

مدل سازی ریسک ها در پیکره بندی مجدد زنجیره تأمین سبز برای توسعه محصول جدید (مطالعه موردی: محصولات مصرفی پر گردش)

ملیحه سبزواری* سید مجتبی سجادی**

سید محمد حاجی مولانا***

پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۸

دریافت: ۹۸/۳/۱۲

پیکره بندی زنجیره تأمین / مدیریت زنجیره تأمین سبز / توسعه محصول جدید / مدیریت ریسک

چکیده

با توجه به محیط فعالیت به شدت رقابتی امروزه توسعه محصولات جدید در نیاز مشتریان و تلاش جهت کاهش آلاینده‌های زیست محیطی به عنوان مزیت رقابتی شرکت‌ها محسوب می‌گردد. توسعه یک محصول جدید منجر به پیکره‌بندی مجدد زنجیره تأمین می‌گردد بنابراین نیازمند اتخاذ تصمیمات استراتژیکی، فنی و عملیاتی مناسب می‌باشد. تصمیمات فوق عبارت‌اند از تخصیص کارخانه به محصول، انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب، میزان تولید محصول و ذخیره مواد اولیه، میزان حمل‌ونقل و میزان خرید مواد اولیه. علاوه بر این توسعه محصول جدید همراه با ریسک‌های زیادی است که استفاده از استراتژی‌های مناسب جهت کاهش آنها می‌تواند منجر به افزایش شانس موفقیت معرفی محصول در بازار گردد. مقاله حاضر به بررسی تولید یک محصول جدید در یک زنجیره تأمین سبز چندلایه، چند منبعی می‌پردازد. پس از شناسایی ریسک‌های

*. دکتری مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد

malihe.sabzevari@yahoo.com

اسلامی، تهران، ایران

msajadi@ut.ac.ir

** . دانشیار، گروه کسب و کار جدید، دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

***. استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران molana@srbiau.ac.ir

■ سید مجتبی سجادی، نویسنده مسئول

مختلف توسعه محصول جدید با استفاده از یک مدل ریاضی بهینه‌سازی، به شناسایی بهترین استراتژی‌های پاسخگویی به ریسک‌های شناسایی شده و نیز اتخاذ تصمیمات فنی، استراتژیکی و عملیاتی بهینه می‌پردازیم. مسئله پیشنهادی متشکل است از سه تابع هدف که عبارت‌اند از تابع هدف اقتصادی، تابع هدف کاهش آلاینده‌گی و تابع هدف کاهش ریسک. مسئله به صورت یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با پارامترهای قطعی فرموله شده است. اعتبار سنجی مدل پیشنهادی توسط یک مسئله نمونه در صنعت محصولات مصرفی پر گردش صورت پذیرفته است. نتایج حاصل از اجرای مدل بیانگر اثرگذاری حضور یک محصول جدید و انتخاب استراتژی‌های کاهنده ریسک بر روی پیکره‌بندی مجدد زنجیره تأمین سبز می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی می‌باشد.

طبقه‌بندی: JEL: C61

مقدمه

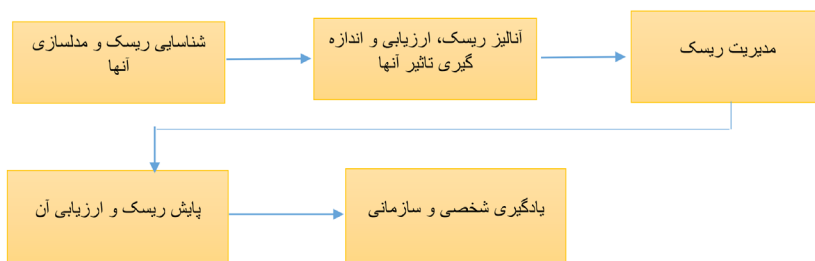
امروزه با توجه به محیط خارجی شدیداً رقابتی و متغیر، سرعت تغییر نیازها و انتظارات مشتریان، شرکت‌ها در پی ایجاد مزیت رقابتی نسبت به رقبای می‌باشند. با توجه به تأثیرپذیری زنجیره تأمین از محیط پیرامون آن داشتن زنجیره تأمینی منطبق با محیط موضوعی است که طی سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. همچنین کوتاه شدن چرخه عمر محصولات، طراحی محصول جدید^۱ (NPD) و معرفی آن به بازار از عوامل مهم ارضای نیازهای مشتریان و بقا در بازار می‌باشد.

اگرچه محصولات جدید ایجادکننده فرصت‌های رقابتی برای شرکت‌ها می‌باشند اما نمی‌توان ریسک‌های قابل توجه این محصولات را نادیده گرفت. مطالعات تجربی نرخ بالایی از شکست این محصولات، به خصوص در بازارهای مصرف را نشان داده است. عدم مدیریت ریسک‌های NPD می‌تواند منجر به شکست معرفی محصول به بازار گردد. طبق آمار معتبر بین‌المللی ۸۵ درصد از ایده‌های جدید هیچ‌گاه به بازار نمی‌رسند. همچنین ۴۰ درصد از محصولات جدید شکست می‌خورند. اگرچه پذیرش این آمار سخت است ولی واقعیت این است که توسعه محصول جدید یک موضوع بسیار ریسکی و بااهمیت است. بر طبق نتایج مطالعات انجام شده در سال ۲۰۱۲ نرخ موفقیت NPD در اروپا ۵۶٫۸٪ و در آسیا ۴۸٫۶٪ بوده است. در مفهوم NPD، ریسک، به احتمال شکست NPD به دلایل متعددی نظیر شکست در بازار، محدودیت‌های تکنولوژیکی و موانع سازمانی اطلاق می‌گردد. از این رو به کارگیری استراتژی‌های مناسب مدیریت ریسک در زمان معرفی یک محصول جدید ضروری می‌نماید. مدیریت فاکتورهای شکست محصول، مدیریت ریسک زنجیره تأمین^۲ (SCRM) نامیده می‌شود که سه وظیفه مهم شناسایی وقایع ناخواسته، تخمین احتمال وقوع آن‌ها و کاهش تأثیر منفی آن‌ها را شامل می‌گردد^۳. مدیریت ریسک زنجیره تأمین رویکردی سیستماتیک جهت شناسایی، ارزیابی، کاهش و کنترل عوامل ریسک در زنجیره تأمین باهدف کاهش اثرات منفی این عوامل بر عملکرد زنجیره تأمین می‌باشد. شکل زیر فعالیت‌های اصلی SCRM را نمایش می‌دهد:

1. New Product Development

2. Supply Chain Risk Management

3. Brandenburg, (2017)



شکل ۱- فعالیت‌های مدیریت ریسک زنجیره تأمین

از طرفی امروزه، آلودگی محیط‌زیست به عنوان یکی از چالش‌های اصلی است که اگر به آن پرداخته نشود منجر به انقراض نوع بشر می‌گردد. از میان انواع آلودگی‌ها، آلودگی هوا به علت انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از مواردی است که نیاز به توجه فوری دارد. گرم شدن زمین نیز از اثرات افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای موجود در هوا است که افراد را دچار مشکل می‌نماید. با توجه به اینکه انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص دی‌اکسید کربن یکی از اثرات جانبی مهم واحدهای صنعتی تشکیل‌دهنده زنجیره تأمین می‌باشد لذا دولت‌ها تحت فشار جهت ایجاد محدودیت‌هایی به منظور کاهش این آلودگی‌ها می‌باشند. بنابراین پیکربندی یک زنجیره تأمین با حداقل میزان آلوده‌کنندگی از مسائلی است که در سال‌های اخیر مورد توجه و ضرورت قرار گرفته شده است. از این‌رو توجه به تأثیرات زیست‌محیطی در کنار رضایت مشتریان در تصمیمات مربوط به توسعه محصول و پیکربندی زنجیره تأمین ضروری می‌نماید.

