فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال دوازدهم، شماره ۳۳ تابستان ۹۳
صفحات ۹۶ - ۷۵

مدل‌سازی ریاضی انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی

دکتر احمد جعفرنژاد*، 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 انعطاف‌پذیری آن برای برآوردن نیازهای متفاوت مشتریان است. با وجود اهمیت فراوان انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، کمبود مدل‌های تحلیلی مناسبی که روابط بین میزان انعطاف‌پذیری در یک سیستم و سطح عملکرد کلی سیستم را توضیح دهد، همچنان احساس می‌شود. بنابراین، در این مطالعه یک مدل ریاضی برای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین ارائه شده‌است. مطالعهٔ حاضر به لحاظ هدف، کاربردی است و از انواع تحقیقات توصیفی است.این مطالعه در دو مرحله انجام شده‌است؛ شناسایی ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین و مدل‌سازی ریاضی آن با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی. ابعاد شناسایی‌شده در مرحلهٔ اول، انعطاف‌پذیری نیروی‌انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند هستند که ابعادی عمومی و مهم برای ارزیابی هریک از سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ در زنجیره تأمین به شمار می‌روند. حاصل مرحلهٔ دوم، طراحی مدلی ریاضی برای هر یک از این سه سطح، به‌صورت جداگانه اما وابسته به سایر سطوح از طریق تابع هدف‌شان بود که محدودیت‌های‌شان براساس ابعاد شناسایی‌شده در مرحلهٔ اول تعریف شده‌اند.

کلمات کلیدی: انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، مدل‌سازی ریاضی، برنامه‌ریزی آرمانی

---

* استاد دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

** دکتری مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات (استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه تهران)، (نویسنده مسئول)
mehrdad_yasaei@yahoo.com

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 انعطاف‌پذیری آن برای برآوردن نیازهای متفاوت مشتریان است. زنجیره تأمین به مجموعه‌ای از تلاش‌ها اطلاق می‌شود که در تولید و ارائهٔ یک محصول نهایی یا خدمت،از تأمین‌کنندگان تا مشتری نهایی را دربرمی‌گیرد (داکلاس[1] و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۴۸). اعضای یک زنجیره تأمین معمولی عبارتند از: تأمین‌کنندگان، انبارهای مواداولیه، مراکز تولید، توزیع‌کنندگان، 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[2]، ۲۰۱۲: ۱۴۷)،همچنین تغییرات در مقدار سفارش (دیهوا[3]، ۲۰۰۸: ۶۱۴)،انعطاف‌پذیری،یک مسئلهٔ حیاتی‌شده‌است؛ تا حدی‌که به‌عنوان شاخص چهارم عملکرد پس از هزینه، کیفیت و قابلیت اطمینان مطرح می‌شود(برتراند[4]، ۲۰۰۳: ۱۳۳). انعطاف‌پذیری به‌معنای تغییرپذیری به‌منظور سازگاری و مناسب‌بودن برای محیط و تغییرات آن در موقعیت‌های متفاوت است (مردمی و دلشاد، ۱۳۸۹: ۱۱۰) و زنجیره تأمین نیاز دارد تا انعطاف‌پذیر باشد، زیرا عملیات آن همیشه در معرض انواع عدم‌قطعیت‌ها مانند تقاضای مشتری و ظرفیت تأمین‌کننده قرار دارد(چان[5] و چان، ۲۰۱۰: ۳۳۱).انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، توانایی سیستم برای برآوردن انتظارات گوناگون در حال افزایش مشتری در کمترین زمان، هزینه، زیان عملکردی و اختلالات سازمانی است(گریگور[6]، ۲۰۰۷: ۶۶). شرکت‌هایی با ویژگی انعطاف‌پذیری، بالقوه دارای مزیت رقابتی هستند(چو[7]، ۲۰۱۱: ۲۷۹).با وجود اهمیت فراوان انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، کمبود مدل‌های تحلیلی مناسبی که روابط بین میزان انعطاف‌پذیری در یک سیستم و سطح عملکرد کلی سیستم را توضیح دهد، همچنان احساس می‌شود. بنابراین، در این مطالعه به ارائهٔ یک مدل ریاضی برای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین پرداخته‌شده، که این امر در دو مرحله انجام

1- Duclos
2 -Winkler andSeebacher
3 -Daihua
4 -Bertrand
5 -Chan
6 -Grigore
7 -Chuu

شده‌است. در مرحلهٔ آغازین با توجه به تعریف زنجیره تأمین و امکان دسترسی به اطلاعات، سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ، برای زنجیره تأمین درنظر گرفته شده‌است. سپس به‌منظور ارزیابی انعطاف‌پذیری هریک از این سطوح،به شناسایی ابعادعمومی‌تر و مهم‌تر بین آن‌ها، پرداخته شده‌است. در مرحلهٔ دوم برای هر یک از این سه سطح به‌صورت جداگانه اما وابسته به سایر سطوح از طریق تابع هدف‌شان، مدلی ریاضی طراحی شده‌است که محدودیت‌های‌شان براساس ابعاد شناسایی‌شده در مرحلهٔ قبل تعریف شده‌اند.

