

بازطراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظرگیری تصمیمات مسیریابی

زهرا آزاده رنجبر^۱، علی بزرگی امیری^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۹

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱

چکیده

با توجه به وجود تغییرات در شرایط هر زنجیره تأمین، امکان نابهینه شدن طراحی‌های اولیه شبکه‌های زنجیره تأمین وجود دارد. این تغییرات می‌تواند به دلایل گوناگونی مانند تغییر در مقدار یا مکان تقاضا، تغییر در تأمین‌کنندگان، هزینه‌ها، مالیات‌ها و قوانین دولتی باشد؛ بنابراین برای منطبق شدن با شرایط جدید لازم است با طراحی مجدد شبکه‌ها، به شکل بهینه جدید آن‌ها دست‌یابیم. این مقاله یک مدل ریاضی جدید برای مسئله طراحی مجدد زنجیره تأمین ارائه می‌کند. با توجه به اینکه حمل‌ونقل محصولات یکی از مشکلات اصلی نمونه‌های دنیای واقعی است، محدودیت‌های مسیریابی در هر سطح زنجیره در مدل لحاظ شده‌اند. همچنین یک ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن و دارای ظرفیت مشخص، در یک سیستم ارسال گسسته تقاضا، اقدام به ارضای تقاضای انبارها در سطح اول و ارضای تقاضای مشتریان در سطح دوم می‌کند. علاوه بر این، به دلیل وجود محدودیت در ظرفیت تولید کارخانه‌ها، زنجیره بخشی از تقاضا که بیشتر از ظرفیت تولید است، از طریق برون‌سپاری تأمین می‌شود؛ تقاضای برون‌سپاری شده به‌طور مستقیم به انبار منتقل می‌شود. مدل از طریق یک مثال عددی، با حل از طریق سروهای قوی یک سایت حل بهینه مسائل ریاضی، صحت‌سنجی شده و با تحلیل میزان حساسیت مدل نسبت به برخی پارامترها، تغییرات حاصل بر روی هزینه و شکل جدید زنجیره موردبررسی قرار می‌گیرد. در پایان، نتیجه کاملی مبنی بر لزوم در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل و مسیریابی

گرفته شده و اهمیت در نظر داشتن برون‌سپاری، سایر هزینه‌ها و سودهای ایجادشده‌ی بحث بازطراحی بررسی می‌شود.

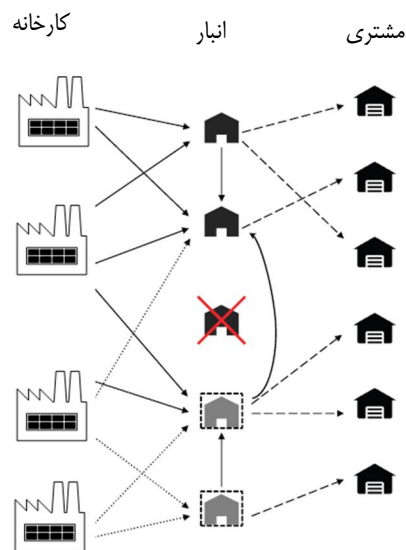
واژگان کلیدی: بازطراحی زنجیره تأمین، مسیریابی، برون‌سپاری، ارسال گسسته.

۱- مقدمه

با گسترش تولید در سطح جهانی و افزایش توجه به زنجیره تأمین، در این عرصه رویکردهای جدید و متنوعی به‌منظور بهره‌وری بیشتر و ایجاد مزیت رقابتی و توسعه کسب‌وکار ایجاد شده است [۱]. شاید مهم‌ترین رویکرد برای حفظ همیشگی مزیت رقابتی، بهینه‌نگه‌داشتن شرایط زنجیره در طول زمان باشد. این امر گرچه ساده به نظر می‌رسد، اما با توجه به تغییر شرایط در طول زمان، راحت نیست. سرعت رشد تجارت جهانی و تغییرات سریع عوامل بازار موجب حساس شدن مدیران به محیط پیچیده خود به‌منظور هماهنگی برنامه‌های سازمان با این پیچیدگی‌ها شده است و سطحی‌نگری به آن موجب ایجاد تصمیم‌های پرهزینه و گاهی غیرقابل‌جبران برای سازمان خواهد شد [۲]. بنابراین مدیران زنجیره‌های تأمین باید نسبت به تغییرات محیطی که در آن رقابت می‌کنند آگاهی داشته باشند و برای ایجاد هر بهبودی در شرایط زنجیره آمادگی داشته باشند؛ چراکه هدف از مدیریت زنجیره تأمین، بهبود فعالیت‌های مختلف اجزا و سطوح یک زنجیره به‌منظور بهبود وضع کلی سیستم زنجیره تأمین است [۳].

با گذشت زمان مشاهده می‌شود که گاهی پس از چند سال، شبکه‌ای که در ابتدا بهینه بود، کارایی اولیه خود را ندارد. عوامل گوناگونی ازجمله افزایش تقاضا در بازارهای جدید یا کاهش تقاضا در بازارهای قبلی، تغییر محل مشتریان یا تأمین‌کنندگان، تغییر شرایط رقابتی مناطق مختلف، تغییر قوانین دولتی، نوسانات هزینه‌های شبکه از قبیل هزینه‌های حمل‌ونقل، انبارداری، تولید و مالیات منطقه‌ای باعث می‌شوند مکان‌یابی‌های صورت گرفته برای کارخانه‌ها یا انبارها و یا سایر سطوح زنجیره، دیگر در حالت بهینه نباشند [۴]. بنابراین با توجه به شرایط جدید لازم است مکان‌یابی‌ها یا تصمیمات مربوط به مسیریابی و نگهداری موجودی و... تغییر کنند. به‌این‌ترتیب، بحث طراحی مجدد زنجیره‌های تأمین ایجاد شد.

همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، در مسائل بازطراحی شبکه مشخص می‌شود که چه تسهیلی باز یا بسته شود، چه تسهیلاتی باقی بمانند و ظرفیت چه تسهیلاتی باهم ادغام شوند (ظرفیت می‌تواند شامل ظرفیت فیزیکی، تعداد نیروی انسانی، تعداد تجهیزات تولیدی، مقدار توان تولیدی و... باشد که بنا به صنعت تحت بررسی می‌توان تعریف دقیقی از این ظرفیت ارائه نمود). در این شرایط هزینه‌های بستن و ادغام تسهیلات و یا تأسیس تسهیلات جدید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چراکه این عوامل نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل جدید زنجیره تأمین خواهند داشت؛ اما پیدا کردن تمامی عوامل تأثیرگذار در این مسئله کار ساده‌ای نیست. برخی از این عوامل تأثیرگذار نقش غیرمستقیمی در تغییر هزینه‌ها دارند که ممکن است توجه مدیران را به خود جلب نکنند. همچنین ممکن است برخی از این عوامل گرچه تأثیر مستقیمی دارند، اما چندان بزرگ و محسوس به نظر نیایند؛ درحالی‌که در نظر گرفتن مجموعه‌ای از این عوامل کوچک و بزرگ می‌تواند تغییر ملموس و مشخصی در شکل جدید زنجیره ایجاد نماید. به‌طور مثال، یکی از عواملی که تاکنون از چشم محققان پنهان مانده است، تأثیر بحث هزینه‌های حمل‌ونقل و مسیریابی در بازطراحی زنجیره تأمین است.