از طرفی توسعه یک محصول جدید منجر به اتخاذ تصمیمات جدید در طراحی زنجیره تأمین می‌گردد که این تصمیمات به پیکربندی زنجیره تأمین معروف‌اند و به سه دسته تصمیمات استراتژیکی، فنی و عملیاتی طبقه‌بندی می‌گردند.

انتخاب تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع مناسب و تخصیص کارخانه به محصول از نوع تصمیمات استراتژیکی بوده، تصمیمات عملیاتی به انتخاب نوع حمل‌ونقل محصول و انتخاب استراتژی‌های مناسب برای پاسخگویی به ریسک‌ها می‌پردازد و تصمیمات فنی شامل تصمیم‌گیری در مورد مقادیر تولید واحدهای تولیدکننده، مقادیر خرید مواد اولیه در واحدهای تولیدکننده، مقدار فروش محصولات، مقدار حمل‌ونقل محصولات در شبکه و سطح موجودی کارخانه‌ها و مراکز توزیع می‌باشد. با توجه به موارد بیان‌شده، در این مقاله

به مدل سازی ریاضی پیکربندی یک زنجیره تأمین در توسعه محصول جدید، جهت تحقق اهداف مالی (سود)، کاهش آلودگی و کاهش ریسک های پیش از راه اندازی محصول جدید پرداخته شده است. از آنجا که افزایش رقابت و افزایش انتظارات مصرف کنندگان در صنعت کالاهای مصرفی پر گردش منجر به افزایش فشار وارده به تولیدکنندگان جهت توسعه این محصولات و کوتاه شدن چرخه عمر آن ها می گردد صنعت فوق به عنوان مطالعه موردی جهت تست مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است.

مقاله حاضر در چندین قسمت تدوین شده است: در قسمت اول، به مرور ادبیات تحقیق پرداخته شده است. تعریف مسئله و مدل سازی که شامل مفروضات، مجموعه پارامترها، متغیرها، مدل تصمیم و مدل سازی ریاضی مسئله می باشد، در قسمت دوم بیان گردیده است. در قسمت سوم نتایج محاسباتی ناشی از اعتبارسنجی مدل پیشنهادی با استفاده از یک مسئله نمونه بیان شده است و در قسمت پایانی نیز به نتیجه گیری و پیشنهاد جهت تحقیقات آتی پرداخته شده است.

۱. پیشینه تحقیق

طبق تعریف ارائه شده توسط اولریچ و اپینگر^۱ (۲۰۰۹) فرایند NPD شامل زنجیره فعالیت ها و گام هایی است که توسط یک شرکت جهت اختراع، طراحی و تبلیغات یک محصول جدید مورد استفاده واقع می گردد. این فرایند با داشتن یک ایده برای محصول جدید آغاز می گردد. منابع متعددی نظیر مشتریان، مدیریت ارشد، کارمندان، رقیبان و تکنولوژی های جدید می توانند برای تولید این ایده جدید مورد استفاده قرار گیرند. از طرفی تحقیقات در حوزه توسعه محصول جدید ضروری است زیرا که موفقیت در معرفی آن، می تواند منجر به افزایش سود کلی شرکت تا حدود ۳۱٪ گردد. معرفی محصول جدید لازمه بقای هر شرکت است. شرکت هایی که از یک فرایند علمی برای تولید و ارائه آن به بازار استفاده می نمایند با نرخ شکست بسیار پایین مواجه می گردند.

تحقیقات اولیه در حوزه انتشار محصول جدید در سال ۱۹۶۰ آغاز گردید. امینی و لی (۲۰۱۱) به ارائه یک مدل بهینه سازی یکپارچه باهدف پیکربندی زنجیره تأمین و با در نظر

گرفتن تقاضای پویا در این حوزه پرداختند. آن‌ها در سال ۲۰۱۲ با بررسی قابلیت خرید از چندین تأمین‌کننده به توسعه مدل قبلی خود پرداختند. چنین رویکردی به تولیدکننده جهت حفظ قدرت چانه‌زنی و حفاظت در برابر نوسانات تقاضا و اختلال عرضه در طول چرخه عمر محصول جدید کمک می‌نماید. گوار و امینی (۲۰۱۷) مسئله پیکره‌بندی زنجیره تأمین حلق بسته (CLSCC) در توسعه محصول جدید و بازیافت دوباره آن را مورد بررسی قرار دادند و به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MILP) پرداختند. در مدل پیشنهادی به تعیین برنامه فروش/تولید بهینه در کنار پیکره‌بندی CLSCC پرداخته شده است. در مطالعه دیگری، نیال و همکاران (۲۰۱۱) با ارائه مدلی به بررسی تأثیر هزینه‌های موجودی، منابع و تصمیمات سازش‌پذیر در طول پیکره‌بندی زنجیره بر میزان افزایش کارایی و پایداری آن پرداختند [۱۰]. در تحقیق ارائه شده توسط جعفریان و بشیری (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی جهت پیکره‌بندی زنجیره تأمین پویا و بهینه‌سازی زمان راه‌اندازی محصول جدید در زنجیره تأمین فوق ارائه گشته است. در مدل ارائه شده برنامه‌ریزی تولید، فروش و حمل‌ونقل و زمانهای تحویل نیز لحاظ شده است. افروزی و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل زنجیره تأمین که به یکپارچه‌سازی تصمیم‌گیری در مورد تولید محصولات قدیمی و توسعه محصولات جدید و تأثیرات آن‌ها در پیکره‌بندی زنجیره تأمین می‌پردازد، ارائه نمودند. در مطالعه دیگری نیز به توسعه مدل فوق با فرضیاتی نظیر وجود عدم قطعیت در پارامترهای مربوط به تقاضا و ظرفیت‌های تأمین‌کنندگان پرداختند. مارکوس برندنبرگ (۲۰۱۵) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی به بررسی معیارهای اقتصادی و محیطی در توسعه محصولات جدید در صنعت لوازم‌آرایی پرداخت که در آن یک رویکرد سناریو محور جهت بررسی تأثیر عدم قطعیت تقاضا مورد استفاده قرار گرفته است. برندنبرگ در سال (۲۰۱۷) با استفاده از یک رویکرد ترکیبی در پیکره‌بندی زنجیره تأمین سازگار با محیط‌زیست در توسعه محصول جدید به توسعه مدل قبلی ارائه شده خود پرداخت. در مطالعه فوق از شبیه‌سازی سیستم‌های پیشامد گسسته جهت تخمین عملکرد محیطی، عملیاتی و مالی گزینه‌های مختلف پیکره‌بندی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن مفهوم "ارزش در ریسک" در ارزیابی ریسک‌های مختلف زنجیره تأمین، استفاده شده است. گریوز و ویلم (۲۰۰۵) به بررسی پیکره‌بندی مجدد زنجیره تأمین به منظور

1. Closed Loop Supply Chain Configuration

2. Mixed Integer Linear Programming

توسعه یک محصول جدید با تصمیم‌گیری در مورد تعیین تأمین‌کنندگان، مواد اولیه، فرایندها و نوع حمل‌ونقلی که در هر مرحله از زنجیره تأمین باید انتخاب گردد، پرداختند. جهانی و همکاران (۲۰۱۷) نیز به پیکره‌بندی مجدد یک شبکه زنجیره تأمین موجود در شرایط معرفی محصول جدید به بازار پرداختند. در تحقیق فوق همبستگی میان تقاضا و قیمت نیز در مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است.

به علت افزایش ریسک‌های تأثیرگذار بر شبکه‌های زنجیره تأمین، در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در حوزه مدیریت ریسک زنجیره تأمین انجام شده است. که به ارائه نمونه‌هایی در این زمینه می‌پردازیم.