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

سکری[1] به تعریف جامعی از انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین ارتش و معیارهای ارزیابی عملکرد آن پرداخته‌است (سکری، ۲۰۱۴).بلوم[2] 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[3] 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 کدیپساگلو[4] اثر انعطاف‌پذیری حجم وذخیره‌سازی را بر عملکردزنجیره تأمین موردبررسی قرار دادند(اکار و کدیپساگلو، ۲۰۱۱).فرانساز[5] و همکارانش یک فرایند تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای را درنظر گرفتند. به‌این‌ترتیب 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) .چاندرا و گرابیس[6] در مقاله‌ایپسازتعریف ماهیت انعطاف‌پذیری به‌طورخلاصه به توصیف انعطاف‌پذیری درزنجیره تأمین، مسائل مربوط به آن

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

و ابزار وتکنیک‌های بالقوهٔ مورداستفاده برای طراحی و مدل‌سازی آن پرداختند (چاندرا و گرابیس، ۲۰۰۹).گانگ[1] 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 آیندهٔ انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را اندازه‌گیری می‌کند. این مدل با هدف قراردادن بهینه‌کردن سود به تصمیم‌گیری در مورد انعطاف‌پذیری سیستم کمک می‌کند (گانگ، ۲۰۰۸).ایپریل[2] و همکارانش ساختارهای متفاوتی از انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده و تولیدکننده را باتوجه به شرایط تقاضای بازار و تمرکز تولیدکننده موردبررسی قرار دادند. آن‌ها برای تعیین ساختار انعطاف‌پذیری زنجیرهٔ تأمین یک مدل ریاضی خطی طراحی کردند و حداکثرکردن مقدار تولید در افق برنامه‌ریزی که معادل کمینه‌کردن فروش از دست‌رفته‌است را به‌عنوان هدف درنظر گرفتند (ایپریل و همکاران، ۲۰۰۵).لوماس[3] و همکارانش به توسعهٔ مدل انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین پرداختند (لوماس و همکاران، ۲۰۰۵). سنچز و پرز[4] به بررسی رابطهٔ بین انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین وعملکردشرکت پرداختند(سنچز و پرز، ۲۰۰۵).گاراولی[5] مدلی را برای ارزیابی اثر درجات مختلف انعطاف‌پذیری روی عملکردزنجیره تأمین ارائه داد(گاراولی، ۲۰۰۳).ووکورکا و اولری-کلی[6] در مطالعه‌ای ادبیات انعطاف‌پذیری تولید را به صورت نسبتاً جامعی مرور کرده‌اند. آن‌ها هشت بعد مختلف انعطاف‌پذیری که توسط براون[7] و همکارانش و یازده بعدی که توسط ستی و ستی[8] مطرح‌شده‌بود را به ۱۵ بعد گسترش دادند (ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).

آن‌چه درمطالعهٔ پیشینهٔ این پژوهش اهمیت داردشناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین،ازطریق بررسی نقشهٔ راه سایر محققین است. مؤلفه‌هاوابعاداستخراج‌شده از ادبیات تحقیق به شرح جدول۱ هستند.

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

جدول۱: مؤلفه‌هاوابعاداستخراج شده ازادبیات تحقیق

پژوهشگران(سال)	ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین: مؤلفه‌های انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین
سکری (۲۰۱٤)	انعطاف‌پذیری حجم وانعطاف‌پذیری تحویل(سکری، ۲۰۱٤).
مون و همکاران (۲۰۱۲)	انعطاف‌پذیری منبع‌یابی: تعداد تأمین‌کنندگان دردسترس، دامنهٔ محصولات و خدمات ارائه شده توسط تأمین‌کنندگان اصلی و دامنهٔ تأمین‌کنندگانی که محصولات/قطعات/ مواداصلی را ارائه می‌کنند. انعطاف‌پذیری سیستم تولیدوعملیات: دامنهٔ محصولات و خدمات جدیدی که شرکت می‌تواند هرسال توسعه دهد، توانایی تغییر حجم خروجی، توانایی تغییر ترکیب محصولات و خدمات و توانایی تنظیم تجهیزات و فرایندهای تولید. انعطاف‌پذیری توزیع: توانایی تغییرمکان انبار، ظرفیت بارگیری و دیگر امکانات توزیع، توانایی تغییر روش‌های تحویل و توانایی انتقال برنامه‌ی زمانی تحویل. انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی: پشتیبانی سیستم‌های اطلاعاتی ازمدیریت توزیع و حمل‌ونقل و پشتیبانی سیستم‌های اطلاعاتی ازمدیریت موجودی شرکت(مون و همکاران،۲۰۱۲).
گانگ (۲۰۰۸)	انعطاف‌پذیری نیروی کار،انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات،انعطاف‌پذیری تعمیرات و نگهداری وانعطاف‌پذیری فن‌آوری اطلاعات(گانگ، ۲۰۰۸).
ایپریل وهمکاران(۲۰۰۵)	انعطاف‌پذیری فرایندوانعطاف‌پذیری پشتیبانی(ایپریل وهمکاران، ۲۰۰۵).
لوماس و همکاران (۲۰۰۵)	سیستم‌های تولیدوعملیات: پیکربندی مجدد دارایی‌ها،تغییرفرایندهاوتنظیم ظرفیت به‌طورپ و یا. فرایندهای پشتیبانی: تنظیم‌کردن خود باالزامات جهانی، برآوردن نیازهای متمایزمشتری، فضای انبار متغیر، متصدیان حمل‌ونقل مختلف و خبر دادن به تعویق‌افتادن محصول. شبکهٔ تأمین: اضافه یا حذف‌کردن 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 گروه‌هاوتغییرفرهنگ. سیستم‌های اطلاعاتی: هماهنگی سیستم‌های اطلاعاتی با شرکا،رابط داخلی فرایندهاو 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 وانتقال بار،انعطاف‌پذیری تأخیر،انعطاف‌پذیری راه‌اندازی وانعطاف‌پذیری منبع‌یابی(سنچز و پرز،۲۰۰۵).
گاراولی (۲۰۰۳)	انعطاف‌پذیری فرایندوانعطاف‌پذیری پشتیبانی(گاراولی، ۲۰۰۳).
ووکورکا و اولری-کلی (۲۰۰۰)	انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات، انعطاف‌پذیری جریان مواد، انعطاف‌پذیری عملیات، انعطاف‌پذیری اتوماسیون، انعطاف‌پذیری نیروی‌انسانی، 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 مطالعهٔ پیشینهٔ پژوهش می‌توان به زمینه‌هایی ازانعطاف‌پذیری زنجیره تأمین که نیاز به پژوهش بیشتر دارند پی‌برد که از آن جمله مدل‌سازی ریاضی آن می‌باشد. این پژوهش مشابه پژوهش گانگ (گانگ، ۲۰۰۸) است با این تفاوت که در انتخاب ابعاد به جای انعطاف‌پذیری فن‌آوری اطلاعات، انعطاف‌پذیری فرایند، انتخاب شده‌است. همچنین از نظر مدل‌سازی بین این دو پژوهش تفاوت‌هایی وجود دارد از جمله این‌که مدل طراحی‌شده توسط گانگ شامل دو مرحلهٔ تأمین و تولید می‌باشد؛ اما مدل طراحی‌شده در این پژوهش علاوه‌برآن دو مرحله، شامل مرحلهٔ مونتاژ نیز است.از دیگر تفاوت‌های این پژوهش با پژوهش گانگ، استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی به منظور مدل‌سازی می‌باشد.

