسبه این مقدار که همواره در یک مساله کمینه‌سازی بزرگتر یا مساوی صفر است به شرح زیر می‌باشد[۱۵]:

مسئله قطعی را حل کنید. با استفاده از جواب مربوط به متغیرها مرحله اول در مسئله قطعی (متغیرهای x)، مسائل مرحله دوم (مسئله ۳-۵) مربوط به هر سناریو را حل کنید. مجموع امید ریاضیهزینه‌های مسائل مرحله دوم و هزینهمرحله اول برابر هزینهاستفاده از مسئله قطعی است (هزینه استفاده از رویکرد الف بخش ۳-۲).

اختلاف هزینه فوق با مقدار تابع هدف مسئلهبرنامه‌ریزی تصادفی برابر ارزش جواب تصادفی است.

[1] Value of stochastic solution

۳-۸- روش تخمین میانگین نمونه

یکی از روش‌های نمونه‌برداری مونت کارلو روش تخمین میانگین نمونه[1] است. ایده کلی این روش، حل چند مسئله تصادفی با تعداد سناریو کم به جای حل مسئله تصادفی اصلی با تعداد سناریو زیاد است. الگوریتم این روش به شرح زیر است[۱۸],[۱]:

گام اول:Mمجوعه که هر کدام شامل Nسناریو استرا از بین کل سناریوها انتخاب کنید (اگر تعداد سناریو-ها زیاد باشد،M مرتبهN سناریو به صورت تصادفی تولید می شوند.)،سپسM مسئله تصادفی دومرحله-ای(که هر کدام شامل N سناریو است) تشکیل دهید.

گام دوم: M مسئله تصادفی را حل و مقدار بهینه تابع هدف (v_m) و بردار جواب بهینه هر مسئله را بدست آورید. میانگین مقادیر توابع هدف$(\bar{v}_m)$حد پایین مقدار تابع هدف مسئله اصلی است (با این فرض که مسئله تصادفی دومرحله‌ای مینیمم سازی است.).

همچنین مقدار واریانس حد پایین برابر است با :

$$\frac{1}{(M-1)M}\sum_m (v_m - \bar{v}_m)^2$$

گام سوم: حل مسئله مرحله دوم (به عنوان مثال مسئله تخصیص) با N' سناریو به ازای جواب مرحله اول (به عنوان مثال مسئله مکانیابی) یکی از M مسئلهگام دوم (و یا هر جواب شدنی). مقدار حاصل یک حد بالا برای تابع هدف مسئله اصلی است. می‌توان مسئله مرحله دوم با N' سناریو را برای تمام مسائل گام دوم حل کرد و بهترین حد را به عنوان حد بالای مسئله مینیمم سازی انتخاب نمود. سناریوهای مربوط به مجموعه N' باید مستقل از سناریوهای مجموعه N مربوطه باشند.

$(\bar{x})$:جواب مرحله اول یکی از مسائل گام دوم

$Q(\bar{x}, h_s, q_s)$: مقدار تابع هدف مسئله مرحله دوم مربوط به سناریو s ام

$(\bar{f})$: حد بالای مسئله مینیمم سازی

[1] Sample average approximation

$$\bar{f} = cx + \frac{1}{N'}\sum_{n'} Q(\bar{x}, h_s, q_s)$$

مقدار واریانس حد بالا برابر است با :

$$\frac{1}{(N'-1)N'}\sum_{n'}(c\bar{x} + Q(x, h_s, q_s) - \bar{f})^2$$

مقدار واریانس کل برابر مجموع واریانس‌های حد پایین و بالا است.

اگر تفاوت بین حد بالا و پایین و همچنین مقدار واریانس کل به اندازه کافی کم نبود مقدار N و یا N' و یا هردو را افزایش داده و به گام اول برمیگردیم در غیر این صورت جوابی که در گام سوم برای محاسبه حد بالا انتخاب شد را به عنوان بهترین جواب بدست آمده انتخاب می‌کنیم.