

مدل سازی ریاضی انعطاف پذیری زنجیره تأمین با استفاده از برنامه ریزی آرمانی

دکتر احمد جعفر نژاد*، مهرداد یاسایی**

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲ - تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۳۰)

چکیده

با توجه به تغییرات شرایط تولید و بازار، شرکت‌ها با فشار زیادی مواجه شده‌اند. یکی از راه‌های برخورد با این فشارها، مفهوم زنجیره تأمین و افزایش انعطاف پذیری آن برای برآوردن نیازهای متفاوت مشتریان است. با وجود اهمیت فراوان انعطاف پذیری زنجیره تأمین، کمبود مدل‌های تحلیلی مناسبی که روابط بین میزان انعطاف پذیری در یک سیستم و سطح عملکرد کلی سیستم را توضیح دهد، همچنان احساس می‌شود. بنابراین، در این مطالعه یک مدل ریاضی برای انعطاف پذیری زنجیره تأمین ارائه شده است. مطالعه حاضر به لحاظ هدف، کاربردی است و از انواع تحقیقات توصیفی است. این مطالعه در دو مرحله انجام شده است؛ شناسایی ابعاد انعطاف پذیری زنجیره تأمین و مدل سازی ریاضی آن با استفاده از برنامه ریزی آرمانی. ابعاد شناسایی شده در مرحله اول، انعطاف پذیری نیروی انسانی، ماشین آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند هستند که ابعادی عمومی و مهم برای ارزیابی هر یک از سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ در زنجیره تأمین به شمار می‌روند. حاصل مرحله دوم، طراحی مدلی ریاضی برای هر یک از این سه سطح، به صورت جداگانه اما وابسته به سایر سطوح از طریق تابع هدف‌شان بود که محدودیت‌های‌شان براساس ابعاد شناسایی شده در مرحله اول تعریف شده‌اند.

کلمات کلیدی: انعطاف پذیری زنجیره تأمین، مدل سازی ریاضی، برنامه ریزی آرمانی

* استاد دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

** دکتری مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات (استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه تهران)، (نویسنده مسئول)

مقدمه

با توجه به تغییرات شرایط تولید و بازار، شرکت‌ها با فشار زیادی مواجه شده‌اند. یکی از راه‌های برخورد با این فشارها، مفهوم زنجیره تأمین و افزایش انعطاف پذیری آن برای برآوردن نیازهای متفاوت مشتریان است. زنجیره تأمین به مجموعه‌ای از تلاش‌ها اطلاق می‌شود که در تولید و ارائه یک محصول نهایی یا خدمت، از تأمین کنندگان تا مشتری نهایی را دربرمی‌گیرد (داکلاس^۱ و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۴۸). اعضای یک زنجیره تأمین معمولی عبارتند از: تأمین کنندگان، انبارهای مواد اولیه، مراکز تولید، توزیع کنندگان، خرده‌فروشی‌ها و مشتری نهایی (تیموری و احمدی، ۱۳۸۸: ۴). با گسترش مبانی رقابتی در زنجیره تأمین، افزایش پیچیدگی ساختارهای تولید، زمان‌های تحویل کوتاه‌تر، ضرورت تولید سفارشی محصولات (وینکلر و سیباچر^۲، ۲۰۱۲: ۱۴۷)، همچنین تغییرات در مقدار سفارش (دیهاو^۳، ۲۰۰۸: ۶۱۴)، انعطاف پذیری، یک مسئله حیاتی شده است؛ تا حدی که به عنوان شاخص چهارم عملکرد پس از هزینه، کیفیت و قابلیت اطمینان مطرح می‌شود (برتراند^۴، ۲۰۰۳: ۱۳۳). انعطاف پذیری به معنای تغییرپذیری به منظور سازگاری و مناسب بودن برای محیط و تغییرات آن در موقعیت‌های متفاوت است (مردمی و دلشاد، ۱۳۸۹: ۱۱۰) و زنجیره تأمین نیاز دارد تا انعطاف پذیر باشد، زیرا عملیات آن همیشه در معرض انواع عدم قطعیت‌ها مانند تقاضای مشتری و ظرفیت تأمین کننده قرار دارد (چان^۵ و چان، ۲۰۱۰: ۳۳۱). انعطاف پذیری زنجیره تأمین، توانایی سیستم برای برآوردن انتظارات گوناگون در حال افزایش مشتری در کمترین زمان، هزینه، زیان عملکردی و اختلالات سازمانی است (گریگور^۶، ۲۰۰۷: ۶۶). شرکت‌هایی با ویژگی انعطاف پذیری، بالقوه دارای مزیت رقابتی هستند (چو^۷، ۲۰۱۱: ۲۷۹). با وجود اهمیت فراوان انعطاف پذیری زنجیره تأمین، کمبود مدل‌های تحلیلی مناسبی که روابط بین میزان انعطاف پذیری در یک سیستم و سطح عملکرد کلی سیستم را توضیح دهد، همچنان احساس می‌شود. بنابراین، در این مطالعه به ارائه یک مدل ریاضی برای انعطاف پذیری زنجیره تأمین پرداخته شده، که این امر در دو مرحله انجام

1- Duclos

2- Winkler and Seebacher

3- Daihua

4- Bertrand

5- Chan

6- Grigore

7- Chuu

شده است. در مرحله آغازین با توجه به تعریف زنجیره تأمین و امکان دسترسی به اطلاعات، سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ، برای زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. سپس به منظور ارزیابی انعطاف‌پذیری هر یک از این سطوح، به شناسایی ابعاد عمومی تر و مهم‌تر بین آنها، پرداخته شده است. در مرحله دوم برای هر یک از این سه سطح به صورت جداگانه اما وابسته به سایر سطوح از طریق تابع هدف‌شان، مدلی ریاضی طراحی شده است که محدودیت‌های‌شان بر اساس ابعاد شناسایی شده در مرحله قبل تعریف شده‌اند.

پیشینه پژوهش. تحقیقات گوناگونی تاکنون در رابطه با انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین انجام شده است که در ادامه به مجموعه‌ای از آنها که نشان‌دهنده جنبه‌های متفاوتی از انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین هستند اشاره خواهد شد.