روش پژوهش

هدف از انجام این پژوهش توسعهٔ دانش کاربردی در یک زمینهٔ خاص است و از آن‌جاکه به مطالعهٔ وضعیت موجود می‌پردازد، در زمرهٔ تحقیقات توصیفی قرار می‌گیرد. در این پژوهش برای گردآوری اطلاعات از دو روش میدانی و کتابخانه‌ای استفاده شده‌است.

فرایند انجام پژوهش

این مطالعه در دو مرحله انجام شده‌است. در مرحلهٔ آغازین با توجه به تعریف زنجیره‌تأمین و امکان دسترسی به اطلاعات، سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ، برای زنجیره‌تأمین درنظر گرفته‌شده‌است. سپس به‌منظور ارزیابی انعطاف‌پذیری هر یک از این سطوح، به شناسایی ابعاد عمومی‌تر و مهم‌تر بین آن‌ها، پرداخته شده‌است. در مرحلهٔ دوم برای هر یک از این سه سطح به صورت جداگانه اما وابسته به سایر سطوح از طریق تابع هدف‌شان، مدلی ریاضی طراحی شده‌است که محدودیت‌های‌شان براساس ابعاد شناسایی‌شده در مرحلهٔ قبل تعریف شده‌اند. جزئیات هر یک از این مراحل در ادامه تشریح شده‌است.

شناسایی ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین. نقطهٔ آغازین این تحقیق شناسایی ابعادی از انعطاف‌پذیری است، که در زنجیره‌تأمین مهم‌تر و عمومی‌تر می‌باشند. بنابراین پس از بررسی

مقالات مرتبط با انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین با توجه به محیط عملیاتی کارخانهٔ موردمطالعه، همچنین اهمیت ابعاد مختلف و محدودیت‌های دیگر موجود در تحقیق، سعی‌شده که ابعاد مهم‌تر و کاربردی‌تر انتخاب شوند.ابعاد انتخاب شدهٔ این پژوهش شامل انعطاف‌پذیری نیروی‌انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند می‌باشند.

جدول ۲: تعاریف ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین

ابعاد	تعاریف
انعطاف‌پذیری نیروی انسانی	دامنه وظایفی که یک اپراتور در سیستم می‌تواند انجام دهد(گانگ، ۲۰۰۸؛ لوماس و همکاران، ۲۰۰۵ وووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).
انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات	سهولت اعمال تغییرات مورد نیاز برای تولید مجموعه مشخص از انواع قطعات(براون و همکاران، ۱۹۸٤؛ 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، ۱۹۸٤؛ 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(ایپریل وهمکاران، ۲۰۰۵؛ براون و همکاران، ۱۹۸٤؛گاراولی، ۲۰۰۳ و ووکورکا و اولری-کلی، ۲۰۰۰).