شکل ۱ شمای کلی بازطراحی یک زنجیره تأمین

در این مقاله، یک مدل برنامه عدد صحیح مختلط برای مسئله بازطراحی زنجیره تأمین ارائه شده است که تصمیمات باز و بسته شدن انبارها، ادغام ظرفیت انبارها، مسیریابی وسایل نقلیه و برون‌سپاری را به‌طور توأمان در نظر می‌گیرد. هدف مدل پیشنهادی شامل کمینه‌سازی هزینه‌های بازطراحی، مسیریابی و هزینه‌های عملیاتی است. همچنین ناوگان حمل‌ونقل، ناهمگن و دارای محدودیت ظرفیت در نظر گرفته شده است. امکان برون‌سپاری برای تأمین تقاضاهایی است که بیش از ظرفیت تولید کارخانه‌های درون زنجیره هستند. به جهت کاهش مسیرها در بحث مسیریابی، امکان تغذیه هر مشتری از چندین انبار و همچنین امکان تغذیه هر انبار از چندین کارخانه در مدل پیشنهادی در نظر گرفته است (ارسال گسسته).

در ادامه، مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم به بررسی نحوه پیدایش بحث بازطراحی زنجیره‌های تأمین و مرور ادبیات این حوزه و بیان شکاف‌های تحقیقاتی پرداخته می‌شود. در بخش سوم، مسئله موردبررسی تشریح و مدل‌سازی می‌شود. سپس در بخش چهارم با ارائه مثال عددی، برگرفته از مطالعه موردی، به کاربردپذیری مدل پیشنهادی و تحلیل حساسیت پرداخته می‌شود. در پایان، نتایج حاصل از کار ارائه و بر اساس تحقیق صورت گرفته، نکات مفیدی جهت اجرای بازطراحی توسط مدیران زنجیره‌های تأمین مطرح شده است.

۲- مرور ادبیات

مین و ملاکرینودیس برای نخستین بار، در سال ۱۹۹۹، تحقیقی برای مسئله واقعی انجام دادند. هدف، تغییر مکان یک تسهیل از غرب آمریکا به شرق آمریکا به منظور جلوگیری از تمرکز در غرب است. مکان جدید تسهیل باید به‌گونه‌ای باشد که ارسال کالا به سرعت انجام شود و نزدیکی به راه‌های دریایی، جاده‌ای و ریلی از اهداف شرکت است [۵]. ملاکرینودیس و مین در سال ۲۰۰۰ هم مدلی با هدف تعیین زمان انتقال و محل مناسب یک تسهیل موجود ارائه کردند [۶]. آن‌ها در سال ۲۰۰۵ نیز مدل تک‌دوره‌ای، چندهدفه را با استفاده از برنامه‌ریزی فیزیکی خطی توسعه دادند که امکان ادغام انبارهای موجود با یکدیگر، تعطیل کردن انبارهای مازاد یا تصمیم‌گیری درباره باقی ماندن انبارهای فعلی وجود داشت ولی امکان احداث انبار جدید وجود نداشت [۷]. در سال ۲۰۰۷، مین و ملاکرینودیس مدل تک‌هدفه و تک‌دوره‌ای را ارائه

کردند که در آن امکان انتقال ظرفیت به صورت کامل از انبارهای موجود به انبارهای جدید وجود داشت. [۴].

در سال ۲۰۰۶، ملو و همکاران مدل پویای مکان‌یابی مجدد در مسئله طراحی زنجیره تأمین را ارائه کردند که در آن انواع تسهیلات، اعم از کارخانه، انبار و مشتری، یکسان در نظر گرفته شده است؛ به عبارت دیگر امکان انتقال مستقیم از کارخانه به مشتری و امکان انتقال کالا در تسهیلات یک سطح از زنجیره وجود دارد [۸]. آن‌ها در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴، روش‌هایی برای مدل خود ارائه نمودند [۹، ۱۰]. رضایی و بشیری در سال ۲۰۱۲ مقاله‌ای به چاپ رساندند که هدف آن، ارائه روشی است که با استفاده از کوله‌پشتی احتمالی، ابزار تحلیلی مناسبی برای ارزیابی ارتباط بین افزایش ریسک و کاهش هزینه‌ها باشد [۱۱]. کیا و داوود پور، سال ۲۰۱۲ و رضایی و بشیری در سال ۲۰۱۳ مسئله بازطراحی شبکه انبارها را در حالت وجود عدم قطعیت در تقاضا و هزینه‌های عملیاتی بررسی کردند. در این مقالات از روش تقریب میانگین نمونه و ادغام آن با روش تجزیه بندرز استفاده شده است [۱۲، ۱۳]. در سال ۲۰۱۳، رزمی و همکاران بحث قابلیت اطمینان و اختلال را در بحث بازطراحی در نظر گرفتند. آن‌ها یک زمان تحویل دهی مورد انتظار و یک زمان تحویل دهی ارجح را نیز برای هر مشتری مطرح کردند که این زمان‌ها وابسته به اهمیت مشتری برای زنجیره و همچنین زمان درخواست مشتری است. این مسئله به صورت دوهدفه ارائه شده و با روش اپسیلون کانسترتینت حل شده است [۱۴].

صحرائیان و همکاران نیز در سال ۲۰۱۳، رویکرد قابلیت اطمینان در بازطراحی شبکه بر اساس مفاهیم شبیه‌سازی و شبکه عصبی مصنوعی را مورد مطالعه قرار دادند؛ به عبارت دیگر، به دلیل بودجه محدود برای بازطراحی انبارها، احتمال شکست برای اتخاذ تصمیمات استوار به منظور پیکربندی زنجیره تأمین در آینده تعیین شده است. در این مقاله از شبکه‌های مصنوعی عصبی استفاده شده است [۱۵].

همچنین لی و همکاران (۲۰۱۲)، خاتمی و همکاران و بینگ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی موضوع بازطراحی در زنجیره تأمین‌های معکوس و یا حلقه بسته پرداخته‌اند [۱۶، ۱۷، ۱۸]. مارتینز و همکاران هم در سال ۲۰۱۶ به بازطراحی یک زنجیره تأمین بشردوستانه انتقال مواد غذایی پرداخته‌اند که در واقع به بستن، باز کردن و افزایش ظرفیت انبارها محدود شده و ادغام آن‌ها را در بر نمی‌گیرد. در این زنجیره چندسطحی و چندمحصولی، بازطراحی طی دوره‌های زمانی صورت می‌گیرد و سه

هدف دنبال می‌شود: کاهش هزینه، کاهش تأثیرات منفی بر محیط و افزایش عدل اجتماعی. همچنین محصولات از طریق وسایل نقلیه متفاوت در میان مبدأ و مقصدهایی با هزینه مشخص و ثابت حمل می‌شود [۱۹].

یکی از نکاتی که با مطالعه مقالات موجود در زمینه بازطراحی مورد توجه قرار می‌گیرد، موضوع نحوه تخصیص انبارها به مشتریان است که در عمده این مقالات به دو شیوه مشخص شده است که کدام انبار کدام مشتری را خدمت‌رسانی کند:

۱. ماتریس پوشش: با یک ماتریس با داده‌های صفر و یک مشخص می‌شود که کدام انبارها می‌توانند به کدام مشتری‌ها خدمات دهند. سپس با کمینه کردن هزینه‌ها تخصیص مشتری‌ها به انبارها مشخص می‌شود (به‌طور مثال در مقالات بشیری و رضایی ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ از این روش استفاده شده است [۱۱، ۱۳]).