سکری به تعریف جامعی از انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین ارتش و معیارهای ارزیابی عملکرد آن پرداخته است (سکری، ۲۰۱۴). بلوم و همکارانش اثر انتقال دانش را روی انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین با استفاده از روش تحلیل رگرسیونی سلسله‌مراتبی مورد بررسی قرار داده‌اند (بلوم و همکاران، ۲۰۱۳). مون و همکارانش مقیاسی چندبعدی و معتبر را برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین شرکت‌های تولیدی پوشاک و نساجی ارائه کرده‌اند (مون و همکاران، ۲۰۱۲). اکار و کدپساگلو اثر انعطاف‌پذیری حجم و ذخیره‌سازی را بر عملکرد زنجیره تأمین مورد بررسی قرار دادند (اکار و کدپساگلو، ۲۰۱۱). فرانساز و همکارانش یک فرایند تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای را در نظر گرفتند. به این ترتیب که در اولین مرحله یک ترکیب انعطاف‌پذیری بهینه که با تقاضای پویا و نامطمئن مواجه است انتخاب و در مرحله دوم، تولید عملیاتی برای تقاضای واقعی نشان داده می‌شود (فرانساز و همکاران، ۲۰۰۹). چاندر و گرایس در مقاله‌ایساز تعریف ماهیت انعطاف‌پذیری به طور خلاصه به توصیف انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین، مسائل مربوط به آن

-
- 1- Sokri
 - 2- Blome
 - 3- Moon
 - 4- Acar and Kadipasaoglu
 - 5- Francas
 - 6- Chandra and Grabis

و ابزار و تکنیک‌های بالقوه مورد استفاده برای طراحی و مدل‌سازی آن پرداختند (چاندرا و گرابیس، ۲۰۰۹). گانگ در مقاله‌اش ابتدا مهمترین عوامل مؤثر بر انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را شناسایی کرده، سپس با ادغام این عوامل مدلی ساخته که افزایش سود اقتصادی حال و آینده انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را اندازه‌گیری می‌کند. این مدل با هدف قراردادن بهینه کردن سود به تصمیم‌گیری در مورد انعطاف‌پذیری سیستم کمک می‌کند (گانگ، ۲۰۰۸). اپریل و همکارانش ساختارهای متفاوتی از انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده و تولیدکننده را با توجه به شرایط تقاضای بازار و تمرکز تولیدکننده مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای تعیین ساختار انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین یک مدل ریاضی خطی طراحی کردند و حداکثر کردن مقدار تولید در افق برنامه‌ریزی که معادل کمینه کردن فروش از دست‌رفته است را به عنوان هدف در نظر گرفتند (اپریل و همکاران، ۲۰۰۵). لوماس و همکارانش به توسعه مدل انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین پرداختند (لوماس و همکاران، ۲۰۰۵). سنچز و پرز به بررسی رابطه بین انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین و عملکرد شرکت پرداختند (سنچز و پرز، ۲۰۰۵). گاراولی مدلی را برای ارزیابی اثر درجات مختلف انعطاف‌پذیری روی عملکرد زنجیره تأمین ارائه داد (گاراولی، ۲۰۰۳). ووکورکا و اولری-کلی در مطالعه‌ای ادبیات انعطاف‌پذیری تولید را به صورت نسبتاً جامعی مرور کرده‌اند. آن‌ها هشت بعد مختلف انعطاف‌پذیری که توسط براون و همکارانش و یازده بعدی که توسط ستی و ستی مطرح شده بود را به ۱۵ بعد گسترش دادند (ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).

آنچه در مطالعه پیشینه این پژوهش اهمیت دارد شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، از طریق بررسی نقشه راه سایر محققین است. مؤلفه‌ها و ابعاد استخراج شده از ادبیات تحقیق به شرح جدول ۱ هستند.

- 1- Gong
- 2- Aprile
- 3- Lummus
- 4- Sánchez and Pérez
- 5- Garavelli
- 6- Vokurka and O'Leary-Kelly
- 7- Browne
- 8- Sethi and Sethi

جدول ۱: مؤلفه‌ها و ابعاد استخراج شده از ادبیات تحقیق

پژوهشگران (سال)	ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین: مؤلفه‌های انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین
سکری (۲۰۱۴)	انعطاف‌پذیری حجم و انعطاف‌پذیری تحویل (سکری، ۲۰۱۴).
مون و همکاران (۲۰۱۲)	انعطاف‌پذیری منبع‌یابی: تعداد تأمین‌کنندگان در دسترس، دامنه محصولات و خدمات ارائه شده توسط تأمین‌کنندگان اصلی و دامنه تأمین‌کنندگانی که محصولات/قطعات/مواد اصلی را ارائه می‌کنند. انعطاف‌پذیری سیستم تولید و عملیات: دامنه محصولات و خدمات جدیدی که شرکت می‌تواند هر سال توسعه دهد، توانایی تغییر حجم خروجی، توانایی تغییر ترکیب محصولات و خدمات و توانایی تنظیم تجهیزات و فرایندهای تولید. انعطاف‌پذیری توزیع: توانایی تغییر مکان انبار، ظرفیت بارگیری و دیگر امکانات توزیع، توانایی تغییر روش‌های تحویل و توانایی انتقال برنامه‌ی زمانی تحویل. انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی: پشتیبانی سیستم‌های اطلاعاتی از مدیریت توزیع و حمل‌ونقل و پشتیبانی سیستم‌های اطلاعاتی از مدیریت موجودی شرکت (مون و همکاران، ۲۰۱۲).
گانگ (۲۰۰۸)	انعطاف‌پذیری نیروی کار، انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات، انعطاف‌پذیری تعمیرات و نگهداری و انعطاف‌پذیری فن‌آوری اطلاعات (گانگ، ۲۰۰۸).
ایپریل و همکاران (۲۰۰۵)	انعطاف‌پذیری فرایند و انعطاف‌پذیری پشتیبانی (ایپریل و همکاران، ۲۰۰۵).
لوماس و همکاران (۲۰۰۵)	سیستم‌های تولید و عملیات: پیکربندی مجدد دارایی‌ها، تغییر فرایندها و تنظیم ظرفیت به‌طور پویا. فرایندهای پشتیبانی: تنظیم کردن خود با الزامات جهانی، برآوردن نیازهای متمایز مشتری، فضای انبار متغیر، متصدیان حمل‌ونقل مختلف و خبر دادن به تعویق افتادن محصول. شبکه تأمین: اضافه یا حذف کردن تأمین‌کنندگان، انتخاب تأمین‌کنندگان با شیب سریع و زیاد، روابط متفاوت با تأمین‌کنندگان و داشتن تأمین‌کنندگانی با ظرفیت متفاوت. طراحی سازمانی: تغییر ساختار سازمانی، تغییر شیوه‌های منابع انسانی، تغییر توانایی‌های نیروی کار، ارتباط نیروی کار بین گره‌ها و تغییر فرهنگ. سیستم‌های اطلاعاتی: هماهنگی سیستم‌های اطلاعاتی با شرکا، روابط داخلی فرایندها و به اشتراک‌گذاری اطلاعات با شرکا (لوماس و همکاران، ۲۰۰۵).
سنچز و پرز (۲۰۰۵)	انعطاف‌پذیری تحویل، انعطاف‌پذیری حجم، انعطاف‌پذیری ارسال، انعطاف‌پذیری بازار، انعطاف‌پذیری محصول، انعطاف‌پذیری توزیع، انعطاف‌پذیری نقل و انتقال بار، انعطاف‌پذیری تأخیر، انعطاف‌پذیری راه‌اندازی و انعطاف‌پذیری منبع‌یابی (سنچز و پرز، ۲۰۰۵).
گاراولی (۲۰۰۳)	انعطاف‌پذیری فرایند و انعطاف‌پذیری پشتیبانی (گاراولی، ۲۰۰۳).
ووکورکا و اولری-کلی (۲۰۰۰)	انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات، انعطاف‌پذیری جریان مواد، انعطاف‌پذیری عملیات، انعطاف‌پذیری اتوماسیون، انعطاف‌پذیری نیروی انسانی، انعطاف‌پذیری فرایند، انعطاف‌پذیری تعمیرات و نگهداری، انعطاف‌پذیری محصول، انعطاف‌پذیری طراحی جدید، انعطاف‌پذیری تحویل محصول، انعطاف‌پذیری حجم، انعطاف‌پذیری توسعه یا گسترش، انعطاف‌پذیری برنامه، انعطاف‌پذیری تولید و انعطاف‌پذیری بازار (ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).