مدل‌سازی ریاضی انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین. در این مرحله به طراحی یک مدل ریاضی برای انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین پرداخته شده‌است و سعی‌شده تا ابعاد انتخاب‌شده در مرحلهٔ قبل در مدل گنجانده شوند. مدل طراحی‌شده، یک زنجیره‌تأمین را در سه سطح؛ تأمین، تولید و مونتاژ، موردبررسی قرار می‌دهد که درواقع به‌صورت مرحله به مرحله می‌باشد؛ یعنی برای مثال جواب به‌دست‌آمده برای مدل مرحله اول (سطح سوم زنجیره تأمین یعنی مونتاژ) در مدل مرحله دوم(سطح دوم زنجیره‌تأمین یعنی تولید) مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این مدل با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، انعطاف‌پذیری نیروی‌انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند، به‌صورت هماهنگ در نظرگرفته می‌شوند و انعطاف‌پذیری در هر یک از سطوح زنجیره‌تأمین با استفاده از این ۴بعد موردبررسی قرار می‌گیرند.

- **مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح سوم زنجیره‌تأمین (مونتاژ)**

اندیس‌های به‌کار گرفته‌شده در این مدل عبارتند از:

i: علامت نوع محصول$(=1,2,\ldots,Ii)$

a: علامت مونتاژکننده$(=1,2,\ldots,Aa)$

h: علامت بازار $(=1,2,\ldots,Hh)$

j: علامت تیم‌های کاری در مونتاژکننده‌ها$(=1,2,\ldots,Ij)$

همچنین پارامترهای استفاده‌شده در مدل به‌شرح زیر می‌باشند:

X_{ijah}:تعداد محصول نوعiام مونتاژشده توسط تیم jام در مونتاژکنندهaام ارائه‌شده به بازارhام.

X_{iah}:تعداد محصول نوعiام مونتاژشده توسط مونتاژکنندهaام ارائه‌شده به بازارhام.

α_{ija}:زمان موردنیاز برای مونتاژ محصولiام توسط تیم jام در مونتاژکنندهaام.

T_{ja}:کل زمان دردسترس تیم jام در مونتاژکنندهaام.

d_{ih}^{-}:متغیر انحراف منفی از آرمان تقاضا برای محصولiدر بازارhام.

d_{ih}^{+}:متغیر انحراف مثبت از آرمان تقاضا برای محصولiدر بازار hام.

d_{ja}^{-}:متغیر انحراف منفی از آرمان زمان دردسترس برای تیم jام در مونتاژکنندهaام.

d_{ja}^{+}: متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان دردسترس برای تیم jام در مونتاژکنندهaام.

مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح سوم زنجیره‌تأمین(مونتاژ) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Min\ Z = \Sigma_h(d_{ih}^{-} + d_{ih}^{+}), \Sigma_a(d_{ja}^{-} + d_{ja}^{+})\ \forall i, \forall j$$

$$\Sigma_a \Sigma_h \Sigma_j X_{ijah} + \Sigma_h(d_{ih}^{-} + d_{ih}^{+}) = \Sigma_h D_{ih}\ \forall i \qquad (۱)$$

$$\Sigma_i(\Sigma_h X_{ijah})\,\alpha_{ija} + d_{ja}^{-} - d_{ja}^{+} = T_{ja}\ \forall j, \forall a \qquad (۲)$$

$$J = \Sigma_a J_a \qquad (۳)$$

$$I = \Sigma_a I_a \qquad (۴)$$

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

$$X_{iah} \geq 0 \qquad \forall i, \forall a, \forall h$$

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

در این مدل توانایی برآوردن نیازهای متنوع و در حال تغییر مشتریان در نقاط مختلف به‌عنوان معیار ارزیابی عملکرد انعطاف‌پذیری یک زنجیره‌تأمین در نظر گرفته شده‌است. لذا مسئله را می‌توان به‌منظور کمینه‌کردن میزان فروش ازدست‌رفته برای محصولات در بازارهای گوناگون فرموله کرد. از آن‌جایی‌که 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 پیش‌بینی‌شده به‌کار می‌گیرد؛ لذا می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت آرمان چنین سیستمی این است که با استفاده از تمامی ظرفیت خود بتواند تقاضای پیش‌بینی‌شده را برآورده نماید؛ به‌عبارت دیگر، عدم برآوردن تقاضای پیش‌بینی‌شده معادل فروش ازدست رفتهٔ سیستم می‌باشد. برای سادگی فرض کردیم که تمامی محصولات تولیدشده برای فروش در بازارهای گوناگون به فروش می‌رسند. محدودیتی که به‌عنوان محدودیت اول درنظرگرفته شده‌است بیانگر آرمان برآوردن کامل تقاضای پیش‌بینی‌شده 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 شماره۲ انعطاف‌پذیری نیروی‌کار را نشان می‌دهد. به‌این‌ترتیب که حاصل‌ضرب تعداد محصول نوع iام مونتاژشده توسط تیم jام در مونتاژکننده aام فروش‌رفته در بازار hام در مدت زمان موردنیاز برای ساخت هر واحد از همان محصول توسط تیم کاری می‌بایست از کل زمان دردسترس تیم‌های کاری کمتر باشد.محدودیت شماره۳ بیان می‌کند که تعداد تیم‌های کاری موجود در بخش مونتاژکننده‌های زنجیره، با کل تیم‌های کاری موجود در هر مونتاژکننده، برابر است. همچنین محدودیت شماره۴ نیز تعداد کل انواع محصولات که در بخش مونتاژکننده‌های زنجیرهٔ مونتاژ می‌شود را نشان می‌دهد.