کلیبی و همکاران (۲۰۱۰) بر پایه‌گذاری شبکه‌های زنجیره تأمین پایدار و منعطف تأکید نمودند و به ارائه پیشنهادهایی جهت کاهش جریان‌ات نقدی در افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای که به عنوان یک معیار منعکس‌کننده عدم قطعیت در زنجیره تأمین می‌باشد، پرداخته‌اند [۱۸]. کایس و همکاران (۲۰۰۷) به ارائه روشی جدید در مدیریت پروژه توسعه محصول جدید پرداختند. روش فوق منجر به کاهش هم‌زمان ریسک در فرایند طراحی و توسعه محصول جدید می‌پردازد. کاهش ریسک‌ها با استفاده از پنج الگوریتم محاسباتی پس از مقداردهی اولیه به ریسک‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها صورت می‌پذیرد.

برای مطالعات بیشتر در این حوزه می‌توان به مقالات مروری که به ذکر تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم اشاره نمود. تنگ و منا (۲۰۱۱) به بررسی مدل‌های مختلف کمی مدیریت ریسک زنجیره تأمین و مقایسه استراتژی‌های مختلف مدیریت ریسک زنجیره با موارد واقعی که در مقالات مختلف ارائه شده بود، پرداختند. بر طبق نتایج حاصل از مطالعه فوق در مدل‌های کمی ریسک، به ریسک در جریان اطلاعات کمتر پرداخته شده است. پراکاش و همکاران (۲۰۱۷) بر بنا نهادن و شناسایی تئوری‌های مدیریت ریسک زنجیره تأمین با به‌کارگیری تکنیک‌هایی نظیر آزمون‌های فرض، شبیه‌سازی، نظرسنجی و مطالعات موردی و ... تأکید نمودند. پیدرو و همکاران (۲۰۰۹) نیز به بررسی روش‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت، در مقالات مختلف پرداختند و یک طبقه‌بندی برای دسته‌بندی مدل‌ها ایجاد نمودند. خجسته قمری و تاکاشی (۲۰۱۸) بعد از بررسی مقالات اخیر در مدیریت ریسک زنجیره تأمین به این حقیقت دست یافتند که شرکت‌ها در تلاش‌اند تا ریسک‌های زنجیره تأمین

را باهدف کاهش هزینه، افزایش سود و یا افزایش ارزش خالص فعلی^۱ (NPV) پرداختند. اکثر مطالعات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک در طراحی یا پیکربندی مجدد زنجیره تأمین تنها به بررسی ریسک های مالی بدون توجه به سایر ریسک ها نظیر ریسک های عملیاتی و پایداری که توسط هکمن و همکاران پیشنهاد شده است پرداخته اند. جدول (۱) اکثر مطالعاتی که به پیکربندی زنجیره تأمین جهت توسعه محصول جدید پرداخته اند به همراه مشخصات آن ها ارائه می نماید. همان طور که جدول فوق نشان می دهد در هیچ یک از مطالعات گذشته به مدیریت ریسک زنجیره در کنار سایر اهداف در توسعه محصول جدید پرداخته نشده است بنابراین تحقیق حاضر با ارائه مدلی ریاضی جهت پیکربندی زنجیره تأمین در توسعه محصول جدید باهدف کاهش ریسک های زیست محیطی و بررسی ریسک های مربوط به تولید محصول جدید و استراتژی های پاسخگو به آن ها ضمن پر نمودن خلأ تحقیقاتی، توسعه ای بر مطالعات پیشین در این زمینه می باشد.

جدول ۱- مرور ادبیات مطالعات پیکربندی زنجیره تأمین در توسعه محصول جدید

نوع مدل	اهداف	منابع	تعداد سطوح زنجیره	تعداد محصولات	نویسندگان
قطعی MILP	اقتصادی	چند منبعی	چندلایه	چندتایی	افروزی و همکاران
قطعی MILP	اقتصادی رضایت مشتری	چند منبعی	چندلایه	چندتایی	افروزی و همکاران
غیرقطعی 'MINLP	اقتصادی رضایت مشتری	تک	تک	تک	امینی و لی
'ABM	اقتصادی	چند منبعی	تک	تک	امینی و لی
غیرقطعی MILP	اقتصادی محیطی	چند منبعی	چندلایه	تک	برندنبرگ

نوع مدل	اهداف	منابع	تعداد سطوح زنجیره	تعداد محصولات	نویسندگان
غیرقطعی DES	اقتصادی محیطی رضایت مشتری	چند منبعی	چندلایه	تک	برندنبرگ
قطعی MILP	اقتصادی	چند منبعی	چندلایه	تک	گریوز و ویلم
قطعی MINLP	اقتصادی	تک	تک	تک	گوار و امینی
قطعی MILP	اقتصادی	چند منبعی	چندلایه	تک	جعفریان و بشیری
غیرقطعی MINLP	اقتصادی	چند منبعی	چندلایه	تک	جهانی و همکاران
غیرقطعی MINLP	اقتصادی	تک	چندلایه	تک	نپال و همکاران
قطعی MILP	اقتصادی محیطی مدیریت ریسک	چند منبعی	چندلایه	تک	تحقیق حاضر

۳. تعریف مسئله و مدل سازی

به منظور مشخص نمودن پارامترهای مدل پیشنهادی ریسک های بالقوه مربوط به توسعه محصول جدید در زنجیره تأمین و احتمال وقوع آن توسط کارشناسان، خبرگان، ساختار زنجیره تأمین و مطالعات مربوطه در این حوزه شناسایی و تعیین گردید. همچنین استراتژی های مقابله با هر یک از ریسک ها به همراه میزان کاهش ناشی از آن ها تعیین گردید.

مسئله پیشنهادی متشکل است از سه تابع هدف که عبارت اند از تابع هدف سود، تابع هدف کاهش آلاینده گی و تابع هدف کاهش ریسک. با استفاده از مدل پیشنهادی در جستجوی یافتن استراتژی های پاسخگوی بهینه هر ریسک، تصمیمات استراتژیکی، عملیاتی و فنی بهینه می باشیم. مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

- هر کارخانه دارای قابلیت طراحی و معرفی یک محصول جدید به بازار در طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد.
- زنجیره تأمین مورد بررسی از سه لایه، شامل چندین تأمین‌کننده، تولیدکننده، و توزیع‌کننده تشکیل شده است.
- جهت تولید محصول جدید از مواد اولیه جدید با استفاده از سیستم موجود استفاده می‌نماییم.
- تولیدکنندگان دارای دو نوع موجودی که عبارت‌اند از ماده خام و موجودی محصول نهایی، می‌باشند.
- مقدار ظرفیت تولید هر تولیدکننده و هر مرکز تأمین، دارای یک مقدار حداقلی و حداکثری می‌باشد.
- سیاست تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان بر اساس سیاست فشاری^۱ است.
- در زنجیره تأمین سیاست ساخت برای ذخیره^۲ در نظر گرفته شده که بر اساس تخمین میزان تقاضا می‌باشد.
- تقاضای بازار عمده‌فروشان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان از انبار مراکز توزیع، تأمین می‌شود.
- اگر تقاضایی در زمان درست خود ارضا نشود، سفارشات عقب‌افتاده مجاز نیست و بنابراین فروش ازدست‌رفته خواهد بود.
- کاهش ریسک در یک قسمت از زنجیره تأمین، باعث افزایش ریسک در قسمت دیگری از زنجیره تأمین نخواهد شد. درواقع ریسک‌ها از همدیگر مستقل فرض شده‌اند.
- برای حمل و نقل محصول، دو نوع معمولی و سریع‌السير در نظر گرفته شده است که با توجه به مدل به دنبال انتخاب کمترین آلاینده محیطی هستیم.
- ریسک (R_W) از احتمال وقوع یک پیشامد ناخواسته ضرب در تأثیر آن پیشامد محاسبه گشته شده است. احتمال وقوع پیشامد با بررسی همه فاکتورهای به وجود آورنده آن تخمین زده می‌شود. همچنین از داده‌های گذشته، دانش خبرگان در محاسبه این احتمالات می‌تواند استفاده نمود. برای محاسبه تأثیر پیشامد ریسک نیز می‌توان از

1. Push Strategy

2. Make-to-stock

داده های گذشته، دانش خبرگان و تکنیک های شبیه سازی بهره جست. برای جزئیات بیشتر می توان به مقاله اکلان و لم (۲۰۱۵) مراجعه نمود. پارامترها، اندیس ها و متغیرهای مورد استفاده در مدل سازی در قسمت بعدی شرح داده شده است. سپس، به معرفی مدل پیشنهادی خواهیم پرداخت.