۲. تعیین هزینه: در این حالت، برای رابطه هر انبار با هر مشتری مقدار هزینه مشخصی در نظر گرفته می‌شود؛ در نتیجه، با مدل‌سازی و کمینه کردن هزینه‌ها، ارتباطات انبار-مشتری که هزینه کل را کمینه می‌کنند، انتخاب شده و در نتیجه، مشخص می‌شود که کدام انبار به کدام مشتری خدمات دهد (به‌طور مثال در مقالات کورتینهال ۲۰۱۴ و تمام مقالات ملو و همکاران از این روش استفاده شده است [۲۰، ۸، ۹، ۱۰]).

درواقع، آنچه در این روش‌ها مشترک است، در نظر گرفتن انتقال مستقیم کالاها از انبار به مشتری و بازگشت وسیله نقلیه به کارخانه است؛ درحالی‌که در دنیای واقعی، انتخاب راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر آن است که هر بار انتقال کالا از انبار به سمت مشتری‌ها، به‌صورت عمده‌تر یا به عبارتی از طریق مسیریابی صورت پذیرد تا هزینه‌های حمل‌ونقل کمتری به زنجیره تحمیل شود.

بنابراین در این مقاله تلاش می‌شود تا با ادغام بحث مسیریابی و موضوع بازطراحی قدمی در راستای کاربردی‌تر شدن این مسئله برداشته شود. به‌ویژه که در نظر گرفتن مسیریابی علاوه بر بحث کاهش هزینه‌ها، در انتخاب انبارهایی که باید باز یا بسته شده و یا باهم ادغام شوند نیز تأثیرگذار خواهد بود، چراکه لزوم نزدیک بودن یک انبار به یک مشتری تا حدی می‌تواند کاهش یابد.

همچنین به جهت کاهش تعداد مسیرهای بحث مسیریابی و استفاده بهینه از ظرفیت کارخانه‌ها و انبارها لزوم وارد شدن بحث ارسال گسسته حس می‌شود؛ چراکه مجبور نیستیم تمام تقاضا را (برای انبار در سطح اول یا برای مشتری در سطح دوم) تنها از یک منبع برآورده نماییم. این موضوع کمک می‌کند، تا حد امکان، بخش عمده‌ای

بازطراحی شبکه زنجیره تأمین با در ... _____ زهرا آزاده رنجبر و همکار

از تقاضاها از طریق تولیدات داخلی کارخانه‌های مختلف زنجیره، تأمین شود. از سوی دیگر برای ارضای تقاضاهایی که بیش از توان تولیدات زنجیره هستند، امکان برون‌سپاری می‌تواند کمک کند تا جلوی مواجهه با کمبود گرفته شود. با توجه به بررسی‌های جامع به‌عمل‌آمده، آنچه مقاله حاضر را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد، شامل:

- در نظر گرفتن بحث مسیریابی و تأثیر آن بر بازطراحی شبکه زنجیره تأمین؛
 - در نظر گرفتن امکان برون‌سپاری برای تأمین تقاضاهای بیش از ظرفیت تولید؛
 - در نظرگیری ناوگان حمل‌ناهمگن و دارای محدودیت ظرفیت جهت حمل محصولات؛
 - امکان ارسال گسسته تقاضا برای مشتریان و همچنین برای انبارها (امکان تغذیه هر مشتری از چند انبار و هر انبار از چند کارخانه)؛
- با ورود این موارد به بحث بازطراحی می‌توان کمکی به نزدیک شدن تئوری و واقعیت کرد.

۳- تعریف مسئله

مراحل انجام این تحقیق در شکل ۲ نشان داده می‌شود.



شکل ۲ مراحل انجام تحقیق

در این بخش، به ارائه مدل ریاضی جدید برای مسئله بازطراحی انبارها با در نظر گرفتن مسیریابی پرداخته می‌شود. در مدل پیشنهادی، ارتباط حمل‌ونقلی انبارها با هر دو سوی زنجیره در نظر گرفته شده است (شکل ۱)؛ یعنی هم کارخانه تا انبار و هم انبار تا مشتری. این امر سبب می‌شود تا مکان‌یابی مجدد انبارها با دید وسیع‌تری صورت گرفته و عوامل مؤثر بر آن با دقت بیشتری به مدل وارد شود. همچنین با توجه به محدودیت ظرفیت تولید کارخانه‌ها، این امکان وجود دارد که گاهی تقاضا بیش از توان تولید زنجیره باشد؛ بنابراین بخشی از تقاضا به وسیله خرید از بازار (برای مثال سایر کارخانه‌ها) تأمین شود. در ادامه مهم‌ترین فرضیات مسئله بیان شده است:

۳-۱- فرضیات مسئله

- امکان انتقال ظرفیت از هر یک از انبارهای موجود به هر یک از انبارهای موجود دیگر که باقی بمانند یا هر یک از انبارهای جدیدی که تأسیس می‌شوند، وجود دارد.
- این انتقال ظرفیت به صورت یکجا صورت می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، امکان تقسیم ظرفیت یک انبار و انتقال آن به چند انبار وجود ندارد.
- زنجیره شامل چند نوع محصول است و تمامی کارخانه‌های موجود در زنجیره می‌توانند تمام یا برخی از این محصولات را تولید کنند.
- تقاضای برون‌سپاری شده به طور مستقیم به انباری که آن را نیاز دارد، منتقل می‌شود و از آنجا برای مشتری‌ها ارسال می‌شود.
- یک ناوگان ناهمگن وسایل نقلیه برای ارسال کالاها در هر دو سطح زنجیره مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ارضای تقاضای مشتریان به صورت ارسال گسسته است. به عبارتی، تقاضای هر مشتری می‌تواند به صورت گسسته از طریق وسایل نقلیه متفاوت و حتی از طریق انبارهای متفاوتی تأمین شود. برای سطح بالای زنجیره و ارسال کالا به انبارها نیز چنین شرایطی وجود دارد.
- هزینه برون‌سپاری برای هر واحد کالا شامل تمام هزینه‌های تولید، حمل و ... است.

۳-۲- مدل ریاضی

در ابتدا، به تعریف پارامترها و متغیرها می‌پردازیم.

مجموعه‌ها:

F : مجموعه کارخانه‌ها؛

W : مجموعه تمام انبارها $(w_e \cup w_n)$ ؛

W_e : مجموعه انبارهای موجود $(w_e \in W)$ ؛

W_n : مجموعه انبارهای جدید $(w_n \in W)$ ؛

K : مجموعه مشتریان؛

i, j : اندیس نمایانگر تمام نقاط، $i, j \in F \cup W \cup K$ ؛

V : مجموعه وسایل نقلیه، مشخص شده با نشانگر v ؛

P : مجموعه کالاها، مشخص شده با نشانگر p ؛

پارامترها:

$d_{i,p}$: تقاضای هر بار مشتری $i \in K$ برای محصول p ؛

$cap_{i,p}$: ظرفیت انبار موجود $i \in W_e$ برای محصول p ؛

$MP_{i,p}$: ظرفیت تولید کارخانه $i \in F$ برای محصول p ؛

$vcap_v$: ظرفیت وسیله نقلیه v ؛

vc_v : هزینه متغیر حمل کالا در هر واحد مسافت برای وسیله نقلیه v ؛

uc_v : هزینه ثابت حمل کالا برای وسیله نقلیه v ؛

pc_p : هزینه تولید هر واحد کالای p در کارخانه؛

oc_p : هزینه برون‌سپاری هر واحد کالای p ؛

$hc_{i,p}$: هزینه نگهداری هر واحد کالای p در انبار $i \in W$ ؛

$r_{i,j}$: هزینه ثابت انتقال ظرفیت انبار i به انبار j ، $i, j \in W$ ؛

$fc_{i,p}$: هزینه نگهداری و تعمیرات هر واحد از ظرفیت انبار $i \in W$ برای محصول p ؛

fm_i : هزینه ثابت نگهداری تعمیرات انبار $i \in W$ ؛

fn_i : صرفه‌جویی هزینه حاصل از انتقال ظرفیت انبار موجود $i \in W_e$ ؛

fs_i : صرفه‌جویی هزینه حاصل از بسته شدن انبار موجود $i \in W_e$ ؛

fb_i : هزینه ساخت هر انبار جدید $i \in W_n$ ؛

$dis_{i,j}$: فاصله نقطه i از j ، $i, j \in F \cup W \cup K$ ؛

متغیرهای تصمیم:

Q^1_{ijpv} : مقدار کالای p که در سطح کارخانه-انبار توسط ماشین v از i به j می‌رود،
 $i, j \in F \cup W$
 Q^2_{ijpv} : مقدار کالای p که در سطح انبار-مشتری توسط ماشین v از i به j می‌رود،
 $i, j \in W \cup K$
 Y_{ip} : مقدار محصول برون‌سپاری شده برای انبار i ، $i \in W$
 Z_{ij} : متغیر صفر و یک که در صورت انتقال ظرفیت انبار i به j ، $i \in W_e$ ، $j \in W$ ، $i \neq j$
 و باقی ماندن انبار i ، $i = j$ ، $i \in W_n$ یا تأسیس انبار جدید i ، $i = j$ ، $i \in W_n$ مقدار یک می‌گیرد؛
 X^1_{ijv} : متغیر باینری در سطح اول زنجیره که در صورت انتقال کالا از نقطه i به j توسط ماشین v مقدار یک می‌گیرد، $i, j \in F \cup W$
 X^2_{ijv} : متغیر صفر و یک در سطح دوم زنجیره که در صورت انتقال کالا از نقطه i به j توسط ماشین v مقدار یک می‌گیرد، $i, j \in W \cup K$

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i \in W_e} \sum_{j \in W} r_{ij} Z_{ij} + \sum_{i \in W_n} f b_i Z_{ii} + \sum_{p \in P} \sum_{j \in W} f c_{jp} \sum_{i \in W_e} c a_{ip} Z_{ij} + \sum_{j \in W} f m_j Z_{jj} - \sum_{i \in W_e} \left[f s_i \left(1 - \sum_{j \in W} Z_{ij} \right) + f n_i \sum_{\substack{j \in W \\ i \neq j}} Z_{ij} \right] \\ & + \sum_{i \in F} \sum_{j \in W} \sum_{v \in V} u c_v X^1_{ijv} + \sum_{i, j \in F \cup W} \sum_{v \in V} v c_v d i s_{ij} X^1_{ijv} + \sum_{i \in W} \sum_{j \in K} \sum_{v \in V} u c_v X^2_{ijv} + \sum_{i, j \in W \cup K} \sum_{v \in V} v c_v d i s_{ij} X^2_{ijv} \\ & + \sum_{i \in F} \sum_{j \in W} \sum_{p \in P} p c_p Q^1_{ijpv} + \sum_{i \in W} \sum_{p \in P} p c_p Y_{ip} + \sum_{i \in W} \sum_{j \in K} \sum_{p \in P} \sum_{v \in V} h c_p Q^2_{ijpv} \end{aligned} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{i \in W} Z_{ij} \leq |W| \quad \forall j \in W \quad (2)$$

$$\sum_{j \in W} Z_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in W \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j \in W \\ i \neq j}} Z_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in W_n \quad (4)$$

$$\sum_{j \in K} \sum_{v \in V} Q_{ijpv}^2 \leq \sum_{i' \in W} cap_{i'p} Z_{i'i} \quad \forall i \in W, \forall p \in P \quad (5)$$

$$\sum_{j \in W} \sum_{v \in V} Q_{ijpv}^1 \leq MP_{ip} \quad \forall i \in F, \forall p \in P \quad (6)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{ijpv}^1 \leq vcap_v X_{ijv}^1 \quad \forall i \in F \cup W, \forall j \in W, \forall v \in V \quad (7)$$

$$\sum_{i \in F} \sum_{j \in W} X_{ijv}^1 \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (8)$$

$$\sum_{j \in F \cup W} X_{ijv}^1 = \sum_{j \in F \cup W} X_{jiv}^1 \quad \forall i \in F \cup W, \forall v \in V \quad (9)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{i' \in F \cup W} Q_{i'ipv} - \left(\sum_{v \in V} \sum_{j \in K} Q_{ijpv}^2 - Y_{ip} \right) = \sum_{v \in V} \sum_{i' \in F \cup W} Q_{i'ipv} \quad \forall i \in W, \forall p \in P \quad (10)$$

$$\sum_{i \in F \cup W} Q_{ijpv}^1 \geq \sum_{i \in W} Q_{ijpv}^1 \quad \forall j \in W, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (11)$$

$$\sum_{p \in P} Q_{ijpv}^2 \leq vcap_v X_{ijv}^2 \quad \forall i \in W \cup K, \forall j \in K, \forall v \in V \quad (12)$$

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in K} X_{ijv}^2 \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (13)$$

$$\sum_{j \in W \cup K} X_{ijv}^2 = \sum_{j \in W \cup K} X_{jiv}^2 \quad \forall i \in W \cup K, \forall v \in V \quad (14)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in W \cup K} Q_{ijpv}^2 - d_{ip} = \sum_{v \in V} \sum_{j \in W \cup K} Q_{ijpv}^2 \quad \forall i \in K, \forall p \in P \quad (15)$$

$$\sum_{i \in W \cup K} Q_{ijpv}^2 \geq \sum_{i \in W \cup K} Q_{ijpv}^2 \quad \forall j \in K, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (16)$$

$$Q_{ijpv}^1, Q_{ijpv}^2, Y_{ip} \geq 0 \quad (17)$$

$$X_{ijv}^1, X_{ijv}^2, Z_{ij} \text{ binary variables} \quad (18)$$

در ادامه، تابع و محدودیت‌های مدل شرح داده می‌شود: عبارت (۱) تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که شامل هزینه‌های وارد شده به زنجیره هستند. این هزینه‌ها به دو بخش تقسیم می‌شوند: ۱. هزینه‌های استراتژیک مربوط به بازطراحی، شامل باز کردن و ادغام انبارها و یا هزینه‌های صرفه‌جویی شده حاصل از بستن آن‌ها (در مدل پایه، سود ناشی از انتقال ظرفیت یک انبار تنها به صورت حذف هزینه نگهداری تعمیرات آن بیان می‌شود [۴]). این امر در واقع به صورت صفر شدن هزینه نگهداری و تعمیرات (fm) برای آن انبار نمایش داده می‌شود و نیازی به کسر کردن این هزینه از هزینه کل نیست؛ بنابراین در این مدل سودی تحت عنوان سود حاصل از منتقل شدن ظرفیت انبار (fn) تعریف شده که در اصل بیانگر منفعت‌های ملموسی مانند فروش زمین این انبار یا دریافتی‌هایی از این دست می‌شود (۲). هزینه‌های عملیاتی مربوط به حمل‌ونقل در مسیرها و هزینه‌های خرید و نگهداری کالاها؛ محدودیت‌های ۲ تا ۴، محدودیت‌های مربوط به بخش بازطراحی انبارها هستند. محدودیت ۲ برای جلوگیری از ادغام انبارها با انباری که بسته شده، است. محدودیت ۳ برای جلوگیری از شکستن ظرفیت و انتقال آن به چند انبار قرار داده شده است. محدودیت ۴ بیانگر جلوگیری از انتقال ظرفیت انبارهای جدید به سایر نقاط است. محدودیت ۵ بیان می‌کند که مقدار کالای قابل ذخیره در یک انبار باید حداکثر به میزان ظرفیت آن انبار باشد. نامعادله ۶ بیانگر محدودیت ظرفیت تولید هر کارخانه برای هر محصول است. محدودیت ۷ محدودیت ظرفیت را برای هر وسیله نقلیه اعمال می‌کند. محدودیت ۸ بیان می‌کند که هر وسیله نقلیه در این سطح، حداکثر از یک کارخانه شروع به حرکت کرده و سپس به اولین انبار مسیر خود می‌رود. معادله ۹ بیان می‌کند وسیله نقلیه در هیچ انباری توقف نمی‌کند. معادله ۱۰ معادله موازنه میزان کالای نوع p را در هر انبار برای سطح اول نشان می‌دهد. بر اساس این محدودیت میزان کالای p که توسط مجموعه این وسایل نقلیه به یک انبار آورده شده، منهای مقدار موردنیازی که باید در انبار بماند، برابر است با میزان کالای p که توسط مجموعه وسایل نقلیه از این انبار خارج می‌شود. محدودیت ۱۱ نیز برای جلوگیری از برداشتن بار اضافی برای هر وسیله نقلیه در هر انبار ایجاد شده است. محدودیت

۱۲ تا ۱۶ محدودیت‌های سطح دوم زنجیره را نمایش می‌دهند. محدودیت ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۶ مشابه ۷ و ۸ و ۹ و ۱۱ هستند. معادله ۱۵ نیز بالانس مقدار کالای نوع p در مکان هر مشتری را نشان می‌دهد. عبارات ۱۷ و ۱۸ نوع متغیرهای تصمیم را تعیین می‌کنند.

۴- نتایج عددی

برای سنجش صحت مدل پیشنهادی، یک مثال عددی بر مبنای برخی داده‌های مطالعه موردی مقاله ملاکرینودیس و مین (۲۰۰۷) در نظر گرفته شده است [۴]. برخی پارامترها به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات کامل مطالعه موردی، به صورت تصادفی تولید شده‌اند.

در این شبکه دو کارخانه موجود است که هر دو، محصولات P_1 و P_2 را تولید می‌کنند. هزینه تولید محصولات به ترتیب ۲ و $2/2$ ، و همچنین هزینه برون‌سپاری آن‌ها (شامل هزینه خرید و حمل هر واحد کالا) به ترتیب $22/2$ و $22/5$ است. در این شبکه، دو انبار موجود هستند و انبار سوم قابل تأسیس است. همچنین پنج مشتری با تقاضای مشخص در نظر گرفته شده‌اند که تقاضای محصولات P_1 و P_2 برای مشتری اول به ترتیب ۳۳,۰۰۰ و ۵۵,۵۰۰، برای مشتری دوم ۶۴,۰۰۰ و ۷۱,۵۰۰ و برای مشتری پنجم ۷۱,۰۰۰ و ۴۴,۵۰۰ واحد است. همچنین تقاضای مشتری سوم ۸۰,۰۰۰ واحد از محصول P_1 و تقاضای مشتری چهارم ۷۹,۵۰۰ واحد از محصول P_2 است. هزینه انتقال ظرفیت انبارها بسته به ظرفیت و فاصله انبارها برای انبار اول به دوم ۴۲۲,۰۳۷ دلار و اول به سوم ۴۶۵,۸۷۵ دلار است این هزینه برای انتقال ظرفیت انبار دوم به اول ۵۵۰,۸۵۲ دلار و برای انبار دوم به سوم ۵۸۹,۸۶۰ دلار است. همچنین در این مسئله چهار وسیله نقلیه در نظر گرفته می‌شود که دو وسیله دارای ظرفیت ۱۸۰,۰۰۰، هزینه ثابت ۳۰۰ و هزینه متغیر ۰/۵ دلار هستند و دو وسیله دارای ظرفیت ۱۷۰,۰۰۰، هزینه ثابت ۲۰۰ و هزینه متغیر ۰/۶ دلار هستند. سایر اطلاعات در جدول ۱ و ۲ قرار دارد.

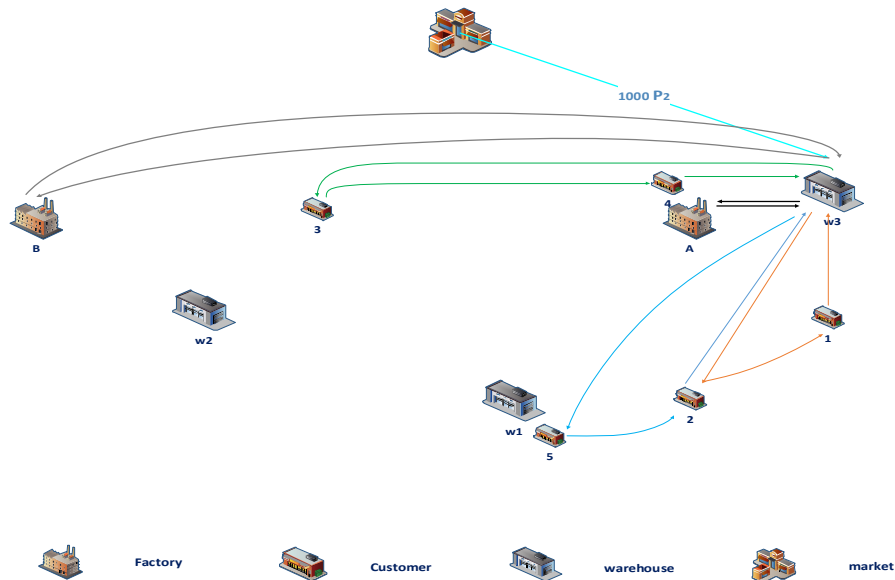
جدول ۱ هزینه‌های مرتبط با انبارها (\$))

		W_1	W_2	W_3
$fm_i (i \in W)$		۱۸۰,۰۰۰	۱۹۰,۰۰۰	۲۰۰,۰۰۰
$fn_i (i \in W_e)$		۲۲۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰	-
$fs_i (i \in W_e)$		۵۲۰,۰۰۰	۶۷۰,۰۰۰	-
$fb_i (i \in W_n)$		-	-	۹۰۰,۰۰۰
$fc_{ip} (i \in W)$	P_1	۱/۱	۱/۳	۱/۲
	P_2	۱/۳	۱/۵	۱/۳
$hc_{ip} (i \in W)$	P_1	۹	۹/۵	۹
	P_2	۱۰	۱۱	۱۰/۵

جدول ۲ ظرفیت تولید کارخانه‌ها و ظرفیت نگهداری انبارها

		P_1	P_2
$Mp_i (i \in F)$	A	۱۴۰,۰۰۰	۱۵۰,۰۰۰
	B	۱۴۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰
$cap_i (i \in W)$	W_1	۱۵۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰
	W_2	۱۵۰,۰۰۰	۲۰۰,۰۰۰
	W_3	۱۶۰,۰۰۰	۱۷۰,۰۰۰

این مدل توسط نرم‌افزار گمز ۲۳/۵ و حل‌کننده سیپلکس ۱۲/۲، در یک کامپیوتر ۵ هسته با پردازشگر ۲/۵۳ گیگاهرتز و حافظه داخلی ۶ گیگابایتی، حل شده و جواب بهینه دقیق آن طبق شکل ۳ برابر با بسته شدن انبار W_2 ، تأسیس انبار W_3 و انتقال ظرفیت انبار W_1 به W_3 است. در این مثال تعداد متغیرها ۹۷۶، تعداد محدودیت‌ها ۴۵۸ و زمان حل ۳۰ ثانیه است.