- **مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح دوم زنجیره‌تأمین(تولید)**

اندیس‌های به‌کار گرفته‌شده در این مدل عبارتنداز:

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

z: علامت تولیدکننده($z=1,2,\ldots,Zz$)

a: علامت مونتاژکننده($a=1,2,\ldots,Aa$)

e: علامت تیم‌های کاری در تولیدکننده‌ها($e=1,2,\ldots,Ee$)

c: علامت ماشین‌آلات در تولیدکننده‌ها($c=1,2,\ldots,Cc$)

همچنین پارامترهای استفاده‌شده در مدل به‌شرح زیر می‌باشند:

X_{bza}: تعداد قطعه نوع bام تولیدشده در تولیدکننده zام ارائه‌شده به مونتاژکننده aام.

X_{bzea}: تعداد قطعه نوع bام تولیدشده توسط تیم e امدر تولیدکننده zام ارائه‌شده به مونتاژکننده aام.

α_{bez}: زمان موردنیاز برای تولید قطعه bام توسط تیم eام در تولیدکننده zام.

T_{ez}: کل زمان دردسترس تیم eام در تولیدکننده zام.

X_{bcza}: تعداد قطعه نوع bام تولیدشده توسط ماشین cام در تولیدکننده zام ارائه‌شده به مونتاژکننده aام.

t_{bcz}: زمان موردنیاز برای تولید قطعه bام توسط ماشین cام در تولیدکننده zام.

δ_{cz}: احتمال درست کارکردن ماشین cام در تولیدکننده zام در یک مدت زمان مشخص.

S_{bcz}: زمان موردنیاز برای تنظیم ماشین cام در تولیدکننده zام برای تولید قطعه bام.

T_{cz}: کل زمان دردسترس ماشین cام در تولیدکننده zام.

η_{bi}: ضریب قطعه bام برای محصول iام موجود در BOM.

d_{ez}^{-}: متغیر انحراف منفی از آرمان زمان دردسترس برای تیم eام در تولیدکننده zام.

d_{ez}^{+}: متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان دردسترس برای تیم eام در تولیدکننده zام.

d_{cz}^{-}: متغیر انحراف منفی از آرمان زمان دردسترس برای ماشین cام در تولیدکننده zام.

d_{cz}^{+}: متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان دردسترس برای ماشین cام در تولیدکننده zام.

مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح دوم زنجیره تأمین(تولید) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Min\ Z = \sum_e (d_{ez}^{-} + d_{ez}^{+}), \sum_c (d_{cz}^{-} + d_{cz}^{+}) \forall z$$
$$\sum_b (\sum_a X_{bzea})\alpha_{bez} + d_{ez}^{-} - d_{ez}^{+} = T_{ez} \forall e, \forall z \qquad (۵)$$

$$\sum_b((\sum_a X_{bcza})t_{bcz}/\delta_{cz} + S_{bcz}) + d_{cz}^- - d_{cz}^+ = T_{cz} \forall c, \forall z \quad (۶)$$

$$\sum_a \sum_z (\sum_b (X_{bsza} + X_{bcza})) = 0.5 \sum_a \sum_z \sum_b X_{bza} \forall e, \forall c \quad (۷)$$

$$\sum_a \sum_z X_{bza} = \sum_i (r_{bi} (\sum_j \sum_a \sum_h X_{ijah})) \forall b \quad (۸)$$

$$E = \sum_z E_z \quad (۹)$$

$$B = \sum_z B_z \quad (۱۰)$$

$$C = \sum_z C_z \quad (۱۱)$$

$$X_{bza} \geq 0 \qquad \forall b, \forall z, \forall a$$

$$b \in [1, B] z \in [1, Z] a \in [1, A] e \in [1, E] c \in [1, C]$$

در این مرحله با توجه به جوابی که از مدل سطح سوم به‌دست‌آمده است؛ برای تأمین محصولات موردنیاز اقدام می‌شود. درواقع 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 سوم زنجیره باشد.محدودیت شماره۵ انعطاف‌پذیری نیروی‌کار را نشان می‌دهد و محدودیت شماره۶ بیان‌کنندهٔ انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات است. در مورد انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات عمده توجهات به زمان تنظیم ماشین‌آلات برای تولید مجموعه‌های قطعات معطوف‌شده‌است و با توجه به همین نکته انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات فرموله شده‌است. محدودیت شمارهٔ ۷ و ۸، ارضای کامل محصول موردنیاز در سطح سوم را بیان می‌کند. به‌این‌ترتیب که مدل با توجه به جوابی که از مدل سطح سوم به‌دست‌آورده در جهت ارضای کامل محصول موردنیاز در سطح سوم برمی‌آید. محدودیت شماره۹ 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) تولیدشده در بخش تولید را نشان می‌دهد. محدودیت شماره ۱۱ نیز بیان‌کنندهٔ تعداد کل ماشین‌آلات موجود در بخش تولید است.

- **مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح اول زنجیره تأمین(تأمین)**

اندیس‌های به‌کار گرفته‌شده در این مدل عبارتنداز:

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

g: علامت تأمین کننده($g=1,2,\ldots,Gg$)

z:علامت تولید کننده($z=1,2,\ldots,Zz$)

k:علامت تیم‌های کاری در تأمین کننده‌ها($k=1,2,\ldots,Kk$)

q:علامت ماشین آلات در تأمین کننده‌ها($q=1,2,\ldots,Qq$)

همچنین پارامترهای استفاده‌شده در مدل به‌شرح زیر می‌باشند:

X_{fgz}:تعداد قطعه نوع fام ارائه‌شده توسط تأمین کننده gام تحویل‌شده به تولید کننده zام.