همچنین با مطالعه پیشینه پژوهش می توان به زمینه‌هایی از انعطاف پذیری زنجیره تأمین که نیاز به پژوهش بیشتر دارند پی برد که از آن جمله مدل سازی ریاضی آن می باشد. این پژوهش مشابه پژوهش گانگ (گانگ، ۲۰۰۸) است با این تفاوت که در انتخاب ابعاد به جای انعطاف پذیری فن آوری اطلاعات، انعطاف پذیری فرایند، انتخاب شده است. همچنین از نظر مدل سازی بین این دو پژوهش تفاوت‌هایی وجود دارد از جمله این که مدل طراحی شده توسط گانگ شامل دو مرحله تأمین و تولید می باشد؛ اما مدل طراحی شده در این پژوهش علاوه بر آن دو مرحله، شامل مرحله مونتاژ نیز است. از دیگر تفاوت‌های این پژوهش با پژوهش گانگ، استفاده از برنامه ریزی آرمانی به منظور مدل سازی می باشد.

روش پژوهش

هدف از انجام این پژوهش توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است و از آن جاکه به مطالعه وضعیت موجود می پردازد، در زمره تحقیقات توصیفی قرار می گیرد. در این پژوهش برای گردآوری اطلاعات از دو روش میدانی و کتابخانه‌ای استفاده شده است.

فرایند انجام پژوهش

این مطالعه در دو مرحله انجام شده است. در مرحله آغازین با توجه به تعریف زنجیره تأمین و امکان دسترسی به اطلاعات، سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ، برای زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. سپس به منظور ارزیابی انعطاف پذیری هر یک از این سطوح، به شناسایی ابعاد عمومی تر و مهم تر بین آنها، پرداخته شده است. در مرحله دوم برای هر یک از این سه سطح به صورت جداگانه اما وابسته به سایر سطوح از طریق تابع هدف شان، مدلی ریاضی طراحی شده است که محدودیت‌های شان براساس ابعاد شناسایی شده در مرحله قبل تعریف شده اند. جزئیات هر یک از این مراحل در ادامه تشریح شده است.

شناسایی ابعاد انعطاف پذیری زنجیره تأمین. نقطه آغازین این تحقیق شناسایی ابعادی از انعطاف پذیری است، که در زنجیره تأمین مهم تر و عمومی تر می باشند. بنابراین پس از بررسی

مقالات مرتبط با انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین با توجه به محیط عملیاتی کارخانه مورد مطالعه، همچنین اهمیت ابعاد مختلف و محدودیت‌های دیگر موجود در تحقیق، سعی شده که ابعاد مهم‌تر و کاربردی‌تر انتخاب شوند. ابعاد انتخاب شده این پژوهش شامل انعطاف‌پذیری نیروی انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند می‌باشند.

جدول ۲: تعاریف ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین

ابعاد	تعاریف
انعطاف‌پذیری نیروی انسانی	دامنه وظایفی که یک اپراتور در سیستم می‌تواند انجام دهد (گانگ، ۲۰۰۸؛ لوماس و همکاران، ۲۰۰۵ و ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).
انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات	سهولت اعمال تغییرات مورد نیاز برای تولید مجموعه مشخص از انواع قطعات (براون و همکاران، ۱۹۸۴؛ گانگ، ۲۰۰۸ و ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).
انعطاف‌پذیری تعمیرات و نگهداری	توانایی مقابله با خرابی‌ها و ادامه تولید مجموعه‌ای مشخص از انواع قطعات (براون و همکاران، ۱۹۸۴؛ گانگ، ۲۰۰۸ و ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).
انعطاف‌پذیری فرایند	توانایی تولید یک مجموعه مشخص از انواع قطعات، هرکدام احتمالاً با استفاده از مواد متفاوت و شیوه‌های مختلف (اپریل و همکاران، ۲۰۰۵؛ براون و همکاران، ۱۹۸۴؛ گاراوولی، ۲۰۰۳ و ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).

مدل‌سازی ریاضی انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین. در این مرحله به طراحی یک مدل ریاضی برای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین پرداخته شده است و سعی شده تا ابعاد انتخاب شده در مرحله قبل در مدل گنجانده شوند. مدل طراحی شده، یک زنجیره تأمین را در سه سطح؛ تأمین، تولید و مونتاژ، مورد بررسی قرار می‌دهد که در واقع به صورت مرحله به مرحله می‌باشد؛ یعنی برای مثال جواب به دست آمده برای مدل مرحله اول (سطح سوم زنجیره تأمین یعنی مونتاژ) در مدل مرحله دوم (سطح دوم زنجیره تأمین یعنی تولید) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، انعطاف‌پذیری نیروی انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند، به صورت هماهنگ در نظر گرفته می‌شوند و انعطاف‌پذیری در هر یک از سطوح زنجیره تأمین با استفاده از این ۴ بعد مورد بررسی قرار می‌گیرند.