اندیس ها و مجموعه ها

P	محصول جدید با اندیس	P
S	مجموعه تأمین کنندگان با اندیس	S
L	مجموعه تولید کنندگان با اندیس	L
R	مجموعه نواحی تقاضا با اندیس	R
K	مجموعه مواد خام با اندیس	K
M	نوع حمل و نقل که دو نوع سریع السیر $m = 1$ و معمولی $m = 2$ می باشد	M
X	مجموعه کارخانه ها و نواحی تقاضا با اندیس	X
W	مجموعه ریسک ها با اندیس	W
Ω_L	مجموعه استراتژی های پاسخگو با اندیس	Ω_L
$\mathcal{G}$	مجموعه اتصالات حمل و نقل $\mathcal{G} \subseteq (S \cup L) \times (L \cup R) \times M$	$\mathcal{G}$
δ_θ	مدت حمل و نقل از طریق اتصال $\theta \in \mathcal{G}$	δ_θ

اسکالر

B	بودجه تخصیص داده شده برای ریسک ها
π^{cap}	هزینه سرمایه

پارامترها

پارامترهای مربوط به ریسک

R'_w	مقدار کاهش در ریسک w بعد از اجرای استراتژی پاسخگوی Ω
R_w	سطح ریسک w قبل از اجرای استراتژی های پاسخگو

R_w^* مقدار هدف هر ریسک

قیمت‌ها و هزینه‌ها

$\pi_{p,r}^{sell}$	قیمت فروش محصول جدید p در ناحیه r
$\pi_{i,x}^{store}$	هزینه ذخیره هر واحد $i \in \{k, p\}$ است در $x \in L \cup R$
$\pi_{s,l,m}^{trans}$	هزینه حمل و نقل از مرکز تأمین s به کارخانه l با حمل و نقل نوع
$\pi_{l,r,m}^{trans}$	هزینه حمل و نقل از کارخانه l به ناحیه تقاضای r با حمل و نقل نوع
$\pi_{k,s}^{raw}$	هزینه ماده خام k در مرکز تأمین s
$\pi_{p,l}^{conv}$	هزینه تولید محصول جدید p در کارخانه l
$c_{\square}$	هزینه اجرای استراتژی Ω

ظرفیت‌ها

$\mu_{k,s}^{raw}$	حداقل مقدار سفارش دهی ماده خام k از تأمین کننده s
$cap_{k,s}^{raw}$	ظرفیت تولید ماده خام k در تأمین کننده s
$\mu_{p,l}^{conv}$	حداقل مقدار تولید کالای جدید p در کارخانه l
$cap_{p,l}^{conv}$	ظرفیت تولید محصول جدید p در کارخانه l

تقاضا

$d_{p,r,t}$ تقاضای محصول جدید p در ناحیه تقاضای r

ساختار محصول

$\varphi_{k,p}$ مقدار ماده خام k که برای تولید محصول جدید p مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پارامترهای آلاینده‌گی

$\tau_{i,\theta}^{trans}$	آلاینده‌گی که توسط ارسال یک واحد $i \in \{k, p\}$ با اتصال $\theta \in \mathcal{G}$ ایجاد می‌شود.
$\tau_{i,x}^{store}$	آلاینده‌گی که توسط ذخیره‌سازی یک واحد $i \in \{k, p\}$ در مکان $x \in L \cup R$ ایجاد می‌شود.

متغیرها

متغیرهای هزینه

$$c_t^{store} \text{ هزینه ذخیره‌سازی در دوره } t$$

$$c_t^{trans} \text{ هزینه حمل و نقل در دوره } t$$

$$c_t^{raw} \text{ هزینه ماده خام در دوره } t$$

$$c_t^{conv} \text{ هزینه تولید محصول در دوره } t$$

$$c_t^{risk} \text{ هزینه کلی ریسک در دوره } t$$

متغیرهای تصمیم

$$q_{p,r,t}^{sales} \text{ مقدار فروش محصول جدید } p \text{ در ناحیه تقاضای } r \text{ در دوره } t$$

$$q_{i,x,t}^{store} \text{ مقدار ذخیره } i \in \{k, p\} \text{ در مکان } x \in L \cup R \text{ در دوره } t$$

$$q_{k,(s,l),m,t}^{trans} \text{ مقدار حمل و نقل ماده خام } k \text{ از تأمین‌کننده } s \text{ به کارخانه } l \text{ با حمل و نقل نوع } m \text{ در دوره } t$$

$$q_{p,(l,r),m,t}^{trans} \text{ مقدار حمل و نقل محصول جدید } p \text{ از کارخانه } l \text{ به مرکز توزیع } r \text{ با حمل و نقل نوع } m \text{ در دوره } t$$

$$q_{k,s,t}^{raw} \text{ مقدار ماده خام خریداری شده } k \text{ که از تأمین‌کننده } s \text{ در دوره } t \text{ خریداری می‌شود}$$

$$q_{p,l,t}^{conv} \text{ مقدار تولید محصول جدید } p \text{ در کارخانه } l \text{ در دوره } t$$

$$q_{p,r,t}^{lost} \text{ مقدار فروش از دست رفته محصول جدید } p \text{ در ناحیه تقاضای } r \text{ در دوره } t$$

$$q_{i,x,t-1}^{store} \text{ میزان ذخیره ماده } i \in \{k, p\} \text{ در مکان } x \in L \cup R \text{ در دوره قبلی}$$

متغیرهای تصمیم دودویی

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{اگر استراتژی } \Omega \text{ انتخاب شود} \\ \text{در غیر اینصورت} \end{array} \right\} = z_{\Omega} \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{اگر تأمین‌کننده } s \text{ در دوره } t \text{ انتخاب شود} \\ \text{در غیر اینصورت} \end{array} \right\} = y_{s,t}^{raw} \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{اگر کارخانه } l \text{ محصول } p \text{ را تولید کند} \\ \text{در غیر اینصورت} \end{array} \right\} = y_{p,l}^{conv} \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array}$$

۲-۱. مدل پیشنهادی

طبق آنچه که در بخش‌های قبل بیان گردید مدل پیشنهادی از سه تابع هدف تشکیل شده است که عبارت‌اند از: تابع هدف مالی که به دنبال حداکثرسازی سود اقتصادی، تابع هدف آلاینده‌گی که به دنبال کاهش میزان آلودگی ایجاد شده و تابع هدف ریسک که به حداکثرسازی میزان کاهش ریسک می‌پردازد و به ترتیب به صورت زیر می‌باشند:

$$\max \quad Pr = \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \pi_{p,r}^{sell} q_{p,r,t}^{sales} - (c_t^{store} + c_t^{trans} + c_t^{raw} + c_t^{conv} + c_t^{risk}) \quad (1)$$

$$\min \quad EMIS = \sum_{t \in T} \sum_{i \in \{k,p\}} \sum_{\theta \in \Theta} \tau_{i,\theta}^{trans} q_{i,\theta,t}^{trans} + \sum_{t \in T} \sum_{i \in \{k,p\}} \sum_{x \in L \cup R} \tau_{i,x}^{store} q_{i,x,t}^{store} \quad (2)$$

$$\max \quad Risk(reduction) = \sum_{w=1}^W \sum_{\Omega=1}^{\Omega_t} \left(\frac{R_w' \Omega z \Omega}{R_w} \right) \quad (3)$$