X_{fkgz}:تعداد قطعه نوع fام تولیدشده توسط تیم kام در تأمین کننده gام تحویل‌شده به تولید کننده zام.

α_{fkg}:زمان موردنیاز برای تولید قطعه fام توسط تیم kام در تأمین کننده gام.

T_{kg}:کل زمان دردسترس تیم kام در تأمین کننده gام.

X_{fqgz}:تعداد قطعه نوع fام تولیدشده توسط ماشین qام در تأمین کننده gام ارائه‌شده به تولید کننده zام.

t_{fqg}:زمان موردنیاز برای تولید قطعه fام توسط ماشین qام در تأمین کننده gام.

δ_{qg}:احتمال درست کارکردن ماشین qام در تأمین کننده gام در یک مدت زمان مشخص.

S_{fqg}:زمان موردنیاز برای تنظیم ماشین qام در تأمین کننده gام برای تولید قطعه fام.

T_{qg}:کل زمان دردسترس ماشین qام در تأمین کننده gام.

r_{fb}:ضریب قطعه fام برای محصول bام موجود در BOM.

d_{kg}^{-}:متغیر انحراف منفی از آرمان زمان دردسترس برای تیم kام در تأمین کننده gام.

d_{kg}^{+}:متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان دردسترس برای تیم kام در تأمین کننده gام.

d_{qg}^{-}:متغیر انحراف منفی از آرمان زمان دردسترس برای ماشین qام در تأمین کننده gام.

d_{qg}^{+}:متغیر انحراف مثبت از آرمان زمان دردسترس برای ماشین qام در تأمین کننده gام.

مدل ریاضی ارائه‌شده برای سطح اول زنجیره‌تأمین(تأمین) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Min\ Z = \Sigma_k\left(d_{kg}^{-} + d_{kg}^{+}\right), \Sigma_q(d_{qg}^{-} + d_{qg}^{+})\forall g$$

$$\Sigma_f(\Sigma_z X_{fkgz})\,\alpha_{fkg} + d_{kg}^{-} - d_{kg}^{+} = T_{kg}\forall k, \forall g \qquad (۱۲)$$

$$\Sigma_f((\Sigma_z X_{fqgz})\,t_{fqg}/\delta_{qg} + S_{fqg}) + d_{qg}^{-} - d_{qg}^{+} = T_{qg}\ \ \forall q, \forall g \qquad (۱۳)$$

$$\Sigma_z\Sigma_g(\Sigma_f(X_{fkgz} + X_{fqgz})) = 0.5\,\Sigma_z\Sigma_g\,\Sigma_f X_{fgz}\,\forall k, \forall q \qquad (۱۴)$$

$$\Sigma_z\Sigma_g X_{fgz} = \Sigma_b(r_{fb}(\Sigma_z\Sigma_a X_{zca}))\,\forall f \qquad (۱۵)$$

$$K = \Sigma_g K_g \qquad (۱۶)$$

$$F = \Sigma_g F_g \qquad (۱۷)$$

$$Q = \Sigma_g Q_g \qquad (۱۸)$$

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

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

در این مرحله با توجه به جوابی که از مدل سطح دوم به‌دست‌آمده است؛ برای تأمین قطعات موردنیاز برای ساخت محصولات موردنیاز اقدام می‌شود. درواقع مدل سعی می‌کند که از تمامی امکانات و ظرفیت‌های موجود بنگاه‌های فعال در زنجیره، با استفاده از متغیرهای انحراف از آرمان، بهره گیرد تا بتواند پاسخ‌گوی تقاضای موردنیاز سطح دوم زنجیره باشد. در این مرحله نیز مانند مرحله قبل، محدودیت شماره۱۲ انعطاف‌پذیری نیروی‌کار و محدودیت شماره۱۳ انعطاف‌پذیری ماشین‌آلات را نشان می‌دهد. محدودیت شماره ۱۴و ۱۵، ارضای کامل قطعات موردنیاز برای ساخت محصولات میانی در سطح دوم را بیان می‌کند. به‌این‌ترتیب که مدل با توجه به جوابی که از مدل سطح دوم به‌دست‌آورده در جهت ارضای کامل قطعات موردنیاز در سطح دوم برمی‌آید. محدودیت شماره۱۶ بیان می کند که تعداد تیم‌های کاری موجود در بخش تأمین برابر است با کل تیم‌های کاری موجود در هر تأمین‌کننده و محدودیت شماره۱۷ تعداد کل قطعات سادهٔ تولیدشده برای تولید قطعات کلی

(محصولات میانی) توسط تأمین‌کننده‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت شماره۱۸ نیز بیان‌کنندهٔ تعداد کل ماشین‌آلات موجود در بخش تأمین است.