• مدل ریاضی ارائه شده برای سطح سوم زنجیره تأمین (مونتاژ)

اندیس های به کار گرفته شده در این مدل عبارتند از:

i : علامت نوع محصول ($i=1, 2, \dots, I$)

a : علامت مونتاژ کننده ($a=1, 2, \dots, A$)

h : علامت بازار ($h=1, 2, \dots, H$)

j : علامت تیم های کاری در مونتاژ کننده ها ($j=1, 2, \dots, J$)

همچنین پارامترهای استفاده شده در مدل به شرح زیر می باشند:

$X_{ija}h$: تعداد محصول نوع i ام مونتاژ شده توسط تیم j ام در مونتاژ کننده a ام ارائه شده به

بازار h ام.

$X_{ia}h$: تعداد محصول نوع i ام مونتاژ شده توسط مونتاژ کننده a ام ارائه شده به بازار h ام.

α_{ija} : زمان مورد نیاز برای مونتاژ محصول i ام توسط تیم j ام در مونتاژ کننده a ام.

T_{ja} : کل زمان در دسترس تیم j ام در مونتاژ کننده a ام.

d_{ih}^- : متغیر انحراف منفی از آرمان تقاضا برای محصول i در بازار h ام.

d_{ih}^+ : متغیر انحراف مثبت از آرمان تقاضا برای محصول i در بازار h ام.

d_{ja}^- : متغیر انحراف منفی از آرمان زمان در دسترس برای تیم j ام در مونتاژ کننده a ام.

d_{ja}^+ : متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان در دسترس برای تیم j ام در مونتاژ کننده a ام.

مدل ریاضی ارائه شده برای سطح سوم زنجیره تأمین (مونتاژ) به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_h (d_{ih}^- + d_{ih}^+), \sum_a (d_{ja}^- + d_{ja}^+) \forall i, \forall j \\ \sum_a \sum_h \sum_j X_{ija}h + \sum_h (d_{ih}^- + d_{ih}^+) &= \sum_h D_{ih} \forall i \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_i (\sum_h X_{ija}h) \alpha_{ija} + d_{ja}^- - d_{ja}^+ = T_{ja} \forall j, \forall a \quad (2)$$

$$J = \sum_a J_a \quad (3)$$

$$I = \sum_a I_a \quad (4)$$

$$X_{ija}h \geq 0 \forall i, \forall j, \forall a, \forall h$$

$$X_{ia}h \geq 0 \quad \forall i, \forall a, \forall h$$

$$i \in [1, I] a \in [1, A] h \in [1, H] j \in [1, J]$$

در این مدل توانایی برآوردن نیازهای متنوع و در حال تغییر مشتریان در نقاط مختلف به‌عنوان معیار ارزیابی عملکرد انعطاف‌پذیری یک زنجیره تأمین در نظر گرفته شده‌است. لذا مسئله را می‌توان به‌منظور کمینه کردن میزان فروش ازدست‌رفته برای محصولات در بازارهای گوناگون فرموله کرد. از آنجایی که هر مجموعه برای فعالیت تولیدی خود با توجه به تجارب کسب‌شده به پیش‌بینی تقاضای آینده مبادرت می‌کند و تمام امکانات و ظرفیت خود را برای ارضای تقاضای پیش‌بینی شده به کار می‌گیرد؛ لذا می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت آرمان چنین سیستمی این است که با استفاده از تمامی ظرفیت خود بتواند تقاضای پیش‌بینی شده را برآورده نماید؛ به‌عبارت دیگر، عدم برآوردن تقاضای پیش‌بینی شده معادل فروش ازدست‌رفته سیستم می‌باشد. برای سادگی فرض کردیم که تمامی محصولات تولیدشده برای فروش در بازارهای گوناگون به فروش می‌رسند. محدودیتی که به‌عنوان محدودیت اول در نظر گرفته شده‌است بیانگر آرمان برآوردن کامل تقاضای پیش‌بینی شده می‌باشد. درواقع این اطمینان را می‌دهد که مدل در جهت رسیدن به آرمان موردنظر تلاش می‌کند. این امر به کمک متغیرهای انحراف از آرمان بیان شده‌است. محدودیت شماره ۲ انعطاف‌پذیری نیروی کار را نشان می‌دهد. به‌این ترتیب که حاصل ضرب تعداد محصول نوع i ام مونتاژشده توسط تیم A ام در مونتاژکننده B ام فروش‌رفته در بازار A ام در مدت زمان موردنیاز برای ساخت هر واحد از همان محصول توسط تیم کاری می‌بایست از کل زمان در دسترس تیم‌های کاری کمتر باشد. محدودیت شماره ۳ بیان می‌کند که تعداد تیم‌های کاری موجود در بخش مونتاژکننده‌های زنجیره، با کل تیم‌های کاری موجود در هر مونتاژکننده، برابر است. همچنین محدودیت شماره ۴ نیز تعداد کل انواع محصولات که در بخش مونتاژکننده‌های زنجیره مونتاژ می‌شود را نشان می‌دهد.

• مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح دوم زنجیره تأمین (تولید)

اندیس‌های به کار گرفته‌شده در این مدل عبارتند از:

B : علامت قطعات کلی (محصول میانی) تولیدشده توسط تولیدکننده ($Bb, b=1, 2, \dots$)

Z : علامت تولید کننده ($= 1, 2, \dots, ZZ$)

α : علامت مونتاژ کننده ($= 1, 2, \dots, A\alpha$)

e : علامت تیم های کاری در تولید کننده ها ($= 1, 2, \dots, Ee$)

c : علامت ماشین آلات در تولید کننده ها ($= 1, 2, \dots, Cc$)

همچنین پارامترهای استفاده شده در مدل به شرح زیر می باشند:

$X_{b\alpha Z}$: تعداد قطعه نوع b تولید شده در تولید کننده Z ارائه شده به مونتاژ کننده α ام.

$X_{b\alpha Z\alpha}$: تعداد قطعه نوع b ام تولید شده توسط تیم α امدر تولید کننده Z ارائه شده به

مونتاژ کننده α ام.

$\alpha_{b\alpha Z}$: زمان مورد نیاز برای تولید قطعه b ام توسط تیم α ام در تولید کننده Z ام.

$T_{e\alpha Z}$: کل زمان در دسترس تیم α ام در تولید کننده Z ام.

$X_{b\alpha Z\alpha}$: تعداد قطعه نوع b ام تولید شده توسط ماشین α ام در تولید کننده Z ام ارائه شده به

مونتاژ کننده α ام.

$t_{bc\alpha}$: زمان مورد نیاز برای تولید قطعه b ام توسط ماشین c ام در تولید کننده Z ام.

$\delta_{c\alpha Z}$: احتمال درست کار کردن ماشین c ام در تولید کننده Z ام در یک مدت زمان مشخص.

$S_{b\alpha Z}$: زمان مورد نیاز برای تنظیم ماشین c ام در تولید کننده Z ام برای تولید قطعه b ام.

$T_{c\alpha Z}$: کل زمان در دسترس ماشین c ام در تولید کننده Z ام.

r_{bi} : ضریب قطعه b ام برای محصول i ام موجود در BOM.

$d_{e\alpha Z}^-$: متغیر انحراف منفی از آرمان زمان در دسترس برای تیم α ام در تولید کننده Z ام.

$d_{e\alpha Z}^+$: متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان در دسترس برای تیم α ام در تولید کننده Z ام.

$d_{c\alpha Z}^-$: متغیر انحراف منفی از آرمان زمان در دسترس برای ماشین c ام در تولید کننده Z ام.

$d_{c\alpha Z}^+$: متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان در دسترس برای ماشین c ام در تولید کننده Z ام.

مدل ریاضی ارائه شده برای سطح دوم زنجیره تأمین (تولید) به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_e (d_{e\alpha Z}^- + d_{e\alpha Z}^+), \sum_c (d_{c\alpha Z}^- + d_{c\alpha Z}^+) \forall Z \\ \sum_b (\sum_\alpha X_{b\alpha Z\alpha}) \alpha_{b\alpha Z} + d_{e\alpha Z}^- - d_{e\alpha Z}^+ &= T_{e\alpha Z} \forall e, \forall Z \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sum_b((\sum_\alpha X_{bcz\alpha})t_{bcz}/\delta_{cz} + S_{bcz}) + d_{cz}^- - d_{cz}^+ = T_{cz} \forall c, \forall z \quad (6)$$

$$\sum_\alpha \sum_z (\sum_b (X_{bcz\alpha} + X_{bcz\alpha})) = 0.5 \sum_\alpha \sum_z \sum_b X_{bcz\alpha} \forall \alpha, \forall c \quad (7)$$

$$\sum_\alpha \sum_z X_{bcz\alpha} = \sum_i (r_{bi} (\sum_j \sum_\alpha \sum_h X_{ijah})) \forall b \quad (8)$$

$$E = \sum_z E_z \quad (9)$$

$$B = \sum_z B_z \quad (10)$$

$$C = \sum_z C_z \quad (11)$$

$$X_{bcz\alpha} \geq 0 \quad \forall b, \forall z, \forall \alpha$$

$$b \in [1, B] z \in [1, Z] \alpha \in [1, A] \varepsilon \in [1, E] c \in [1, C]$$

در این مرحله با توجه به جوابی که از مدل سطح سوم به دست آمده است؛ برای تأمین محصولات مورد نیاز اقدام می‌شود. در واقع مدل سعی می‌کند که از تمامی امکانات و ظرفیت‌های موجود بنگاه‌های فعال در زنجیره، با استفاده از متغیرهای انحراف از آرمان، بهره‌گیرد تا بتواند پاسخ‌گوی تقاضای مورد نیاز سطح سوم زنجیره باشد. محدودیت شماره ۵ انعطاف‌پذیری نیروی کار را نشان می‌دهد و محدودیت شماره ۶ بیان‌کننده انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات است. در مورد انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات عمده توجهات به زمان تنظیم ماشین‌آلات برای تولید مجموعه‌های قطعات معطوف شده است و با توجه به همین نکته انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات فرموله شده است. محدودیت شماره ۷ و ۸، ارضای کامل محصول مورد نیاز در سطح سوم را بیان می‌کند. به این ترتیب که مدل با توجه به جوابی که از مدل سطح سوم به دست آورده در جهت ارضای کامل محصول مورد نیاز در سطح سوم برمی‌آید. محدودیت شماره ۹ بیان می‌کند که تعداد تیم‌های کاری موجود در بخش تولید برابر است با کل تیم‌های کاری موجود در هر تولیدکننده و محدودیت شماره ۱۰ تعداد کل قطعات کلی (محصولات میانی) تولید شده در بخش تولید را نشان می‌دهد. محدودیت شماره ۱۱ نیز بیان‌کننده تعداد کل ماشین‌آلات موجود در بخش تولید است.

• مدل ریاضی ارائه شده برای سطح اول زنجیره تأمین (تأمین)

اندیس‌های به کار گرفته شده در این مدل عبارتند از:

f : علامت نوع قطعات ساده تولیدشده برای تولید قطعات کلی (محصول میانی) توسط
تأمین کننده ($f = 1, 2, \dots, F$)

g : علامت تأمین کننده ($g = 1, 2, \dots, G$)

z : علامت تولید کننده ($z = 1, 2, \dots, Z$)

k : علامت تیم های کاری در تأمین کننده ها ($k = 1, 2, \dots, K$)

q : علامت ماشین آلات در تأمین کننده ها ($q = 1, 2, \dots, Q$)

همچنین پارامترهای استفاده شده در مدل به شرح زیر می باشند:

X_{fzg} : تعداد قطعه نوع f ارائه شده توسط تأمین کننده g تحویل شده به تولید کننده z ام.

X_{fkzg} : تعداد قطعه نوع f ام تولید شده توسط تیم k ام در تأمین کننده g ام تحویل شده به
تولید کننده z ام.

α_{fkzg} : زمان مورد نیاز برای تولید قطعه f ام توسط تیم k ام در تأمین کننده g ام.

T_{kzg} : کل زمان در دسترس تیم k ام در تأمین کننده g ام.

X_{fqzg} : تعداد قطعه نوع f ام تولید شده توسط ماشین q ام در تأمین کننده g ام ارائه شده به
تولید کننده z ام.

t_{fqzg} : زمان مورد نیاز برای تولید قطعه f ام توسط ماشین q ام در تأمین کننده g ام.

δ_{qzg} : احتمال درست کار کردن ماشین q ام در تأمین کننده g ام در یک مدت زمان
مشخص.

S_{fqzg} : زمان مورد نیاز برای تنظیم ماشین q ام در تأمین کننده g ام برای تولید قطعه f ام.

T_{qzg} : کل زمان در دسترس ماشین q ام در تأمین کننده g ام.

Y_{fzg} : ضریب قطعه f ام برای محصول h ام موجود در BOM.

d_{kzg}^- : متغیر انحراف منفی از آرمان زمان در دسترس برای تیم k ام در تأمین کننده g ام.

d_{kzg}^+ : متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان در دسترس برای تیم k ام در تأمین کننده g ام.

d_{qzg}^- : متغیر انحراف منفی از آرمان زمان در دسترس برای ماشین q ام در تأمین کننده g ام.

d_{qg}^+ : متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان در دسترس برای ماشین q ام در تأمین کننده g ام.

مدل ریاضی ارائه شده برای سطح اول زنجیره تأمین (تأمین) به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_k (d_{kg}^- + d_{kg}^+), \sum_q (d_{qg}^- + d_{qg}^+) \forall g \\ \sum_f (\sum_z X_{fkqgz}) \alpha_{fkqg} + d_{kg}^- - d_{kg}^+ &= T_{kg} \forall k, \forall g \end{aligned} \quad (12)$$

$$\sum_f (\sum_z X_{fqgz}) t_{fqg} / \delta_{qg} + S_{fqg} + d_{qg}^- - d_{qg}^+ = T_{qg} \forall q, \forall g \quad (13)$$

$$\sum_z \sum_g (\sum_f (X_{fkqgz} + X_{fqgz})) = 0.5 \sum_z \sum_g \sum_f X_{fgz} \forall k, \forall q \quad (14)$$

$$\sum_z \sum_g X_{fgz} = \sum_b (r_{fb} (\sum_z \sum_a X_{zab})) \forall f \quad (15)$$

$$K = \sum_g K_g \quad (16)$$

$$F = \sum_g F_g \quad (17)$$

$$Q = \sum_g Q_g \quad (18)$$

$$X_{fgz} \geq 0 \quad \forall f, \forall g, \forall z$$

$$f \in [1, F] g \in [1, G] z \in [1, Z] k \in [1, K] q \in [1, Q]$$

در این مرحله با توجه به جوابی که از مدل سطح دوم به دست آمده است؛ برای تأمین قطعات موردنیاز برای ساخت محصولات موردنیاز اقدام می‌شود. در واقع مدل سعی می‌کند که از تمامی امکانات و ظرفیت‌های موجود بنگاه‌های فعال در زنجیره، با استفاده از متغیرهای انحراف از آرمان، بهره‌گیرد تا بتواند پاسخ‌گوی تقاضای موردنیاز سطح دوم زنجیره باشد. در این مرحله نیز مانند مرحله قبل، محدودیت شماره ۱۲ انعطاف‌پذیری نیروی کار و محدودیت شماره ۱۳ انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات را نشان می‌دهد. محدودیت شماره ۱۴ و ۱۵، ارضای کامل قطعات موردنیاز برای ساخت محصولات میانی در سطح دوم را بیان می‌کند. به این ترتیب که مدل با توجه به جوابی که از مدل سطح دوم به دست آورده در جهت ارضای کامل قطعات موردنیاز در سطح دوم برمی‌آید. محدودیت شماره ۱۶ بیان می‌کند که تعداد تیم‌های کاری موجود در بخش تأمین برابر است با کل تیم‌های کاری موجود در هر تأمین‌کننده و محدودیت شماره ۱۷ تعداد کل قطعات ساده تولید شده برای تولید قطعات کلی

(محصولات میانی) توسط تأمین‌کننده‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت شماره ۱۸ نیز بیان‌کننده تعداد کل ماشین‌آلات موجود در بخش تأمین است.

مثال

در این مرحله، مدل طراحی شده، به وسیله داده‌های واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که به دلیل حفظ امانت در اطلاعات محرمانه شرکت، از ذکر نام شرکت و نام عملیات در تحقیق خودداری شده است. در این تحقیق به منظور جمع‌آوری داده‌ها، یک دوره زمانی سه ماهه در نظر گرفته شده است که هر ماه آن شامل ۲۵ روز کاری و هر روز کاری آن شامل دو شیفت ۸ ساعته است. در شرکت مورد نظر با توجه به سوابق موجود در بخش کارسنجی و زمان سنجی اطلاعات مربوط به مونتاژ موجود بوده است. در این شرکت برای مونتاژ محصول ۲۳ عملیات متفاوت انجام می‌شود که انجام این عملیات توسط هر سه تیم کاری موجود در بخش مونتاژ ممکن می‌باشد. شرکت برای ساخت محصول نهایی نیازمند ۸ قطعه کلی (محصول میانی) است که هر کدام از این ۸ قطعه از قطعات ساده ریزتری تشکیل شده است. علاوه بر این ۸ قطعه کلی و قطعات ریزتر تشکیل‌دهنده آن‌ها که حدود ۲۰ قطعه است، برای ساخت محصول نهایی، شرکت به ۵۴ قطعه ساده دیگر نیز نیاز دارد؛ که در تحقیق از اطلاعات مربوط به این ۵۴ قطعه ساده استفاده نشده و تنها از اطلاعات مربوط به آن ۸ قطعه کلی و قطعات تشکیل‌دهنده آن‌ها استفاده شده است. به این ترتیب می‌توان یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای را در نظر گرفت که قطعات ساده (خروجی مرحله اول زنجیره یعنی بخش تأمین و ورودی مرحله دوم زنجیره یعنی بخش تولید)، تشکیل‌دهنده قطعات کلی (محصولات میانی) می‌باشند و قطعات کلی (خروجی مرحله دوم زنجیره یعنی بخش تولید و ورودی مرحله سوم زنجیره یعنی بخش مونتاژ)، محصول نهایی (خروجی مرحله سوم زنجیره) را تشکیل می‌دهند. شرکت این قطعات کلی و قطعات ریزتری که تشکیل‌دهنده قطعات کلی‌اند را توسط سه نوع ماشین می‌تواند تولید کند، که داده‌های مربوط به زمان تولید هر قطعه توسط ماشین و زمان تنظیم ماشین برای هر قطعه جمع‌آوری شده است. در این ادامه به منظور اختصار تنها داده‌ها و نتایج حاصل از حل مدل بخش مونتاژ ارائه خواهد شد.

داده‌های مربوط به بخش مونتاژ. در محدوده زمانی تحقیق کل زمان در دسترس برای کارخانه در بخش مونتاژ ۱۲۵۶۰ نفر-ساعت می‌باشد که این عدد به‌عنوان منبع محدود در مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته‌است. سایر داده‌های مربوط به بخش مونتاژ در جدول ۳ ذکر شده‌است.

جدول ۳: داده‌های زمانی عملیات مونتاژ توسط تیم‌های کاری برای محصول نهایی

شماره عملیات	زمان مورد نیاز برای تیم ۱	زمان مورد نیاز برای تیم ۲	زمان مورد نیاز برای تیم ۳
۱	۴۵۱۱	۴۴۷۸	۴۴۵۱
۲	۹۰۳	۸۹۷	۸۸۸
۳	۷۵۸	۷۵۴	۷۴۴
۴	۴۸	۴۶	۵۰
۵	۵۷۰	۵۵۲	۵۵۸
۶	۶۲	۶۷	۶۳
۷	۱۵	۱۶	۱۷
۸	۴۵	۴۹	۵۰
۹	۶۲	۶۴	۶۶
۱۰	۴۸۲	۴۷۵	۴۸۳
۱۱	۴۸۹	۴۷۸	۴۷۳
۱۲	۲۷	۲۳	۲۲
۱۳	۵۶۴	۵۵۲	۵۶۴
۱۴	۱۰۹۷	۱۰۴۵	۱۰۹۸
۱۵	۱۱۵	۱۰۳	۱۱۸
۱۶	۳۳۶	۳۲۹	۳۴۳
۱۷	۱۲۵۴	۱۲۹۲	۱۲۹۴
۱۸	۸	۶	۹
۱۹	۲۳۳	۲۴۵	۲۴۲
۲۰	۳۰	۳۴	۳۲
۲۱	۲۰۳	۲۱۱	۲۱۰
۲۲	۲۰۰	۲۱۴	۲۱۰
۲۳	۶۳۳	۶۲۹	۶۱۰
جمع زمانها	۱۲۶۴۵	۱۲۵۵۹	۱۲۵۹۵

نتایج بخش مونتاژ. به منظور حل مدل و تجزیه و تحلیل آن از نرم افزار تخصصی *LINDO* استفاده شده است، که نتایج حاصل از حل مدل بخش مونتاژ در جداول ۴ تا ۷ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که به دلیل محدودیت های موجود در برنامه لیندو متغیرهای ارائه شده در قسمت ارائه مدل را برای وارد کردن به محیط لیندو تغییر داده شده است. به این صورت که *DI* و *D2* به ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان پیش بینی تقاضا، *XAB*، *XAC* و *XAD* به ترتیب متغیرهای تعداد محصول نوع اول که توسط تیم کاری ۱، تعداد محصول نوع اول که توسط تیم کاری ۲ و تعداد محصول نوع اول که توسط تیم کاری ۳ مونتاژ شده، *DT1* و *DT2*، به ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان کل زمان در دسترس تیم کاری ۱، *DT3* و *DT4*، به ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان کل زمان در دسترس تیم کاری ۲ و *DT5* و *DT6*، به ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان کل زمان در دسترس تیم کاری ۳ می باشد.

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 4
OBJECTIVE VALUE = 1.50712574
FIX ALL VARS.(1) WITH RC > 1.50000
NEW INTEGER SOLUTION OF 31.5000000 AT BRANCH 0
PIVOT
BOUND ON OPTIMUM: 31.50000
ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES= 0 PIVOTS= 6
LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...
OBJECTIVE FUNCTION VALUE
 1) 31.50000
NO. ITERATIONS= 8
BRANCHES= 0 DETERM.= 1.000E 0

جدول ۴: نتایج بخش مونتاز

متغیر	مقدار	هزینه کاهش یافته
<i>D1</i>	۲/۰۰	۰/۷۵
<i>D2</i>	۰/۰۰	۰/۷۵
<i>XAB</i>	۱/۰۰	۳۱۶۱/۲۵
<i>XAC</i>	۱/۰۰	۰/۰۰
<i>XAD</i>	۱/۰۰	۳۱۴۸/۷۵
<i>DT1</i>	۰/۰۰	۰/۵۰
<i>DT2</i>	۸۵/۰۰	۰/۰۰
<i>DT3</i>	۰/۰۰	۰/۲۵
<i>DT4</i>	۰/۰۰	۰/۲۵
<i>DT5</i>	۰/۰۰	۰/۵۰
<i>DT6</i>	۳۵/۰۰	۰/۰۰

جدول ۵: قیمت‌های سایه و مقادیر کمکی یا مازاد بخش مونتاز

شماره محدودیت	مقادیر کمکی یا مازاد	قیمت‌های سایه
۱	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	۰/۰۰	۰/۲۵
۳	۰/۰۰	۰/۰۰
۴	۰/۰۰	۰/۲۵

تحلیل حساسیت ضرایب تابع هدف مربوط به مدل بخش مونتاز در محدوده‌ای که متغیرهای پایه تغییر نکنند به شرح جدول ۶ و تحلیل حساسیت اعداد سمت راست مربوط به مدل بخش مونتاز به شرح جدول ۷ می‌باشد:

جدول ۶: تحلیل حساسیت ضرایب تابع هدف مربوط به مدل بخش مونتاژ

متغیر	مقدار ضریب فعلی	مقدار افزایش مجاز	مقدار کاهش مجاز
<i>D1</i>	۰/۷۵	نامحدود	۰/۷۵
<i>D2</i>	۰/۷۵	نامحدود	۰/۷۵
<i>XAB</i>	۰/۰۰	نامحدود	۳۱۶۱/۲۵
<i>XAC</i>	۰/۰۰	نامحدود	۰/۰۰
<i>XAD</i>	۰/۰۰	نامحدود	۳۱۴۸/۷۴
<i>DT1</i>	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰
<i>DT2</i>	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰
<i>DT3</i>	۰/۲۵	نامحدود	۰/۲۵
<i>DT4</i>	۰/۲۵	نامحدود	۰/۲۵
<i>DT5</i>	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰
<i>DT6</i>	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰

جدول ۷: تحلیل حساسیت اعداد سمت راست مربوط به مدل بخش مونتاژ

شماره محدودیت	مقدار فعلی سمت راست	مقدار افزایش مجاز	مقدار کاهش مجاز
۱	۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	۱۲۵۶۰/۰۰	نامحدود	۸۵/۰۰
۳	۱۲۵۶۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴	۱۲۵۶۰/۰۰	نامحدود	۳۵/۰۰

اعتبارسنجی مدل. به منظور اعتبارسنجی مدل، نتایج حاصل از مدل با داده‌های موجود در واقعیت مقایسه شد که نتایج آن نشان‌دهنده کاهش زمان استفاده از ماشین‌آلات بود. همچنین مدل حاضر بر مبنای مدل‌های ریاضی موجود در مقالات معتبر علمی طراحی شده است.

نتیجه‌گیری

عمده مقالاتی که تا به حال در رابطه با انعطاف‌پذیری صورت گرفته است، رویکردی جزئی به انعطاف‌پذیری داشته‌اند. به عبارت دیگر آن‌ها فقط اجزاء یا ابعاد خاصی از

انعطاف‌پذیری را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه سعی شده با استفاده از مدل‌سازی آرمانی، مفهوم انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین به صورت کل در قالب یک مدل ریاضی ارائه شود. مدل طراحی شده یک زنجیره تأمین را در سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ مورد بررسی قرار می‌دهد که در واقع به صورت مرحله به مرحله می‌باشد؛ یعنی برای مثال جواب به دست آمده برای مدل مرحله اول (سطح سوم زنجیره تأمین یعنی مونتاژ) در مدل مرحله دوم (سطح دوم زنجیره تأمین یعنی تولید) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، انعطاف‌پذیری نیروی انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند، به صورت هماهنگ در نظر گرفته می‌شوند و انعطاف‌پذیری در هر یک از سطوح زنجیره تأمین با استفاده از این ۴ بعد مورد بررسی قرار می‌گیرند. مدل حاضر با توجه به ابعاد تعیین شده، از میان تیم‌های کاری و ماشین‌آلات متفاوت که قابلیت انجام عملیات روی محصولات متفاوت را دارا می‌باشند، اقدام به انتخاب تیم‌ها و ماشین‌آلاتی می‌کند که زمان کل را کاهش دهند. به بیان دیگر، یک تخصیص بهینه در تمامی بخش‌های زنجیره تأمین صورت می‌دهد.

اغلب در زنجیره‌های تأمین رویکرد سیستم تولید فشاری حاکم می‌باشد، که موجب تحمیل هزینه فراوان به اعضای زنجیره می‌شود. اما از آنجایی که مدل طراحی شده به صورت مرحله به مرحله است این امکان را فراهم می‌آورد که تمامی اجزای زنجیره طبق سیستم کششی، به صورت هماهنگ باهم و با توجه به نیاز مشتری نهایی یا میانی اقدام به تولید نمایند. علاوه بر این، مدل طوری طراحی شده که می‌توان در تمامی شرکت‌ها یا سازمان‌های تولیدی که به نحوی در یک زنجیره تأمین فعالیت می‌کنند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با اندکی تغییرات می‌توان ابعاد دیگری از انعطاف‌پذیری را به محدودیت‌های مدل یا به اهداف آن اضافه یا بخش‌های دیگری از زنجیره را در مدل لحاظ کرد.

پیشنهادها

در تحقیق حاضر سعی شده که ابعاد مناسبی از انعطاف پذیری زنجیره تأمین جهت مدل سازی انتخاب شوند، اما می توان ابعاد دیگری مانند فن آوری اطلاعات را جهت تکمیل مدل نیز به آن اضافه کرد.

مدل به نحوی تنظیم شده که می توان در حلقه آخر زنجیره تأمین، بخش توزیع را نیز با اضافه کردن یک یا دو محدودیت و یک متغیر صفر و یک تحت پوشش در آورد که در این مطالعه به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات سیستم توزیع در محیط عملیاتی از این کار صرف نظر شده است.

در این مقاله با توجه به بررسی های صورت گرفته، از مفهوم فروش از دست رفته، برای بیان انعطاف پذیری استفاده شده است، که می توان به طرق دیگری مانند میزان فروش محصول، ترکیب محصول ارائه شده، سود حاصل از فروش و ... برای ارائه مدل اقدام کرد.

منابع

- تیموری، ابراهیم، و احمدی، مهدی (۱۳۸۸). مدیریت زنجیره تأمین. تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
- مردمی، کریم، و دلشاد، مهسا (۱۳۸۹). محیط یادگیری انعطاف‌پذیر. نشریه علمی پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، (۱)، ۱۰۹-۱۱۸.
- Acar, Y., & Kadipasaoglu, S. (2011). An Empirical Study of Volume and Storage Flexibility in a Global Supply Chain. *The Southwest Decision Sciences Institute Conference*, Houston, TX, March 9-12.
- Aprile, D., Garavelli, A.C., & Giannoccaro, I. (2005). Operations planning and flexibility in a supply chain. *Production Planning & Control*, 16(1), 21-31.
- Bertrand, J.W.M. (2003). Supply Chain Design: Flexibility Considerations. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 11, 133-198.
- Blome, C., Schoenherr, T., & Eckstein, D. (2013). The Impact of Knowledge Transfer and Complexity on Supply Chain Flexibility: A Knowledge-Based View. *International Journal of Production Economics*, Available online, March 13.
- Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S.P., & Stecke, K.E. (1984). Classification of flexible manufacturing systems. *Flexible Manufacturing Systems Magazine*, 2(2), 114-117.
- Chan, H.K., & Chan, F.T.S. (2010). Comparative study of adaptability and flexibility in distributed manufacturing supply chains. *Decision Support Systems*, 48(2), 331-341.
- Chandra, C., & Grabis, J. (2009). Role of flexibility in supply chain design and modeling-Introduction to the special issue. *Omega*, 37(4), 743-745.
- Chuu, S-J. (2011). Interactive group decision-making using a fuzzy linguistic approach for evaluating the flexibility in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 279-289.
- Daihua, G. (2008). Dynamic Supply Chain Flexibility Based on Order Quantity Optimization. *International Conference on Logistics Engineering and Supply Chain*, China.
- Duclos, L.K., Vokurka, R.J., & Lummus, R.R. (2003). A conceptual model of supply chain flexibility. *Industrial Management & Data Systems*, 103(6), 446-456.
- Francas, D., Kremer, M., Minner, S., & Friese, M. (2009). Strategic process flexibility under lifecycle demand. *International Journal of Production Economics*, 121(2), 427-440.
- Garavelli, A.C. (2003). Flexibility configurations for the supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 141-153.

- Gong, Z. (2008). An economic evaluation model of supply chain flexibility. *European Journal of Operational Research*, 184(2), 745-758.
- Grigore, S.D. (2007). Supply Chain Flexibility. *Romanian Economic and Business Review*, 2(1), 66-70.
- Lummus, R.R., Vokurka, R.J., & Duclos, L.K. (2005). Delphi study on supply chain flexibility. *International Journal of Production Research*, 43(13), 2687-2708.
- Moon, K.K.-L., Yi, C.Y., & Ngai, E.W.T. (2012). An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies. *European Journal of Operational Research*, 222(2), 191-203.
- Sánchez, A.M., & Pérez, M.P. (2005). Supply chain flexibility and firm performance: A conceptual model and empirical study in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(7), 681-700.
- Sokri, A. (2014). Military supply chain flexibility measures. *Journal of Modelling in Management*, 9(1), 78-86.
- Vokurka, R.J., & O'Leary-Kelly, S.W. (2000). A review of empirical research on manufacturing flexibility. *Journal of Operations Management*, 18(4), 361-385.
- Winkler, H., & Seebacher, G. (2012). Considerations on a contemporary flexibility approach. *Research in Logistics & Production*, 2(2), 147-161.