محدودیت‌های تشکیل دهنده مدل پیشنهادی به صورت زیر نمایش داده می‌شوند

$$c_t^{store} = \sum_{i \in \{k,p\}} \sum_{x \in L \cup R} \pi_{i,x}^{store} q_{i,x,t}^{store} \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$c_t^{trans} = \sum_{i \in \{k,p\}} \sum_{\theta \in \Theta} \pi_{i,\theta}^{trans} q_{i,\theta,t}^{trans} \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$c_t^{raw} = \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \pi_{k,s}^{raw} q_{k,s,t}^{raw} \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$c_t^{conv} = \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \pi_{p,l}^{conv} q_{p,l,t}^{conv} \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$c_t^{risk} = \sum_{\Omega} (z_{\Omega} c_{\Omega}) / 365 \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\mu_{k,s}^{raw} \cdot y_{s,t}^{raw} \leq q_{k,s,t}^{raw} \quad \forall t \in T, s \in S, k \in K \quad (9)$$

$$q_{k,s,t}^{ranw} \leq CAP_{k,s}^{ranw} \cdot y_{s,t}^{ranw} \quad \forall t \in T, s \in S, k \in K \quad (10)$$

$$\mu_{p,l}^{conv} \cdot y_{p,l}^{conv} \leq q_{p,l,t}^{conv} \quad \forall p \in P, l \in L, t \in T \quad (11)$$

$$q_{p,l,t}^{conv} \leq CAP_{p,l}^{conv} \cdot y_{p,l}^{conv} \quad \forall t \in T, l \in L, p \in P \quad (12)$$

$$q_{k,s,t}^{ranw} = \sum_{l \in L} \sum_{(s,l,m) \in \mathcal{G}} q_{p,(s,l),m,t}^{trans} \quad \forall k \in K, s \in S, t \in T \quad (13)$$

$$q_{p,l,t}^{store} = q_{p,l,t-1}^{store} + q_{p,l,t}^{conv} - \sum_{r \in R} \sum_{(l,r,m) \in \mathcal{G}} q_{p,(l,r),m,t}^{trans} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (14)$$

$$q_{p,r,t}^{store} = q_{p,r,t-1}^{store} - q_{p,r,t}^{sales} + \sum_{l \in L} \sum_{\theta \in \mathcal{G}} q_{p,\theta,t-\delta_\theta}^{trans} \quad \forall r \in R, t \in T \quad (15)$$

$$q_{k,l,t}^{store} = q_{k,l,t-1}^{store} - \sum_{p \in P} \varphi_{k,p} \cdot q_{p,l,t}^{conv} + \sum_{s \in S} \sum_{\theta \in \mathcal{G}} q_{k,\theta,t-\delta_\theta}^{trans} \quad \forall t \in T, l \in L, k \in K \quad (16)$$

$$q_{p,r,t}^{sales} + q_{p,r,t}^{lost} = d_{p,r,t} \quad \forall r \in R, t \in T \quad (17)$$

$$\sum_{\Omega=1}^{\Omega_L} z_{\Omega} c_{\Omega} \leq B \quad (18)$$

$$R_w - \sum_{\Omega \in \Omega_L} (R'_{w,\Omega} \cdot z_{\Omega}) \leq R_w^* \quad \forall w \in W \quad (19)$$

$$\sum_{\Omega \in \Omega_L} R'_{w,\Omega} \cdot z_{\Omega} \geq 0 \quad \forall w \in W \quad (20)$$

محدودیت های (۴) تا (۸) به ترتیب بیانگر هزینه های ذخیره سازی، حمل و نقل، خرید ماده خام، هزینه تولید محصول جدید و هزینه های کاهش ریسک می باشند. به علت اینکه هزینه ها در مدل سازی برحسب واحد روزانه مورد استفاده قرار گرفته اند اما انتخاب استراتژی های پاسخگو به ریسک سالانه انتخاب می گردد بنابراین مجموع هزینه این استراتژی ها بر عدد ۳۶۵ تقسیم شده است.

میزان حداقل و حداکثر مقدار انباشته ای که می توان از طرف مرکز تأمین خرید و میزان

حداقل و حداکثر تولید در کارخانه به ترتیب در محدودیت‌های (۹) تا (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به فرض نمودن استراتژی فشار در جریان مواد محدودیت (۱۳) بیانگر انتقال مقادیر تولیدشده در طرف تأمین به کارخانه‌ها و محدودیت (۱۴) بیانگر انتقال محصول تولیدشده جدید از کارخانه به مراکز توزیع می‌باشند. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) به ترتیب نشان‌دهنده قابلیت ذخیره‌سازی محصول نهایی برای یک مدت در کارخانه و تعادل مواد برای محصول نهایی و مواد اولیه می‌باشند. محدودیت (۱۷) بیانگر فروش‌ها و مقادیر فروش ازدست‌رفته در صورت عدم ارضا تقاضا می‌باشد. محدودیت (۱۸) محدودیت بودجه را برای هزینه‌های کاهش ریسک نشان می‌دهد. محدودیت (۱۹) بیانگر این است که حداکثر مقادیر نهایی ریسک باید کمتر یا مساوی با مقدار هدف در نظر گرفته شده برای ریسک‌ها بعد از اجرای استراتژی‌های پاسخگو باشد. محدودیت (۲۰) نشان‌دهنده غیر منفی بودن کاهش کلی سطح ریسک می‌باشد

۲-۲. روش حل پیشنهادی

از روش معیار جامع جهت حل مدل بهینه‌سازی پیشنهادی استفاده شده است. روش معیار جامع با جایگزینی یک هدف بجای چند هدف به دنبال کاهش میزان انحراف هر تابع هدف از مقدار بهینه آن، بدون در نظر گرفتن دیگر توابع هدف، می‌باشد. در تحقیق حاضر معیار جامع وزن‌دهی شده نرمال شده مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور نمایش سه تابع هدف با درجه اهمیت مختلف از وزن‌های $(w_{Pr}, w_{risk}, w_{EMIS})$ استفاده شده است. تابع هدف معیار جامع به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} & MAX \ Z' \\ & = w_{Pr} \cdot \frac{Pr - Pr^{min}}{Pr^{max} - Pr^{min}} + w_{risk} \cdot \frac{risk - risk^{min}}{risk^{max} - risk^{min}} + w_{EMIS} \cdot \frac{EMIS^{max} - EMIS}{EMIS^{max} - EMIS^{min}} \end{aligned} \quad (19)$$

X^{min} و X^{max} که $X \in \{Pr, Risk, EMIS\}$ نشان دهنده حداقل و حداکثر مقدار X در ماتریس بازده می‌باشد. ماتریس بازده یک ماتریس $n \times n$ است که عنصر (i, j) نشان دهنده مقدار تابع هدف j با بهینه کردن تابع هدف i می‌باشد.

۳. نتایج محاسباتی

۳-۱. کارایی مدل پیشنهادی

پس از معرفی مدل پیشنهادی، لازم است ابتدا کارایی مدل ارائه‌شده مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور کارایی مدل توسط یک مسئله نمونه در صنعت محصولات مصرفی برگردش مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله مورد بررسی یک زنجیره تأمین سه لایه شامل شش تأمین‌کننده ماده خام، سه کارخانه تولیدی و نه مرکز توزیع می‌باشد که قابلیت تولید محصول جدید را با استفاده از تسهیلات موجود و چهار ماده خام تولیدی دارا می‌باشد. گام‌های اولیه جهت مدل‌سازی مسئله فوق به صورت زیر می‌باشد:

۱. شناسایی و اندازه‌گیری ریسک‌های NPD در زنجیره موردنظر.
 ۲. معرفی استراتژی‌های پاسخگو جهت مقابله با هر یک از ریسک‌ها.
 ۳. تعیین احتمال وقوع هر ریسک و میزان کاهش عددی ریسک بعد از اجرای استراتژی‌های پاسخگو توسط خبرگان در حوزه مربوطه.
- ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخگو مربوط به هر ریسک در جدول (۲) نمایش داده شده است.