مثال

در این مرحله، مدل طراحی‌شده، به‌وسیلهٔ داده‌های واقعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که به دلیل حفظ امانت در اطلاعات محرمانهٔ شرکت، از ذکر نام شرکت و نام عملیات در تحقیق خودداری شده‌است. در این تحقیق به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، یک دورهٔ زمانی سه‌ماهه درنظر گرفته شده‌است که هر ماه آن شامل۲۵ روز کاری و هر روز کاری آن شامل دو شیفت ۸ساعته است. در شرکت موردنظر با توجه به سوابق موجود در بخش کارسنجی و زمان‌سنجی اطلاعات مربوط به مونتاژ موجود بوده‌است. در این شرکت برای مونتاژ محصول ۲۳عملیات متفاوت انجام می‌شود که انجام این عملیات توسط هر سه تیم کاری موجود در بخش مونتاژ ممکن می‌باشد. شرکت برای ساخت محصول نهایی نیازمند ۸قطعه کلی (محصول میانی) است که هر کدام از این ۸قطعه از قطعات سادهٔ ریزتری تشکیل شده‌است. علاوه‌براین ۸قطعه کلی و قطعات ریزتر تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها که حدود ۲۰قطعه است، برای ساخت محصول نهایی، شرکت به ۵۴قطعهٔ سادهٔ دیگر نیز نیاز دارد؛ که در تحقیق از اطلاعات مربوط به این ۵۴ قطعهٔ ساده استفاده نشده و تنها از اطلاعات مربوط به آن ۸قطعهٔ کلی و قطعات تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها استفاده شده‌است. به‌این‌ترتیب می‌توان یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای را درنظرگرفت که قطعات ساده (خروجی مرحله اول زنجیره یعنی بخش تأمین و ورودی مرحله دوم زنجیره یعنی بخش تولید)، تشکیل‌دهندهٔ 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 تشکیل‌دهندهٔ 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 شده‌است. در این ادامه به‌منظور 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 دردسترس برای کارخانه در بخش مونتاژ ۱۲۵۶۰ نفر-ساعت می‌باشد که این عدد به‌عنوان منبع محدود در مدل‌سازی مورداستفاده قرار گرفته‌است. سایر داده‌های مربوط به بخش مونتاژ در جدول۳ ذکر شده‌است.

جدول۳: 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	٤٥١١	٤٤٧٨	٤٤٥١
۲	۹۰۳	۸۹۷	۸۸۸
۳	۷۵۸	۷۵٤	۷٤٤
٤	٤٨	٤٦	٥٠
٥	٥٧٠	٥٥٢	٥٥٨
٦	٦٢	٦٧	٦٣
۷	۱٥	۱٦	۱۷
۸	٤٥	٤٩	٥٠
۹	٦٢	٦٤	٦٦
۱۰	٤٨٢	٤٧٥	٤٨٣
۱۱	٤٨٩	٤٧٨	٤٧٣
۱۲	۲۷	۲۳	۲۲
۱۳	٥٦٤	٥٥٢	٥٦٤
۱٤	۱۰۹۷	۱۰٤٥	۱۰۹۸
۱٥	۱۱٥	۱۰۳	۱۱۸
۱٦	۳۳٦	۳۲۹	۳٤۳
۱۷	۱۲٥٤	۱۲۹۲	۱۲۹٤
۱۸	۸	٦	۹
۱۹	۲۳۳	۲٤٥	۲٤۲
۲۰	۳۰	۳٤	۳۲
۲۱	۲۰۳	۲۱۱	۲۱۰
۲۲	۲۰۰	۲۱٤	۲۱۰
۲۳	٦۳۳	٦۲۹	٦۱۰
جمع زمان‌ها	۱۲٦٤٥	۱۲٥٥۹	۱۲٥۹٥

نتایج بخش مونتاژ. به‌منظور حل مدل و تجزیه‌وتحلیل آن از نرم‌افزار تخصصی *LINDO* استفاده شده‌است، که نتایج حاصل از حل مدل بخش مونتاژ در جداول۴ تا۷ نشان داده‌شده‌است. لازم به توضیح است که به‌دلیل محدودیت‌های موجود در برنامه لیندو متغیرهای ارائه‌شده در قسمت ارائهٔ مدل را برای واردکردن به محیط لیندو تغییر داده شده‌است. به‌این‌صورت که *D1* و D2 به‌ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان پیش‌بینی تقاضا، *XAB*، *XAC* و *XAD* به‌ترتیب متغیرهای تعداد محصول نوع اول که توسط تیم کاری۱، تعداد محصول نوع اول که توسط تیم کاری۲ و تعداد محصول نوع اول که توسط تیم کاری۳ مونتاژشده، *DT1* و *DT2*، به‌ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان کل زمان دردسترس تیم کاری۱، *DT3* و *DT4*، به‌ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان کل زمان دردسترس تیم کاری۲ و *DT5* و *DT6*، به‌ترتیب متغیرهای انحراف منفی و مثبت از آرمان کل زمان دردسترس تیم کاری۳ می‌باشد.