شکل ۳ شمای کلی زنجیره تأمین مثال ارائه شده پس از حل

در شکل ۳ مسیرهای بهینه حمل کالا (از کارخانه به انبار و انبار به مشتری) به تفکیک رنگ مشخص شده است. مقدار ۱۰۰۰ واحد از تقاضای محصول P_2 بیش از ظرفیت تولید کارخانه‌های زنجیره بوده است، پس این مقدار از طریق برون‌سپاری تأمین شده و مستقیم به انبار W_3 منتقل شده است. هزینه بهینه این مثال ۷,۳۳۷,۰۴۲ دلار می‌باشد.

۴-۱- تحلیل حساسیت

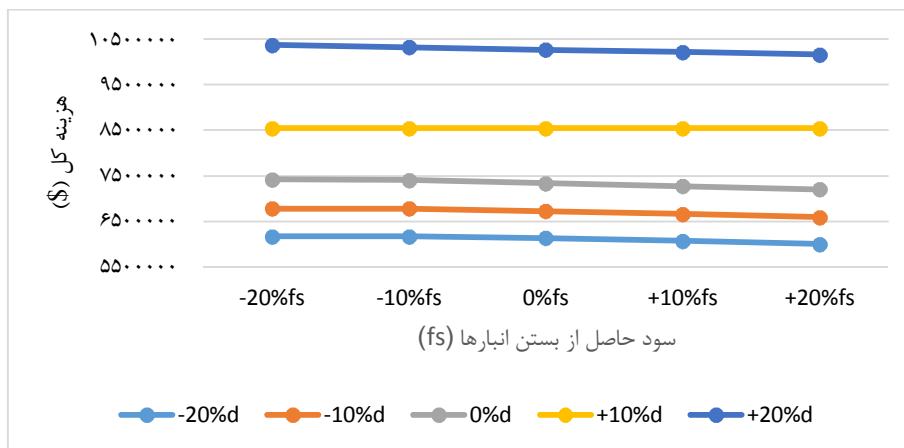
وجود برخی عوامل مهم و حساس در جواب بهینه تأثیرگذار هستند. در این بخش تلاش می‌شود تا با ایجاد تغییراتی در برخی از مهم‌ترین عوامل، تأثیرات حاصل از آن‌ها را روی جواب بهینه بررسی کرده و میزان حساسیت مسئله را نسبت به این عوامل به دست آوریم. با تحلیل حساسیت این فاکتورها می‌توان آمادگی لازم برای مواجهه با برخی تغییرات را داشته باشیم. برای مثال، تورم یکی از دلایل تغییر هزینه‌هاست. به دلیل زمان‌بر بودن اجرای تصمیمات استراتژیک پروژه شامل بستن، باز کردن و یا ادغام انبارها، احتمال افزایش هزینه تأسیس در طی این مدت‌زمان وجود دارد و ممکن است این

هزینه بیش از مقداری باشد که در ابتدای پروژه در نظر گرفتیم، تا جایی که شاید در پایان اجرای پروژه، هزینه‌ها آن قدر افزایش یافته باشند که این تأسیس برای ما مقرون به صرفه، تمام نشده باشد. بنابراین، با تحلیل حساسیت این هزینه می‌توان دریافت که تا چه اندازه افزایش این هزینه برای ما قابل قبول است.

با توجه به این که برای فروش تجهیزات مستهلک انبارهایی که بسته می‌شوند، قیمت قطعی نمی‌توان در نظر گرفت، امکان تغییر مقادیر این سود هم وجود داشته و این تغییر به طور مستقیم در تابع هدف تأثیرگذار و تحلیل آن لازم است. علاوه بر سود و هزینه‌های مذکور، تقاضا یکی از مهم‌ترین پارامترهای در معرض تغییر است که تأثیر زیادی بر هزینه‌ها و متغیرهای تصمیم دارد؛ بنابراین در این بخش، حساسیت مسئله نسبت به تغییر پارامترهای تقاضا، هزینه تأسیس و سود حاصل از بسته شدن انبارها، به عنوان پارامترهایی که بیشتر در معرض تغییر هستند، مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در ادامه به تحلیل این پارامترها می‌پردازیم.

۴-۱-۱- تحلیل حساسیت در شرایط ثابت بودن هزینه تأسیس

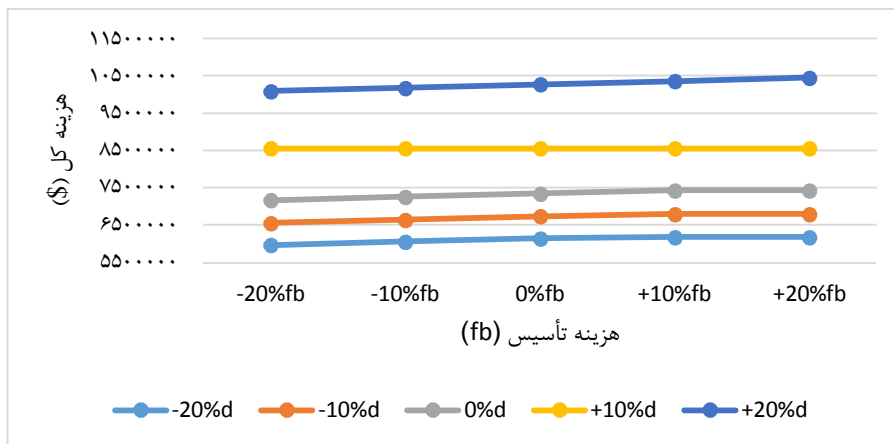
در این حالت، با ثابت نگه داشتن هزینه تأسیس، مقادیر سود حاصل از فروش و تقاضا را تا ۱۰ و ۲۰ درصد تغییر داده و مقادیر تابع هدف و متغیرها مورد توجه قرار می‌گیرد.



شکل ۴ تغییرات هزینه کل در شرایط ثابت بودن هزینه تأسیس (fb) و تغییر تقاضا (d) و سود حاصل از بسته شدن انبارها (fs)

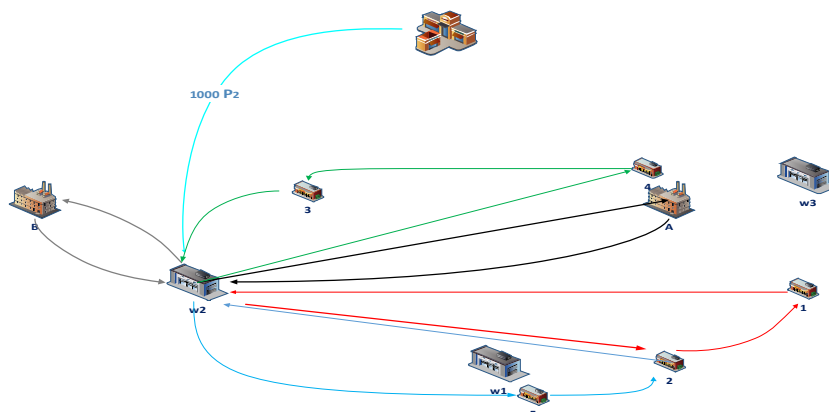
در شکل ۴ هر نمودار در شرایط متفاوتی از مقادیر تقاضا رسم شده است؛ به‌طور مثال، نمودار آبی روشن مقادیر تابع هدف را در حالتی نشان می‌دهد که تقاضا ۲۰ درصد کاهش داشته باشد. با توجه به شکل ۴ درمی‌یابیم که در حالت ثابت بودن هزینه تأسیس برای یک مقدار مشخص تقاضا، افزایش سود حاصل از بستن انبار می‌تواند موجب کاهش هزینه کل شود؛ البته در برخی شرایط مانند ابتدای نمودارهای آبی روشن و قرمز این افزایش در اندازه‌ای نبوده است که بسته شدن کامل انبارها برای زنجیره به‌صرفه باشد. به‌طور مثال، در نمودار قرمز رنگ (۱۰ درصد کاهش تقاضا)، در مقادیر ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش سود حاصل از بستن انبار، تنها انتقال ظرفیت انبار W_1 به W_2 به‌صرفه است؛ در حالی که وقتی سود حاصل از بستن انبار بیشتر از این مقادیر می‌شود، بستن انبار W_2 ، تأسیس انبار سوم و انتقال ظرفیت انبار W_1 به W_3 به‌صرفه است.

۴-۱-۲- تحلیل حساسیت در شرایط ثابت بودن سود حاصل از بستن انبار در این حالت، با ثابت نگه‌داشتن سود حاصل از بسته شدن انبارها، مقادیر هزینه تأسیس و تقاضا را تا ۱۰ و ۲۰ درصد تغییر داده و تغییرات مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۴ نتایج تغییرات مشهود است. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که در یک مقدار مشخص از تقاضا، با افزایش هزینه تأسیس، هزینه کل افزایش می‌یابد.



شکل ۵ تغییرات هزینه کل در شرایط ثابت بودن سود حاصل از بسته شدن انبارها (fs) و تغییر هزینه تأسیس (fb) و تقاضا (d)

این افزایش تا جایی رخ می‌دهد که تأسیس انبار جدید مقرون‌به‌صرفه باشد. پس در صورتی که هزینه تأسیس از مقداری بیشتر شود، تأسیس نشدن آن را ترجیح می‌دهیم. به طور مثال، در نمونه ذکر شده میزان هزینه تأسیس انبار سوم برابر با ۹۰۰,۰۰۰ دلار در نظر گرفته شده بود. این هزینه شامل بخش‌های گوناگونی از جمله هزینه مصالح، هزینه منابع انسانی، هزینه تجهیزات و... می‌شود. هرگونه تغییر تصمیمات در این بخش‌ها می‌تواند این هزینه تخمینی را کاهش یا افزایش دهد. فرض کنیم در شرایطی که تقاضا تغییری نداشته میزان هزینه تأسیس انبار سوم ۱۰ درصد افزایش یابد (نمودار طوسی‌رنگ). در چنین شرایطی با حل بهینه مدل، جواب شکل ۶ را داریم. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش هزینه تأسیس انبار جدید، مدل ترجیح داده است این انبار را تأسیس نکرده و با انتقال ظرفیت انبار اول به انبار دوم سیستم را اداره کند. در کنار تغییراتی که در شکل بهینه این مثال ایجاد شده است، مقدار کل هزینه‌های تابع هدف به میزان ۸۲,۶۸۱ دلار افزایش یافته و برابر با ۷,۴۱۹,۷۲۳ دلار شده است. بنابراین می‌توان دریافت که مقدار ۷,۴۱۹,۷۲۳ دلار، در واقع، مرزی برای مجموع هزینه‌های موجود است؛ برای مثال، افزایش هزینه تأسیس یا نگهداری تعمیرات انبار سوم تا ۸۲,۶۸۱ دلار می‌تواند بخش بازطراحی مثال را در شرایط قبلی نگه‌داشته و بیشتر از این مقدار، باعث تغییرات مذکور می‌شود. به عبارت دیگر، مدیریت می‌تواند با کنترل و در صورت امکان کاهش هزینه تأسیس در محدوده‌ای مشخص، علاوه بر کاهش هزینه و افزایش سود، شکل زنجیره را در شرایط قبلی نگه دارد.



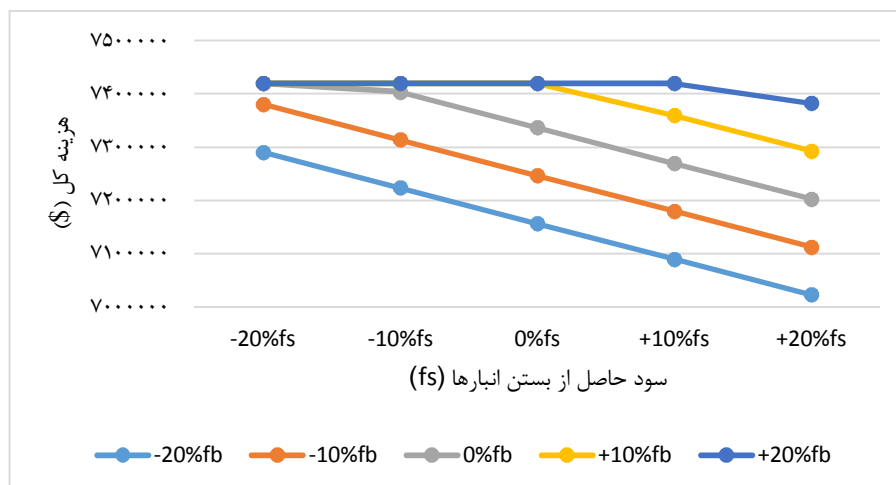
شکل ۶ شمای کلی زنجیره تأمین مثال یاد شده در شرایط افزایش ۱۰ درصدی هزینه ساخت

در شکل‌های ۴ و ۵، تغییرات هزینه کل برحسب تغییرات تقاضا نیز از فاصله میان نمودارها مشخص است؛ بنابراین می‌توان دریافت که تغییرات تقاضا تغییرات عمده‌ای را در هزینه‌های نهایی ایجاد می‌کند.

۳-۱-۴- تحلیل حساسیت در شرایط ثابت بودن تقاضا

در این حالت مقادیر هزینه تأسیس و سود حاصل از بسته شدن انبارها را تغییر داده و تغییرات موردبررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۷ نیز مانند شکل‌های ۴ و ۵، نتایج حاصل از این تغییرات را نمایش می‌دهد. با نگاهی ساده به شکل ۷ می‌توان دریافت که به‌طورکلی در حالتی که تقاضا بدون تغییر بماند، در یک مقدار مشخص و ثابت از هزینه تأسیس، افزایش سود حاصل از بسته شدن انبار موجب کاهش هزینه کل می‌شود.

البته این افزایش در برخی شرایط تأثیری در هزینه کل نداشته است؛ چراکه عامل دیگر (هزینه تأسیس) موجب شده شرایط مسئله به‌گونه‌ای شود که بستن انبارها مقرون به‌صرفه نباشد.



شکل ۷ تغییرات هزینه کل در شرایط ثابت بودن تقاضا (d) و تغییر هزینه تأسیس (fb) و سود حاصل از بستن انبارها (fs)

برای مثال، در حالتی که هزینه تأسیس ۲۰ درصد افزایش داشته (نمودار آبی بالا)، افزایش سود حاصل از بسته شدن انبار تا ۱۰ درصد بیشتر هم تأثیری در هزینه کل نداشته و در این نقطه و تمام نقاط قبلی نمودار آن، بسته شدن انبارها و تأسیس انبار جدید به صرفه نبوده، درحالی‌که با افزایش ۲۰ درصدی سود حاصل از بستن انبار، مسئله می‌تواند بسته شدن انبارها را به صرفه در نظر گرفته و این تصمیم را اجرا کند. در واقع در این نقطه، سود حاصل از بستن انبار می‌تواند هزینه تأسیس بالای انبار جدید را پوشش دهد. مشاهده می‌شود که در آخرین نقطه این نمودار، افزایش سود مذکور بر کاهش هزینه کل تأثیر گذاشته است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، در ابتدا با بررسی مقالات موجود در زمینه بازطراحی و بیان برخی از شکاف‌های موجود، تلاش شد تا این شکاف‌ها وارد مسئله بازطراحی شده و مدل نوینی در این موضوع ارائه شود. بنابراین با ادغام بحث مسیریابی و بازطراحی زنجیره تأمین و همچنین افزودن قابلیت برون‌سپاری به مسئله، مدل جدیدی ارائه شد. سپس با ایجاد داده‌های تصادفی حول داده‌های مقاله پایه و حل مدل توسط نرم‌افزار گمز، اعتبار مدل سنجیده شد. در ادامه، با تغییر برخی پارامترهای مهم، به سنجش میزان حساسیت این مدل نسبت به تغییرات احتمالی پرداخته شد که نشان داد تغییرات تقاضا تأثیر بسزایی در هزینه نهایی و شکل شبکه خواهند داشت؛ به‌طورکلی، نتایج مدیریتی حاصل از این مقاله به شرح زیر خواهد بود:

- مسیریابی و سایل نقلیه و سیستم ارسال گسسته تقاضا، به‌عنوان یکی از مشکلات نمونه‌های واقعی زنجیره تأمین، به شکل جدید زنجیره کمک بزرگی می‌کنند.
 - با توجه به ظرفیت تولید محدود و عدم امکان ایجاد کمبود، برون‌سپاری کمک زیادی به جلوگیری از غیرموجه شدن مدل می‌کند.
 - در نظر گرفتن تمام سودها و هزینه‌های هر یک از انبارها کمک می‌کند تا در یک نمونه واقعی، شکل مناسب‌تری برای شبکه جدید زنجیره زده شود.
- با توجه به محدودیت‌های مدل حل در این مقاله، موارد زیر برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

۱- ارائه روش‌های حل مناسب برای دستیابی به جواب بهینه در اندازه‌های بزرگ مسئله؛

۲- در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهایی مانند تقاضا و هزینه‌های عملیاتی؛
۳- اضافه کردن بحث کنترل موجودی در قسمت انبارها.
امید است با استفاده از موارد مذکور و واردکردن سایر مسائل زنجیره‌های تأمین واقعی به مباحث نظری موضوع بازطراحی پیوندهای محکم‌تری میان علم و صنعت برقرار شود.

۶- منابع

- [1] S. Rayat Pisheh, R. Ahmadi Kahnali, and T. Abbas Nezhad, "Applying The Qualitative Approach Meta Syntheses for Provide a Comprehensive Model of Assessment of the Sustainability in Supply Chain," *Modern researches in decision making*, vol. 1, no. 1, pp. 139-166, 2016.
- [2] M. R. Ramezani, Z. Rahmani, S. A. Hosseini, and R. A. Mubasher Amini, "Dealing with Supply Chain Complexity Using the Theory of Constraints Thinking Processes (Case Study: A Paper Manufacturing Firm)," *Management Researches in Iran*, vol. 17, no. 2, pp. 125-144, 2013.
- [3] H. Amoozad Mahdiraj, A. Jaafarnjad, M. Moddares Yazdi, and A. Mohaghar, "Cooperation Modeling for Unlimited Three Echelon Supply Chain: Game Theory Approach," *Management Researches in Iran*, vol. 18, no. 1, pp. 171-191, 2014.
- [4] E. Melachrinoudis and H. Min, "Redesigning a warehouse network," *European Journal of Operational Research*, vol. 176, no. 1, pp. 210-229, 2007.
- [5] H. Min and E. Melachrinoudis, "The relocation of a hybrid manufacturing / distribution facility from supply chain perspectives : a case study," *Omega, Int. J. Mgmt. Sci.*, vol. 27, pp. 75-85, 1999.
- [6] E. Melachrinoudis and H. Min, "The dynamic relocation and phase-out of a hybrid , two-echelon plant / warehousing facility: A multiple objective approach," *European Journal of Operational Research*, vol. 123, pp. 1-15, 2000.
- [7] E. Melachrinoudis, A. Messac, and H. Min, "Consolidating a warehouse

- network : A physical programming approach,” *Int. J. Production Economics*, vol. 97, pp. 1–17, 2005.
- [8] M. T. Melo, S. Nickel, and F. S. Saldanha Da Gama, “Dynamic multi-commodity capacitated facility location: A mathematical modeling framework for strategic supply chain planning,” *Computers and Operations Research*, vol. 33, no. 1, pp. 181–208, 2006.
- [9] M. T. Melo, S. Nickel, and F. Saldanha-Da-Gama, “A tabu search heuristic for redesigning a multi-echelon supply chain network over a planning horizon,” *International Journal of Production Economics*, vol. 136, no. 1, pp. 218–230, 2012.
- [10] M. T. Melo, S. Nickel, and F. Saldanha-da-Gama, “An efficient heuristic approach for a multi-period logistics network redesign problem,” *Top*, vol. 22, no. 1, pp. 80–108, 2014.
- [11] M. Bashiri and H. R. Rezaei, “Analysis of Demand Satisfaction Probability and Network Costs in Warehouse Relocation Using Probabilistic Knapsack,” in *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey*, 2012, pp. 1684–1690.
- [12] F. Kiya and H. Davoudpour, “Stochastic programming approach to re-designing a warehouse network under uncertainty,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 48, no. 5, pp. 919–936, 2012.
- [13] M. Bashiri and H. R. Rezaei, “Reconfiguration of Supply Chain : A Two Stage Stochastic Programming,” *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, vol. 24, no. 1, pp. 47–58, 2013.
- [14] J. Razmi, A. Zahedi-Anaraki, and M. Zakerinia, “A bi-objective stochastic optimization model for reliable warehouse network redesign,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 58, no. 11–12, pp. 1804–1813, 2013.
- [15] R. Sahraeian, A. Farshbaf Geranmayeh, and H. R. Rezaei, “A Reliability Approach on Redesigning the Warehouses in Supply Chain with Uncertain Parameters via Integrated Monte Carlo Simulation and Tuned Artificial Neural

- Network,” *International Journal of Applied Operational Research*, vol. 3, no. 2, pp. 53–65, 2013.
- [16] Y. J. Lee, T. Baker, and V. Jayaraman, “Redesigning an integrated forward–reverse logistics system for a third party service provider: an empirical study,” *International Journal of Production Research*, vol. 50, no. November 2013, pp. 5615–5634, 2012.
- [17] M. Khatami, M. Mahootchi, and R. Z. Farahani, “Benders’ decomposition for concurrent redesign of forward and closed-loop supply chain network with demand and return uncertainties,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 79, pp. 1–21, 2015.
- [18] X. Bing, J. Bloemhof-Ruwaard, A. Chaabane, and J. Van Der Vorst, “Global reverse supply chain redesign for household plastic waste under the emission trading scheme,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 103, pp. 28–39, 2015.
- [19] C. L. Martins, M. T. Melo, and M. V. Pato, “Redesigning a food bank supply chain network , Part I : Background and mathematical formulation,” *Technical reports on Logistics of the Saarland Business school*, vol. 10, 2016.
- [20] J. Cortinhal, J. Lopes, and T. Melo, “Redesigning a three-echelon logistics network over multiple time periods with transportation mode selection and outsourcing opportunities,” *Technical reports on Logistics of the Saarland Business School 7, Saarland University of Applied Sciences*, 2014.