برخی از ریسک‌های مربوط به NPD و استراتژی‌های مناسب پاسخگوی آن‌ها در صنعت محصولات مصرفی، با مصاحبه از خبرگان صنایع مختلف و همچنین مطالعه مقالات در حوزه ریسک محصولات جدید اقتباس گشته که توسط جدول (۲) نشان داده شده است. در خصوص ریسک مربوط به پذیرش مشتریان که اشاره به استقبال مشتریان از محصول جدید دارد، جهت‌گیری فعال بازاریابی^۱ از استراتژی‌هایی است که برای کاهش این ریسک می‌توان به کار گرفت. در جهت‌گیری فعال بازاریابی، باهدف ارائه راه‌حل‌های مناسب و رضایت‌بخش، تلاش می‌شود تا نیازهای نهفته مشتریان شناسایی و درک گردد. شرکت‌هایی که دارای گرایش بازار فعال هستند توانایی بهتری در شناسایی، تمایزگذاری و درک نیازهای پنهان و آشکار مشتریان را دارند و همچنین می‌توانند ریسک عدم انطباق تکنولوژی و نیازهای مشتریان را کاهش داده و به سرعت به سیگنال‌های بازار برای بهبود احتمال موفقیت NPD واکنش نشان دهند. استراتژی‌های بازاریابی برای کاهش ریسک اشاره به استفاده از ابزارهای

مختلف مانند وبسایت، ارسال ایمیل، بازاریابی دهان به دهان، رسانه‌های اجتماعی و ... دارد که از آن‌ها می‌توان جهت معرفی محصول جدید بهره برد. انتخاب درست هر استراتژی می‌تواند میزان ریسک عدم پذیرش محصول جدید توسط مشتریان را کاهش دهد. در خصوص چرخه عمر محصول باید در نظر داشت که هر محصول جدیدی چهار دوره معرفی، رشد، بلوغ و افول را می‌گذراند که مدیران برای این ریسک می‌توانند به دنبال طراحی و معرفی یک محصول جدید به عنوان استراتژی پاسخگوی به این ریسک باشند. برای مقابله با ریسک مشکلات کیفیتی، استراتژی پاسخگوی برنامه پیشرفته کیفیت محصول^۱ (APQP) ابزار بسیار مناسبی است. پیچیدگی محصولات و زنجیره‌های تأمین، منجر به افزایش احتمال عدم موفقیت راه‌اندازی محصولات جدید می‌گردد. APQP یک فرایند ساختاری است که به منظور اطمینان از رضایت مشتری از محصولات یا فرایندهای جدید انجام می‌گردد. هدف APQP تسهیل ارتباط بین تیم طراحی و بقیه سازمان بوده و روشی کاملاً کاربردی است، بنابراین تیم‌ها می‌توانند به منظور طراحی محصولی مطابق با انتظارات مشتری با حداقل هزینه و نیروی کار باهم همکاری نمایند. در صورت بروز مشکل، در مراحل اولیه شناسایی می‌شوند، درحالی‌که هزینه تغییر یا رفع آن‌ها کمترین میزان ممکن را دارد. این امر باعث کاهش کلی هزینه‌های چرخه عمر طراحی، تولید و پشتیبانی از یک محصول می‌گردد. اغلب هزینه‌های طراحی زودتر انجام می‌شود، اما هزینه‌های تولید و پشتیبانی بسیار کمتر است.

جدول ۲- ریسک‌ها و استراتژی‌های پاسخگو به آن‌ها

ریسک‌ها	استراتژی پاسخگو به ریسک‌ها
۱. پذیرش مشتریان	۱. انتخاب استراتژی‌های درست بازاریابی (کانال بازاریابی سازمان‌دهی شده)
	۲. جهت‌گیری فعال بازاریابی
	۳. برند سازی
	۴. تبلیغات
۲. چرخه عمر محصول	۱. طراحی و معرفی یک محصول جدید

ریسک ها	استراتژی پاسخگو به ریسک ها
۳. رقیبان	۱. کاهش قیمت تمام شده ۲. تولید ناب ۳. استفاده از آفرهای فروش
۴. پیش بینی ناصحیح	۱. تحقیقات بازار
۵. مشکلات توزیع برق	۱. خرید ژنراتور
۶. مشکلات تأمین کنندگان	۱. نظارت بر تأمین کننده ۲. ارتقای دانش تأمین کنندگان ۳. تأمین کننده افزونه
۷. کنسل شدن سفارشات	۱. جستجو در هر دوره برای یافتن مشتری های جدید (به ازای یک درصد کنسلی سفارشات در هر دوره باید ماهی یک درصد توزیع کننده جدید بیابیم)
۸. مشکلات کیفیتی	۱. APQP ۲. ایزو
۹. ریسک تغییر درآمدی	۱. تحقیقات بازار ۲. طرح توجیهی
۱۰. حوادث طبیعی	۱. بیمه ۲. افزودن تجهیزات

پارامترهای مورد استفاده در مدل سازی مسئله، به صورت قطعی در نظر گرفته شده و توسط تابع توزیع یکنواخت به صورت تصادفی تولید گشته که توسط جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای ورودی

پارامتر	بازه مربوط به هر پارامتر
$\mu_{k,s}^{rw}$	(0,100000)
$cap_{p,l}^{conv}$	(15000,150000)
$cap_{k,s}^{rw}$	(0,500000)

$\pi_{i,x}^{store}$	(0,0.25)
$\pi_{k,s}^{raw}$	(0,3.2)
$\varphi_{k,p}$	(0,0.9)
$\pi_{s,l,m}^{trans}, \pi_{l,r,m}^{trans}$	اگر $m=1$ باشد... (0.3,0.5) اگر $m=2$ باشد... (0.1,0.2)
c_{Ω}	(100000,400000)
$\tau_{i,x,m=1}^{store}$	(0.0001,0.0003)
$\tau_{i,x,m=2}^{store}$	(0.0004,0.0007)
$\tau_{i,\theta,m=1}^{trans}$	(0.0005,0.0008)
$\tau_{i,\theta,m=2}^{trans}$	(0.0007,0.002)
R_w	(0.25,0.33)
$R_w'_{\Omega}$	(0,0.06)
$\pi_{p,l}^{conv}$	(0.19,2.2)
$\pi_{p,r}^{sell}$	(4.45,10.6)
$\mu_{p,l}^{conv}$	(3000,200000)
$d_{p,r,l}$	(5000,100000)
W	10
Ω_L	20
B	\$3000,000
R_w^*	0.199

نتایج حاصل از حل مدل برای مسئله فوق توسط جداول (۴) تا (۱۲) نمایش داده شده است. لازم به توضیح است که مسئله برای یک دوره حل شده است و تنها محصول این زنجیره، محصول جدید می باشد.

جدول ۴- مقادیر بهینه فروش محصول جدید در نواحی تقاضا ($q_{p,r,t}^{sales}$)

مقادیر بهینه	متغیرها
۷۲۹۰,۰۰	r_1
۳۱۳۵۰	r_2
۴۱۸۲۰	r_3
۱۰۴۲۵۰	r_4
۲۰۶۸۵,۰۰	r_5
۵۲۲۶۰	r_6

جدول ۵- مقادیر بهینه ذخیره مواد اولیه و محصول نهایی

ماده خام	توزیع‌کننده	تولیدکننده	مقادیر بهینه
۱	-----	۱	۸۶۴۶۴,۳
۲	-----	۱	۵۸۳,۵۰
۳	-----	۱	۱۵۷۰,۵۰
۴	-----	۱	۱۸۱۷,۲
۱	-----	۲	۵۸۳,۵۰
۲	-----	۲	۲۵۸۳۰,۷۰
۳	-----	۲	۳۲۳۵۰
۴	-----	۲	۱۵۱۷,۲
-----	۱	-----	۴۲۸۲۰
-----	۲	-----	۱۰۴۲۵۰
-----	۳	-----	۲۴۳۶۹,۱۰
-----	۴	-----	۵۴۳۶,۲

ماده خام	توزیع کننده	تولید کننده	مقادیر بهینه
-----	۵	-----	۹۸۷۶۸
-----	۶	-----	۸۹۷۶۵۰
-----	۷	-----	۴۲۸۲۰
-----	۸	-----	۱۰۴۲۵۰

جدول ۶- مقادیر حمل و نقل محصول نهایی از کارخانه ها به مراکز توزیع

نوع حمل و نقل	تولید کننده	توزیع کننده	مقادیر بهینه
۱	۱	۱	۳۱۲۳۰
۱	۱	۲	۱۵۳۵۰
۱	۱	۳	۱۲۲۶۵,۰۰
۱	۱	۵	۰۵+۱,۰۴E
۱	۱	۷	۸۴۶۰
۱	۱	۸	۲۰۲۶۰
۲	۱	۱	۴۳۲۰۸
۲	۱	۲	۱۷۸۹۰
۲	۱	۳	۳۴۵۶۲
۲	۱	۵	۸۷۶
۲	۱	۷	۵۶۷۴۳
۲	۱	۸	۴۵۳۲۰
۱	۲	۳	۱۱۸۲۰
۱	۲	۵	۳۲۶۲۵
۱	۲	۷	۰۴+۱,۲۲E

نوع حمل و نقل	تولید کننده	توزیع کننده	مقادیر بهینه
۱	۲	۸	۵۴+۵,۲۳E
۲	۲	۳	۳۶۷۵۴
۲	۲	۵	۱۰۶۷۸۵
۲	۲	۷	۸۷۶۵۷
۲	۲	۸	۵۶۷۴۳۱

جدول ۷- مقادیر حمل و نقل از تأمین کنندگان به کارخانه ها

نوع حمل	ماده اولیه	کارخانه	تأمین کننده	مقادیر بهینه
۲	۱	۱	۱	۴۶۳۲
۲	۱	۲	۱	۳۷۰۰۰
۲	۱	۱	۲	۲۱۷۵
۱	۱	۱	۳	۹۵۷۶۰
۲	۲	۱	۴	۶۹۷,۷
۲	۲	۲	۴	۱۱۷۰,۵
۲	۳	۱	۶	۸۰۵۴,۱۷
۲	۴	۱	۶	۱۴۴۵
۲	۱	۱	۱	۲۶۵۸
۱	۱	۲	۱	۴۵۷۲۱
۱	۱	۱	۲	۱۹۸۶۷۵
۲	۱	۲	۲	۱۹۷۶۰
۲	۱	۲	۳	۳۴۲۱۷۰
۱	۲	۲	۴	۱۲۱۰
۲	۲	۱	۵	۱۸۰۰

نوع حمل	ماده اولیه	کارخانه	تأمین کننده	مقادیر بهینه
۲	۳	۲	۶	۹۶۹۸۶
۲	۴	۲	۶	۵۶۳۱۰

جدول ۸- مقادیر بهینه خرید از تأمین کننده ها و تولید در کارخانه ها

ماده خام	تأمین کننده	مقادیر بهینه تأمین	کارخانه	مقادیر بهینه تولید
۱	۱	۲۳۷۰۰۰	۱	۱۰۵۲۵۰
۱	۲	۱۷۰۰۰۰	۲	۱۰۳۱۶۵
۱	۳	۳۱۲۷۴۲,۳	-----	-----
۲	۴	۶۲۰۸,۹	-----	-----
۲	۵	۲۴۹۹,۷	-----	-----
۳	۶	۶۹۵۰۰	-----	-----
۴	۶	۴۹۰۰	-----	-----

جدول ۹- مقادیر فروش از دسته رفته در مراکز توزیع

توزیع کننده	مقادیر بهینه فروش از دست رفته
۴	۱۵۴۱۰
۶	۷۳۶۰۰
۷	۵۶۸۷۰
۸	۵۵۱۵۰

پس از اجرای مدل پیشنهادی از بین استراتژی های پاسخگو به جز استراتژی های ۱۵، ۹، ۸، ۶، ۴، ۳ مابقی انتخاب شدند. نتایج بیانگر عدم صرفه اقتصادی تولید در مرکز تولیدی ۳ و عدم مناسب بودن مراکز توزیع ۴، ۶، ۹ می باشد. جدول (۱۰) مقادیر بهینه توابع هدف و وزن هایی که طبق نظر خبرگان به توابع هدف تخصیص یافته اند نشان می دهد.

جدول ۱۰- مقادیر بهینه توابع هدف و وزن های مربوطه

توابع هدف	وزن تابع هدف	مقادیر بهینه توابع هدف
Pr	۰٫۸	۷۹۷۶۸۶۶٫۷۸
Risk	۰٫۱۵	۵٫۹۷۴
EMIS	۰٫۰۵	۸۲۰٫۷

۳-۲. تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی

به منظور اعتبار سنجی مدل پیشنهادی به تحلیل حساسیت آن پرداخته شده است. به این منظور به بررسی رفتار مدل با تغییر برخی از پارامترهای مهم نظیر پارامتر مالی و ظرفیت تولید مواد اولیه در مسئله نمونه معرفی شده در بخش قبل، پرداخته شده است. لازم به ذکر است از میزان تغییرات ۲۰ درصد برای پارامتر بودجه تخصیص یافته به استراتژی های پاسخگوی ریسک در این تحلیل حساسیت استفاده شده است. جدول (۱۱) نتایج حاصل از تحلیل حساسیت انجام شده را نمایش می دهد.

جدول ۱۱- نتایج حاصل از تغییرات بودجه تخصیصی جهت کاهش ریسک های تولید محصول جدید

کارخانه منتخب تولید محصول جدید	استراتژی انتخاب نشده	تابع هدف آلاینده	تابع هدف ریسک	تابع هدف سود	بودجه تخصیصی
۱،۲	۲،۴،۶،۷،۹،۱۱،۱۳،۱۶،۱۷	۹۸۶٫۸	۴٫۹۱	۷۸۰۷۹۹۹٫۰۳۶	\$۲،۴۰۰،۰۰۰
۱،۲	۳،۴،۶،۸،۹،۱۵	۸۲۰٫۷	۵٫۹۷	۷۹۷۶۸۶۶٫۷۸	\$۳،۰۰۰،۰۰۰
۱،۲	۴،۷،۱۵	۸۹۰٫۶	۶٫۷۳	۷،۹۹۳،۵۳۲٫۲۳	\$۳،۶۰۰،۰۰۰

طبق نتایج جدول (۱۱) با افزایش بودجه تخصیصی به مدیریت ریسک ها میزان سود و مقدار ریسک بهبود می یابند اما به علت افزایش میزان حمل و نقل و ذخیره ناشی از افزایش تولید، میزان آلاینده گی افزایش می یابد. همچنین افزایش میزان بودجه تخصیصی منجر به افزایش تعداد استراتژی های پاسخگوی منتخب می گردد. همان طور که مشاهده می شود تولید محصول جدید در کارخانه سوم مقرون به صرفه نمی باشد.

حال با ثابت در نظر گرفتن بودجه تخصیصی به مدیریت ریسک به میزان ۳,۰۰۰,۰۰۰ دلار به بررسی رفتار مدل با تغییر پارامتر ظرفیت تأمین مواد اولیه تأمین‌کنندگان پرداخته شده است. نتایج حاصل توسط جدول (۱۲) نمایش داده شده است.

جدول ۱۲- نتایج تغییر ظرفیت تأمین‌کنندگان بر متغیرهای مدل

میزان فروش از دست رفته در نواحی تقاضا	کارخانه منتخب تولید محصول جدید	تابع هدف آلایندگی	تابع هدف ریسک	تابع هدف سود	میزان ظرفیت تأمین مواد خام
ناحیه ۴ به میزان ۵۴۰۱۰	۱,۲,۳	۸۴۷,۲	۵,۹۷	۸,۵۲۳,۳۵۷,۰۱۵	با افزایش ۲ برابری ظرفیت تأمین‌کنندگان ۳,۲,۱

پیش از افزایش ظرفیت تأمین مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و بر طبق نتایج جدول (۹) میزان فروش از دست رفته در نواحی ۹,۷,۶,۴ بالا می‌باشد. حال طبق نتایج جدول (۱۲) افزایش ظرفیت تأمین‌کنندگان مواد خام، منجر به بهبود قابل توجهی در میزان سود، ریسک و فروش از دست رفته گردیده است که نهایتاً موجب افزایش رضایت مشتریان خواهد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در محیط رقابتی امروزه، توسعه محصول جدید یکی از عوامل موفقیت سازمان‌ها بشمار می‌رود. از آنجاکه توسعه محصول جدید منجر به پیکره‌بندی مجدد زنجیره تأمین گشته و با ریسک‌های بسیار زیادی همراه است همچنین به علت گرم شدن کره زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط واحدهای صنعتی زنجیره تأمین توجه به مسائل زیست محیطی در کنار سایر اهداف در پیکره‌بندی زنجیره ضروری می‌نماید. با توجه به موارد ذکر شده تحقیق حاضر، به مدل‌سازی ریسک در پیکره‌بندی زنجیره تأمین به هنگام توسعه محصول جدید و با توجه به فاکتورهای محیطی و مالی می‌پردازد. زنجیره تأمین مورد بررسی یک زنجیره چندلایه، چند منبعی است که به شناسایی بهترین استراتژی‌های مدیریت ریسک‌های شناسایی شده و

نیز اتخاذ تصمیمات فنی، استراتژیکی و عملیاتی بهینه می‌پردازد. مدل پیشنهادی یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) با پارامترهای قطعی می‌باشد. به علت کوتاه شدن چرخه عمر محصولات و افزایش فشار وارده برای نوآوری در محصول ناشی از افزایش رقابت و انتظارات مشتری به تولیدکنندگان صنایع مصرفی پر گردش، کارایی مدل پیشنهادی با ایجاد یک مسئله نمونه در این صنعت مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از تحلیل حساسیت پارامترهای مدل استفاده شده است. آنالیز حساسیت انجام شده اثر تغییرات پارامترهای مختلف را روی متغیرهای تصمیم و توابع هدف نشان می‌دهد. با توجه به خروجی‌ها مشخص شد که با افزایش ظرفیت تولید مواد اولیه در تأمین‌کنندگان و همچنین کاهش هزینه‌های تولید، بهبود زیادی در دو تابع هدف ریسک و سود مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی، بیانگر توانایی زنجیره تأمین پیکره‌بندی شده توسط مدل پیشنهادی جهت توسعه محصول جدید قابلیت کاربرد آن در مسائل واقعی و کاربردی می‌باشد. توسعه زنجیره در ابعاد بزرگ‌تر، در نظر گرفتن عدم قطعیت برخی از پارامترهای مدل نظیر تقاضا یا ظرفیت تأمین‌کنندگان، همبستگی میان ریسک‌ها و بررسی فاکتورهای دیگر نظیر رضایت مشتریان یا پایداری در مدل‌سازی پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی می‌باشند.

منابع

- Afrouzy, Z. A., & al., e. (2016). "A fuzzy stochastic multi-objective optimization model to configure a supply chain considering new product development". *Applied Mathematical Modelling*, 40(17-18) pp. 7545-75.
- Afrouzy, Z. A., Nasseri, S. H., & Mahdavi, I. (2016). "A genetic algorithm for supply chain configuration with new product development". *Computers & Industrial Engineering*, 101, pp. 440-454.
- Amini, M., & Li., H. (2011). "Supply chain configuration for diffusion of new products: an integrated optimization approach". *Omega*, 39, 313-322.
- Aqlan, F., & Lam, S. S. (2015). "A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment". *International Journal of Production Economics*, 161, 54-63.
- Aqlan, F., & Lam, S. S. (2016). "Supply chain optimization under risk and uncertainty: A case study for high-end server manufacturing". *Computers & Industrial Engineering*, 78-87.
- Brandenburg, M. (2015). "Low carbon supply chain configuration for a new product-a

- goal programming approach". *International Journal of Production Research*, 53(21), pp.6588-6610.
- Brandenburg, M. (2017). "A hybrid approach to configure eco-efficient supply chains under consideration of performance and risk aspects". *Omega*, 70, pp. 58-76.
- Fourt, L. A., & Woodlock, J. W. (1960). "Early prediction of market success for new grocery products". *The Journal of Marketing*, 31-38.
- Gaur, J., Amini, M., & Rao, A. K. (2017). "Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model". *Omega*, 212-223
- Graves, S. C., & Willems, S. P. (2005). "Optimizing the supply chain configuration for new products". *Management Science*, 51(8), pp. 1165-1180.
- Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015). "A critical review on supply chain risk definition, measure and modeling". *Omega*, 52, 119-32.
- Jafarian, M., & Bashiri, M. (2014). "Supply chain dynamic configuration as a result of new product development". *Applied Mathematical Modelling*, 38(3), pp. 1133-1146.
- Jahani, H., Abbasi, B., & Alavifard, F. (2017). "Supply chain network reconfiguration in new products launching phase". 2017 IEEE International Conference on. (pp. 95-99). IEEE.
- Juneja, P. (2008). "Product Development Process - Developing New Market Offerings". <https://www.managementstudyguide.com/product-development-process.htm>.
- Kayis, B., Arndt, G., Zhou, M., & Amornsawadwatana, S. (2007). "A risk mitigation methodology for new product and process design in concurrent engineering projects". *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 56(1)167-170.
- Khojasteh-Ghamari, Z., & Takashi, I. (2018). "Supply Chain Risk Management: A Comprehensive Review". (pp. 3-22). Singapore: Springer.
- Klibi, W., Martel, A., & Guitoni, A. (2010). "The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review". *European Journal of Operational Research*, 203, 1283.
- Li, H., & Amini, M. (2012). "A hybrid optimization approach to configure a supply chain for new product diffusion: a case study of multiple-sourcing strategy". *International Journal of Production Research*, 50, 3152-3171.
- Markham, S. K., & Lee, H. (2013). "Product Development and Management Association's 2012 Comparative Performance Assessment Study". *Journal of Product Innovation Management*, 30, 408-429.
- Mu, J., Peng, G., & MacLachlan, D. L. (2009). "Effect of risk management strategy on NPD performance". *Technovation*, 29, 170-180.
- Nepal, B., Monplaisir, L., & Oluwafemi, F. (2011). "A multi-objective supply chain configuration model for new products." *International Journal of Production Research*. 49, 7107-7134.

- Peidro, D., Mula, J., Poler, R., & Lario, F. C. (2009). "Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3-4), pp. 400-420.
- Prakash, S., Gunjan, S., & Ajay Pal Singh, R. (2017). "A critical analysis of supply chain risk management content: a structured literature review". *Journal of Advances in Management Research*, 69-90.
- Tang, O., & Mena, S. (2011). "Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management". *International Journal of Production Economics*, 133 125-34.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2009). "Product Design and Development. NY: McGraw-Hill".