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

جدول٤: نتایج بخش مونتاژ

متغیر	مقدار	هزینه کاهش یافته
D1	۲/۰۰	۰/۷۵
D2	۰/۰۰	۰/۷۵
XAB	۱/۰۰	۳۱٦۱/۲۵
XAC	۱/۰۰	۰/۰۰
XAD	۱/۰۰	۳۱٤۸/۷۵
DT1	۰/۰۰	۰/۵۰
DT2	۸۵/۰۰	۰/۰۰
DT3	۰/۰۰	۰/۲۵
DT4	۰/۰۰	۰/۲۵
DT5	۰/۰۰	۰/۵۰
DT6	۳۵/۰۰	۰/۰۰

جدول۵: قیمت‌های سایه و مقادیر کمکی یا مازاد بخش مونتاژ

شماره محدودیت	مقادیر کمکی یا مازاد	قیمت‌های سایه
۱	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	۰/۰۰	۰/۲۵
۳	۰/۰۰	۰/۰۰
٤	۰/۰۰	۰/۲۵

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

جدول٦: تحلیل حساسیت ضرایب تابع هدف مربوط به مدل بخش مونتاژ

متغیر	مقدار ضریب فعلی	مقدار افزایش مجاز	مقدار کاهش مجاز
D1	۰/۷۵	نامحدود	۰/۷۵
D2	۰/۷۵	نامحدود	۰/۷۵
XAB	۰/۰۰	نامحدود	۳۱٦۱/۲۵
XAC	۰/۰۰	نامحدود	۰/۰۰
XAD	۰/۰۰	نامحدود	۳۱٤۸/۷٤
DT1	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰
DT2	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰
DT3	۰/۲۵	نامحدود	۰/۲۵
DT4	۰/۲۵	نامحدود	۰/۲۵
DT5	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰
DT6	۰/۲۵	نامحدود	۰/۵۰

جدول۷: 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	۸۵/۰۰	نامحدود
۳	۱۲۵۶۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
٤	۱۲۵۶۰/۰۰	۳۵/۰۰	نامحدود

اعتبارسنجی مدل. به‌منظور اعتبارسنجی مدل، نتایج حاصل از مدل با داده‌های موجود در واقعیت مقایسه شد که نتایج آن نشان‌دهندهٔ کاهش زمان استفاده از ماشین‌آلات بود. همچنین مدل حاضر برمبنای مدل‌های ریاضی موجود در مقالات معتبر علمی طراحی شده‌است.

نتیجه‌گیری

عمده مقالاتی که تا به حال دررابطه با انعطاف‌پذیری صورت گرفته‌است، رویکردی جزئی به انعطاف‌پذیری داشته‌اند. به‌عبارت‌دیگر آن‌ها فقط اجزاء یا ابعاد خاصی از

انعطاف‌پذیری را موردبررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه سعی‌شده با استفاده از مدل‌سازی آرمانی، مفهوم انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین به صورت کل در قالب یک مدل ریاضی ارائه شود. مدل طراحی‌شده یک زنجیره‌تأمین را در سه سطح تأمین، تولید و مونتاژ موردبررسی قرار می‌دهد که درواقع به‌صورت مرحله‌به‌مرحله می‌باشد؛ یعنی برای مثال جواب به‌دست‌آمده برای مدل مرحله اول (سطح سوم زنجیره‌تأمین یعنی مونتاژ) در مدل مرحله دوم (سطح دوم زنجیره‌تأمین یعنی تولید) مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این مدل با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، انعطاف‌پذیری نیروی‌انسانی، ماشین‌آلات، تعمیرات و نگهداری و فرایند، به‌صورت هماهنگ درنظر گرفته می‌شوند و انعطاف‌پذیری در هر یک از سطوح زنجیره‌تأمین با استفاده از این ۴بعد موردبررسی قرار می‌گیرند. مدل حاضر با توجه به ابعاد تعیین‌شده، 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. به‌بیان‌دیگر، یک تخصیص بهینه در تمامی بخش‌های زنجیره‌تأمین صورت می‌دهد.

اغلب در زنجیره‌های تأمین رویکرد سیستم تولید فشاری حاکم می‌باشد، که موجب تحمیل هزینهٔ فراوان به اعضای زنجیره می‌شود. اما از آن‌جایی که مدل طراحی‌شده به‌صورت مرحله‌به‌مرحله است این امکان را فراهم می‌آورد که تمامی اجزای زنجیره طبق سیستم کششی، به‌صورت هماهنگ باهم و با توجه به نیاز مشتری نهایی یا میانی اقدام به تولید نمایند. علاوه‌براین، مدل طوری طراحی‌شده که می‌توان در تمامی شرکت‌ها یا سازمان‌های تولیدی که به‌نحوی در یک زنجیره‌تأمین فعالیت می‌کنند مورداستفاده 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 سعی‌شده که ابعاد مناسبی از انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین جهت مدل‌سازی انتخاب شوند، اما می‌توان ابعاد دیگری مانند فن‌آوری اطلاعات را جهت تکمیل مدل نیز به آن اضافه کرد.

مدل به‌نحوی تنظیم‌شده که می‌توان در حلقهٔ آخر زنجیره‌تأمین، بخش توزیع را نیز با اضافه‌کردن یک یا دو محدودیت و یک متغیر صفر و یک تحت پوشش درآورد که در این مطالعه به دلیل عدم‌دسترسی به اطلاعات سیستم توزیع در محیط عملیاتی از این کار صرف نظر شده‌است.

در این مقاله با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، از مفهوم فروش ازدست‌رفته، برای بیان انعطاف‌پذیری استفاده شده‌است، که می‌توان به طرق دیگری مانند میزان فروش محصول، ترکیب محصول ارائه‌شده، سود حاصل از فروش و ... برای ارائهٔ مدل اقدام کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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 وشهرسازی ایران، ۱(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 ofProduction Economics,* Available online, March13.

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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی