فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۶۲ / زمستان ۱۴۰۱

بهینه سازی هزینه‌های زنجیره تأمین با در نظر گرفتن کیفیت و طول زمان سفارش

صلاح الدین قسیمی (نویسنده مسؤول)
استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
Email: Salah340340@yahoo.com
پوریا فخری
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
جاهده تکیه خواه
استادیار، هیات علمی جهاد دانشگاهی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

چکیده

در عصر کنونی با توجه به رقابتی بودن بازار، نگرانی تولید کننده‌ها تسخیر بیشتر سهم بازار می‌باشد، برای این کار رضایت مندی مشتریان در اولویت قرار دارند. با بررسی مطالعات پیشین فاکتورهای کیفیت، هزینه و زمان تحویل نقش اساسی در رضایت مندی مشتریان را بازی می‌کنند. بنابراین برای تحقق این هدف ارائه یک مدل ریاضی جهت بهینه کردن هزینه‌های زنجیره تأمین با در نظر گرفتن کیفیت و زمان سفارش می‌تواند بسیار مفید باشد. دراین تحقیق یک مدل ریاضی جامع ارائه شده است که هزینه‌های مربوط به شبکه زنجیره تأمین از جمله: هزینه‌های تولید، حمل ونقل، گارانتی، دوباره کاری محصولات معیوب، نگهداری مواد اولیه و محصولات، قراضه آلات، و همچنین هزینه‌های ناشی از افزایش طول زمان سفارش و هزینه‌های کیفیت را کمینه می‌کند. برای حل مدل پیشنهادی از نرم افزار بهینه ساز گمز استفاده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش کیفیت هزینه‌های کل و همچنین طول زمان سفارش کاهش یافت. همچنین به منظور اعتبار سنجی، مدل پیشنهادی در شرکت کابل باختر برای محصول ACSR MINK در ۵ دوره پیاده سازی گردید. نتایج بدست آمده از پیاده سازی این مدل در شرکت مذکور نشان داد که با بکارگیری این مدل هزینه‌های شرکت به اندازه ۶.۷٪ کاهش یافت.

کلمات کلیدی: زنجیره تأمین، طول زمان سفارش، کیفیت، گارانتی، مدلسازی ریاضی.

۱-مقدمه

در دنیای پویا و رقابتی امروز، کیفیت به عنوان یک متغیر راهبردی مورد توجه شرکت‌هاست اما تنها کیفیت کافی نیست؛ بلکه تحویل به موقع و کاهش هزینه‌ها نیز برای مزیت رقابتی حیاتی است (Robinson & Malhotra, 2005). امروزه رقابت کسب و کار جهانی تنها در میان سازمان‌ها نیست؛ بلکه بین زنجیره تأمین آن‌ها است (Li et al., 2005). بنابراین به نظر می‌رسد شرکت‌های پیشرو باید بین مدیریت زنجیره تأمین و کیفیت برای ارتقای عملکرد سازمان خود مطابقت ایجاد کنند. اگر اجرای همزمان با موفقیت انجام شود، سازمان منافع زیادی به دست می‌آورد. در غیر این صورت تأثیر نامطلوبی بر عملکرد کسب و کار خواهد داشت. اگرچه مدیریت زنجیره تأمین و کیفیت برای رقابت سازمانی حیاتی است، اما در بیشتر زمان‌ها به صورت جداگانه مطالعه شده‌اند.

به طور ایده آل کیفیت باید عامل حیاتی موفقیت برای مدیریت زنجیره تأمین برای تحویل به موقع محصولات با کیفیت و هزینه رقابتی باشد. گوناسگران و مک گوی[1] (۲۰۰۳). معتقدند که کیفیت نقش کلیدی را در بهبود مدیریت زنجیره تأمین ایفا می‌کند(Gunasekaran & McGaughey, 2003). به طور مشابه باندیوپادیای و اسپارگو[2] (۲۰۰۳) بیان می‌کنند که کیفیت می‌تواند برای ارتقای رقابت در یک زنجیره تأمین اجرا شود(Bandyopadhyay & Sprague, 2003). به طور مفهومی وانیچانیچای و ایگل[3] (۲۰۰۹) در بررسی مبانی نظری کیفیت و مدیریت زنجیره تأمین دریافتند که کیفیت و مدیریت زنجیره تأمین شباهت‌ها و تفاوت‌هایی دراهداف نهایی رضایت مشتری و یکپارچگی نهایی به منظور اعمال داخلی و شرکای کسب و کار خارجی مشاهده شد. این شباهت‌ها و تفاوت‌ها می‌تواند هم افزایی یا اختلاف در یک اجرای همزمان ایجاد کنند. بنابراین کشف و بررسی این مطلب که آیا کیفیت بر مدیریت زنجیره تأمین تأثیر دارد یا خیر بسیار مهم است. همچنین از دغدغه‌های تمامی مشتریان این است که محصول با کیفیت مناسب خریداری کنند زمان تحویل محصول زمان مورد نظر درخواستی آن‌ها باشد(Vanichchinchai & Igel, 2009).

تبریزی و همکاران (۲۰۱۲) مقاله‌ای با عنوان مدل‌سازی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم آبی در ایران با رویکرد لجستیک یکپارچه انجام دادند. در این تحقیق با تکیه بر مفهوم تعادل در نظریه بازی‌ها، مدلی از سیستم لجستیک یکپارچه زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم آبی ارائه گردیده است؛ به طوری که در قالب این مدل، سیستم موجودی و سیاست‌های سفارش‌دهی، ارسال و قیمت گذاری محموله‌های ماهی و همچنین سیاست جمع آوری ضایعات مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از پیاده سازی مدل در شرق مازندران نشان می‌دهد که اجرای مدل پیشنهادی نه تنها به مدیریت جمع آوری ضایعات و همچنین افزایش تازگی ماهی‌های فروخته شده به مشتری کمک می‌نماید، بلکه سود هر یک از اعضای زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم آبی نیز افزایش می‌یابد(Tabrizi et al., 2012).

کاظکی و تاکی (۲۰۱۶) در پژوهشی که انجام دادند یک مدل ریاضی چند هدفه را برای یک شبکه زنجیره تأمین چند سطحی با در نظر گرفتن قیمت گذاری، کیفیت محصولات و اختلال را پیشنهاد دادند. آن‌ها برای ارزیابی هزینه‌های حمل و نقل از شبیه سازی گسسته–پیشامد استفاده کردند. مدل پیشنهادی به وسیله الگوریتم فرا ابتکاری NSGA-II حل و نتایج با الگوریتم MOSA اعتباری سنجی شدند. نتایج کمینه سازی ریسک به همراه بیشینه سازی سود را نشان داد (Kazemi & Taki, 2016).

ناظمی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل ریاضی چند هدفه زنجیره تأمین سه سطحی به منظور افزایش کیفیت و همچنین کاستن زمان تحویل در حالت احتمالی را مورد بررسی قرار دادند. برای حل مدل در حالت قطعیت از نرم افزار بهینه ساز گمز و همچنین در حالت عدم قطعیت از الگوریتم‌های فرا ابتکاری NSGAI و MOIWO تحت نرم افزار متلب استفاده کردند. نتایج نشان داد که با بکار گیری این مدل، علاوه بر بیشینه کردن سود در زنجیره تأمین، کیفیت محصولات بهبود و زمان تحویل کاهش پیدا

[1] Gunasekaran & McGaughey
[2] Bandyopadhyay & Sprague
[3] Vanichchinchai & Igel

می‌کند(Nazemi et al., 2017).

آکرمان و همکاران[۴] (۲۰۱۰) در تحقیق خود کیفیت، امنیت و پایداری در توزیع مواد غذایی را به صورت بررسی رویکردهای مدیریت عملیات کمی و چالش‌های آن بررسی کردند. تمرکز این مقاله بر سه جنبه است: کیفیت غذا، امنیت غذایی و پایداری. به این منظور ادبیات سه سطح از تصمیم‌گیری طراحی شبکه استراتژیک، برنامه‌ریزی شبکه تاکتیکی و برنامه‌ریزی حمل و نقل عملیاتی بررسی‌شده است(Akkerman et al., 2010).

یویدای و همکاران[۵] (۲۰۱۲) کیفیت رقابتی، همکاری و مدیریت گارانتی در زنجیره تأمین را بررسی کردند. کیفیت محصول و پوشش گارانتی محصول دو تصمیم مهم و مرتبط با عملیات است. طولانی‌تر کردن دوره ضمانت می‌تواند فروش را افزایش دهد، اما اگر محصول تولیدی کیفیت خوبی نداشته باشد افزایش زمان گارانتی می‌تواند قیمت محصول را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. برای بررسی اینکه چگونه این دو تصمیم با یکدیگر روبرو می‌شوند و بر عملکرد زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارند، یک مدل تک دوره‌ای با یک تأمین کننده ایجاد شده که یک محصول را به یکی از تولید کننده‌های اصلی تجهیزات ارائه می‌دهد و طول دوره ضمانت محصول هم در نظر گرفته شده است(Yue Dai et al., 2012).

قاسمی و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل ریاضی برای بهینه کردن زنجیره تأمین کالای معیوب ارائه دادند. در این مقاله هزینه‌های دوباره کاری و قراضه آلات در نظر گرفته شده است. همچنین طول دوره مناسب با در نظر گرفتن زمان تولید و زمان تعمیر بررسی گردیده است. برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است(Ghasimi et al., 2013).

خین وو و همکاران[۶] (۲۰۱۸) یک مشکل زنجیره تأمین مواد غذایی فاسد شدنی را با توجه به تقاضا، عدم قطعیت زمان تحویل و محدودیت‌های زمان ارسال را بررسی و همچنین یک مدل و برنامه کاربردی برای سرویس سریع راه آهن حمل آن‌ها ارائه دادند. در این تحقیق الگوهای جریان در یک شبکه زنجیره تأمین مواد غذایی بهینه سازی شد و خدمات راه آهن با سرعت بالا بررسی شد. مطالعه موردی با استفاده از ۲۴۶ قطار برای نشان دادن کاربرد این روش در پکن–شانگهای مورد بررسی قرار گرفت. (Xin Wu et al. 2018)

یو هونگ[۷](۲۰۱۸) یک مطالعه تکمیلی برای محصولات قابل تعمیر تحت گارانتی را بررسی کردند. نوع جدید و کلی‌تر تعمیر، به نام تعمیر"GPP[۸]"، که بر اساس فرآیند تعمیم پایا تعریف شده است در این مطالعه بررسی شد (Yu-Hung, 2018). دوستی و مقدم (۲۰۲۲) یک مدل ریاضی چند هدفه برای برنامه ریزی تولید ارائه دادند. آن‌ها در تحقیقشان رویکرد بهینه سازی فازی را برای مقابله با پارامترهای غیر قطعی به منظور کاهش هزینه‌های موجودی، نیروی انسانی و همچنین افزایش کیفیت بکار گرفتند(Doosti & Moghaddam, 2022).

ابراهیمی و همکاران (۲۰۲۲) یک شبکه زنجیره تأمین معکوس با در نظر گرفتن کیفیت محصولات بازگشتی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که فعالیت‌های لجستیک معکوس را می‌توان به عنوان یک راه حل برای چابک کردن زنجیره تأمین در پاسخ به کمبود ظرفیت تولید محصولات خاص در طول همه‌گیری کووید ۱۹ در نظر گرفت(Bajani et al., 2022).

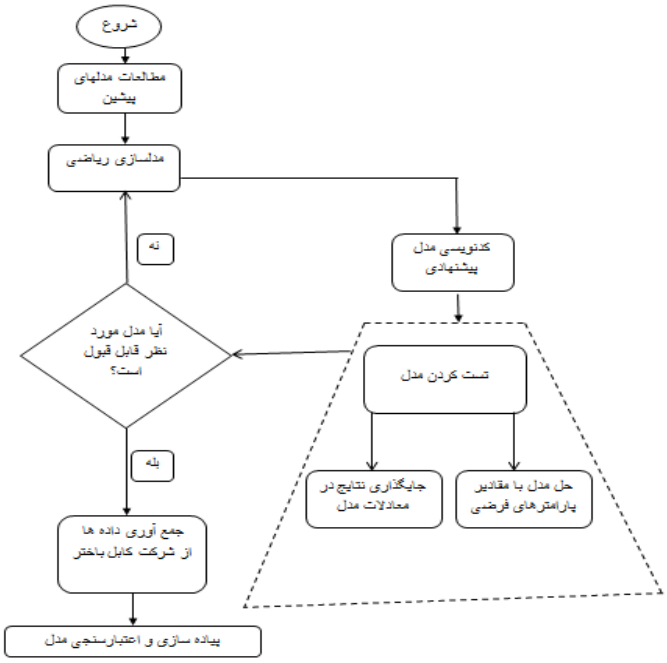
تأثیر کاهش انتشار کربن بر مدل زنجیره تأمین با تصمیمات تولیدی و زمان رهبری پویا تحت تقاضای نامشخص توسط کارثیک و اتایاکومار[۹] (۲۰۲۲) مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق یک مدل موجودی بر اساس توافقنامه موجودی و محموله مدیریت شده توسط فروشنده با تحویل یک کالا از فروشنده واحد به یک خریدار تحت زمان تحویل قابل کنترل توسعه داده شد. هدف اصلی این مطالعه به حداکثر رساندن سود ناخالص با عوامل مختلف واقع بینانه و کاهش انتشار کربن از فرآیند تولید است. پنج آزمایش عددی، مقایسه و تحلیل حساسیت برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی انجام شد. در نهایت مشخص شد که مزایای

[4] Akkerman et al.
[5] Yue Dai et al.
[6] Xin Wu et al.
[7] Yu-Hung
[8] Generalized polya process
[9] Karthik & Uthayakumar

قیمت‌گذاری متغیر و سرمایه‌گذاری در کاهش انتشار کربن به مدیران صنعت در مدیریت موثر استراتژی‌های قیمت‌گذاری و موجودی برای اتخاذ یک زنجیره تأمین پایدار در یک محیط نامطمئن کمک می‌کند(Karthik & Uthayakumar, 2022). مشتریان زمانی که سفارش می‌دهند بر پایه همان زمان توافقی برنامه تولید یا مصرف خود را شکل می‌دهند. آن‌ها انتظار دارند که برآوردهای زمانی دقیق باشد و تأخیر در تحویل برای آن‌ها غیرقابل تحمل است. هزینه‌های هماهنگی ضعیف بین اعضای زنجیره تأمین می‌تواند بسیار سنگین باشد. به طورکلی هرچه شرکت از نظر زمان تحویل از مشتری نهایی فاصله بگیرد، تغییرات تقاضا بیشتر خواهد بود. به واسطه افزایش هزینه‌ها و کاهش توان رقابتی شرکت، این اثر باعث اختلال در زنجیره تأمین می‌شود. بر این اساس شناخت و شناسایی اثرات کیفیت و زمان انتظار بر روی زنجیره تأمین، درک بهتری از روابط و تعاملات زنجیره تأمین را موجب می‌شود و با استفاده از آن می‌توان به عملکرد بهتر زنجیره تأمین دست یافت. با بررسی منابع مشاهده می‌شود. هدف عمده این تحقیق، ارائه یک مدل ریاضی جهت بهینه کردن هزینه‌های زنجیره تأمین با در نظر گرفتن کیفیت و طول مدت زمان سفارش می‌باشد. با توجه به اینکه این موضوع تاکنون سهم ناچیزی از تحقیقات انجام شده را به خود اختصاص داده است، ضرورت پرداختن به چنین موضوعی و بررسی و مطالعه آن کاملاً احساس می‌گردد.

۲- روش شناسی پژوهش

همان طوری که قبلا بیان شد هدف اصلی مدل مینیمم کردن هزینه‌های زنجیره تأمین محصولات دارای زمان گارانتی، با در نظر گرفتن کیفیت و طول زمان سفارش در هر دوره می‌باشد. برای حل مدل پیشنهادی از نرم افزار گمز استفاده شد. همچنین برای اعتبار سنجی، مدل پیشنهادی در شرکت کابل باختر پیاده سازی گردید. این تحقیق ابتدا با مطالعه تحقیقات محققان پیشین آغاز شد. بعد از پیدا کردن گپ، مدل پیشنهادی ارائه گردید. سپس در محیط نرم افزار گمز کد نویسی شد. برای تست کردن، مدل پیشنهادی با مقادیر فرضی حل شد و نتایج بدست آمده در معادلات مدل جایگذاری گردیدند. در صورت عملکرد صحیح معادلات، مدل پیشنهادی به وسیله داده‌های جمع آوری شده از شرکت کابل باختر مورد ارزیابی قرار گرفته شد. فلوچارت روش تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): فلو چارت روش تحقیق

الف) مدل سازی ریاضی

هدف اصلی مدل پیشنهادی مینیمم کردن هزینه‌های زنجیره تأمین محصولات دارای زمان گارانتی با در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت و طول زمان سفارش در هر دوره می‌باشد. لایه‌های زنجیره تأمین بررسی شده در این تحقیق شامل: تأمین کننده‌ها، تولیدکننده‌ها، نمایندگان و خرده فروشها می‌باشد در این زنجیره تأمین بررسی شده تولید کننده‌ها قطعات مورد نیاز خود را از تأمین کننده‌ها می‌خرند. قطعات خریداری شده در بدو ورود به انبار قطعات در تولید کننده‌ها قبل از ورود به فرایند تولید مورد ارزیابی و کنترل قرار می‌گیرند. قطعات معیوب شناسایی به تأمین کننده‌ها برگشت داده می‌شوند و قطعات سالم شناسایی شده وارد فرایند تولید محصولات می‌شوند. بعد از فرایند تولید محصولات معیوب به انبار محصولات معیوب در کارخانه فرستاده می‌شوند. با توجه به اینکه در این زنجیره تأمین پیشنهادی محصولات معیوب در هر دوره توسط همان ماشین‌های تولید تعمیر و دوباره کاری می‌شوند بنابراین محصولات معیوب انبار شده بعد از چرخه تولید کلیه محصولات در هر دوره وارد فرایند دوباره کاری می‌شوند. بعد از فرایند دوباره کاری محصولاتی که بتوانند کیفیت لازم را کسب کنند. به عنوان محصولات سالم به نمایندگی‌ها فرستاده می‌شوند تا از آنجا به طرف خرده فروشها یا مشتریان منتقل شوند و محصولاتی که نتوانند بعد از فرایند دوباره کاری کیفیت لازم را کسب کنند به عنوان قراضه از سیستم خارج می‌شوند. هر چه درصد محصولات معیوب تولید شده کمتر باشد نشان دهنده کیفیت مناسب فرایند تولید و همچنین قطعات بکار رفته در محصولات می‌باشد. تعریف اندیسها، توضیح پارامترها و مقادیر آن‌ها و همچنین توضیح متغییرهای مدل در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شده‌اند.

جدول شماره (۱): تعریف اندیس ها

اندیسها	مجموعه‌ها
S	مجموعه تأمین کننده‌ها $\{S\dots, s, \dots\}=s=\{۱,۲,\dots,s,\dots\}$
M	مجموعه مواد خام یا قطعات $\{M\dots, m, \dots\}=m=\{۱,۲,\dots,m,\dots\}$
F	مجموعه کارخانه‌ها یا تولید کننده‌ها $\{F\dots, f, \dots\}=f=\{۱,۲,\dots,f,\dots\}$
A	مجموعه نمایندگی‌ها $\{A\dots, a, \dots\}=a=\{۱,۲,\dots,a,\dots\}$
R	مجموعه خرده فروشها $\{R\dots, r, \dots\}=r=\{۱,۲,\dots,r,\dots\}$
P	مجموعه محصولات $\{P\dots, p, \dots\}=p=\{۱,۲,\dots,p,\dots\}$
t, τ	مجموعه دوره‌ها $\{T\dots, t, \dots\}=t=\{۱,۲,\dots,t,\dots\}$

جدول شماره (۲): توضیح پارامترها و مقادیر آن‌ها

پارامترها	توضیحات پارامترها و مقادیر آن‌ها
pp^{t}_{pf}	هزینه تولید هر واحد محصول p در کارخانه f در دوره t Norm(۱,۲)
re^{t}_{pf}	هزینه تعمیر هر واحد محصول معیوب شده p در کارخانه f در دوره t Norm(۱۰,۵)
sc^{t}_{pf}	هزینه هر واحد محصول قراضه تولید شده p در کارخانه f در دوره t Norm(۵۰,۱۰)
tca^{t}_{pfa}	هزینه حمل هر واحد محصول p از کارخانه f به نمایندگی a در دوره t Norm (۱۵,۵)
tcr^{t}_{par}	هزینه حمل هر واحد محصول p از نمایندگی a به خرده فروش r در دوره t Norm(۲۰,۵)
$tcpa^{t}_{msf}$	هزینه حمل هر قطعه m از تأمین کننده s به کارخانه f در طول دوره t Norm(۷,۳)
$trdPa^{t}_{msf}$	هزینه حمل قطعات معیوب m برگشتی از کارخانه f به تأمین کننده s در دوره t Norm(۶,۲)

$tcdpa^{t}_{mfs}$	هزینه حمل هر قطعه معیوب m از کارخانه f به تأمین کننده s در دوره t Norm(۷,۳)
$tcapa^{t}_{mfa}$	هزینه حمل هر واحد قطعه m از کارخانه f به نمایندگی a در دوره t Norm(۷,۴)
rc^{τ}_{pa}	هزینه تعمیر هر محصول معیوب p برگشتی از مشتری به نمایندگی a در دوره گارانتی Norm(۱۰,۴)
Ind^{t}	هزینه‌های غیر مستقیم (هزینه‌های سرمایه خوابیده، مصرف انرژی، استهلاک و...) در دوره t Norm(۵,۲)
bpa^{t}_{msf}	هزینه خرید هر واحد قطعه m تولید شده در تأمین کننده s در دوره t Norm(۹,۳)
hd^{t}_{pf}	هزینه نگهداری هر واحد محصول معیوب p تولید شده در کارخانه f در دوره t Norm(۶,۴)
hpa^{t}_{msf}	هزینه نگهداری هر واحد قطعه m در کارخانه f ساخته شده در تأمین کننده s در دوره t Norm(۷,۴)
$hdpa^{t}_{mf}$	هزینه نگهداری هر واحد قطعه معیوب m در کارخانه f در دوره t Norm(۷,۳)
hca^{t}_{pa}	هزینه نگهداری هر واحد محصول p در نمایندگی a در دوره t Norm(۶,۴)
$derp^{t}_{pr}$	مقدار تقاضای مشتریان برای محصول p در خرده فروش r در دوره t Norm(۲۰۰۰,۱۰۰۰)
$deap^{t}_{pa}$	مقدار تقاضای مشتریان برای محصول p در نمایندگی a در دوره t Norm(۲۰۰۰,۵۰۰)
CS^{t}_{msf}	ظرفیت تولید تأمین کننده s برای قطعه m که به کارخانه f در دوره t فرستاده می‌شود. Norm(۷۰۰۰۰,۲۰۰۰۰)
CF^{t}_{pf}	ظرفیت تولید کارخانه f برای تولید محصول p در دوره t Norm(۷۰۰۰۰,۱۰۰۰۰)
CWF^{t}_{mf}	ظرفیت انبار قطعات m در کارخانه f در دوره t Norm(۱۰۰۰۰۰,۲۰۰۰۰)
CWA^{t}_{ap}	ظرفیت انبار محصولات p در نمایندگی a در دوره t Norm(۶۰۰۰۰,۲۰۰۰۰)
$prdp^{\tau}_{pa}$	درصد محصولات معیوب p برگشتی به نمایندگی a در دوره گارانتی Uniform(۰ ,۰/۲)
pdp^{t}_{pf}	درصد محصولات معیوب p تولید شده بعد از فرایند تولید در کارخانه f در دوره t Uniform(۰ ,۰/۳)
ppa^{t}_{msf}	درصد قطعات معیوب m شناسایی شده در ارزیابی اولیه قبل از ورود به فرایند تولید محصولات در کارخانه f و تولید شده توسط تأمین کننده s در دوره t Uniform(۰ ,۰/۲)
pau^{t}_{mpf}	درصد معیوب شدن قطعات m بعد از فرایند تولید محصول p توسط کارخانه f در دوره t Uniform(۰ ,۰/۳)
α^{t}_{pf}	درصد محصولات قراضه p در کارخانه f در دوره tکه بعد از تعمیر و دوباره کاری نتوانسته اند کیفیت لازم را داشته باشند Uniform(۰ ,۰/۳)
ρ	مقدار عددی بین صفر و یک

$Ttrpa_{sf}^{t}$	زمان حمل قطعات از تأمین کننده s به کارخانه f در دوره t Norm(۶,۲)
Ts^{t}	طول زمان سفارش در حالت استاندارد در هر دوره t Norm(۵۰,۱۰)
$tins_{msf}^{t}$	زمان بازرسی و کنترل قطعه m در کارخانه f تولید شده توسط تأمین کننده s در دوره t Norm(۵,۲)
mth_{mf}^{t}	متوسط زمان نگهداری قطعه m در انبار کارخانه f در دوره t Norm(۵,۱)
$t\,\mathrm{ex}_{msf}^{t}$	مدت زمان لازم برای تعویض قطعه معیوب m شناسایی شده هنگام بازرسی و کنترل قطعات در کارخانه f فرستاده شده از تأمین کننده s در دوره t Norm(۴,۱)
tpp_{pf}^{t}	مدت زمان لازم برای تولید هر محصول p در کارخانه f در دوره t Norm(۱۰,۳)
$tinsp_{pf}^{t}$	مدت زمان لازم برای بازرسی و کنترل محصول p در کارخانه f در دوره t Norm(۷,۳)
$trep_{pf}^{t}$	مدت زمان لازم برای تعمیر و دوباره کاری محصول معیوب p تولید شده در کارخانه f در دوره t Norm(۵,۳)
$ttrp_{pfa}^{t}$	مدت زمان لازم برای حمل محصولات از کارخانه f به نمایندگی a در دوره t Norm(۶,۲)
$ttrar_{par}^{t}$	مدت زمان لازم برای حمل هر محصول p از نمایندگی a به خرده فروش r در دوره t Norm(۷,۲)
n_{t}	طول دوره گارانتی در هر دوره t (مضربی از طول دوره در نظر گرفته می‌شود)
npa_{mp}	تعداد قطعات m مصرف شده در تولید محصول p Norm(۳,۱)

جدول شماره (۳): توضیح متغییرها

متغییرها	توضیحات متغییرها
Q_{pf}^{t}	تعداد کل محصولات p تولید شده توسط کارخانه f در دوره t
Def_{pf}^{t}	تعداد محصولات معیوب تولید شده p توسط کارخانه f در دوره t
SCR_{pf}^{t}	تعداد محصولات قراضه p تولید شده در کارخانه f در دوره t
TRA_{pfa}^{t}	تعداد محصول p حمل شده از کارخانه f به نمایندگی a در دوره t
TRR_{par}^{t}	تعداد محصولات p حمل شده از نمایندگی a به خرده فروش r در دوره t
PA_{msf}^{t}	تعداد کل قطعات m فرستاده شده از تأمین کننده s به کارخانه f در دوره t
DPa_{mspf}^{t}	تعداد قطعات معیوب m شناسایی شده در ارزیابی اولیه در کارخانه f قبل از ورود به فرایند تولید محصول p که توسط تأمین کننده s در دوره t تولید شده است.
CPa_{mspf}^{t}	تعداد قطعات سالم m شناسایی شده در ارزیابی اولیه در کارخانه f قبل از ورود به فرایند تولید محصول p که توسط تأمین کننده s در دوره t تولید شده است.
Td_{p}^{t}	کل سفارش محصول p در دوره t
TLT^{t}	کل زمان هر دوره سفارش در دوره t
LT_{p}^{t}	مدت زمان طول هر دوره سفارش برای محصول p در دوره t

ب) تابع هدف مدل

در محیط رقابتی بازارهای جهانی کنونی، اکثر مدیران کارخانه‌ها به دنبال بهترین شبکه زنجیره تأمین برای کاهش دادن هزینه‌ها، افزایش دادن کیفیت و رضایتمندی بیشتر مشتریان به عنوان مزیت رقابتی می‌باشند. برای این منظور در این تحقیق یک مدل جامع که علاوه بر کمینه کردن هزینه‌های تولید، نگهداری، حمل و نقل و خرید قطعات، هزینه‌های ناشی از افزایش طول مدت زمان سفارش، عدم کیفیت مناسب و همچنین هزینه‌های گارانتی محصولات را نیز مینیمم می‌کند. تابع هدف این مدل در ادامه آورده شده است.

تابع هدف:

$$
\begin{aligned}
Min \quad Z1 = & \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} pp_{pf}^{t}.Q_{pf}^{t} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}(re_{pf}^{t} + hd_{pf}^{t}).Def_{pf}^{t} + \\
& \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} sc_{pf}^{t}.SCR_{pf}^{t} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{a=1}^{A}\sum_{t=1}^{T} tca_{pfa}^{t}.TRA_{pfa}^{t} + \\
& \sum_{p=1}^{P}\sum_{a=1}^{A}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T} tcr_{par}^{t}.TRR_{par}^{t} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{a=1}^{A}\sum_{t=1}^{T}\sum_{f=1}^{F} hca_{pa}^{t}.TRA_{pfa}^{t} + \\
& \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}(tcpa_{msf}^{t} + bpa_{msf}^{t} + hpa_{msf}^{t}).PA_{mspf}^{t} + \\
& \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T}(tcdpa_{mfs}^{t} + hdpa_{mf}^{t}).DPa_{mspf}^{t} + \\
& \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{a=1}^{A}\sum_{t=1}^{T}\sum_{\tau=t}^{\min(t+n_i,T)} rc_{pa}^{\tau}.prdp_{pa}^{\tau}.TCo_{pf}^{t} + \\
& \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} Ind_{pf}^{t}.Q_{pf}^{t}.\left(1 + \frac{TLT^{t} - Ts^{t}}{Ts^{t}}\right)
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

تابع هدف (۱) ارائه شده به ترتیب شامل هزینه‌های: تولید محصولات، تعمیر و نگهداری محصولات معیوب، محصولات قراضه یا ضایعات، حمل محصولات تولیدی از کارخانه به نمایندگی‌ها و از نمایندگی‌ها به خرده فروش‌ها، نگهداری محصولات در نمایندگی‌ها، حمل و خرید و نگهداری مواد اولیه یا قطعات خریداری شده توسط تولید کننده‌ها، حمل و نگهداری مواد اولیه یا قطعات معیوب برگشتی از کارخانه‌ها به تأمین کننده‌ها، هزینه‌های تعمیر محصولات معیوب برگشتی از مشتری‌ها به نمایندگی‌ها در زمان گارانتی و در نهایت هزینه‌های ناشی از طولانی شدن طول زمان سفارش (هزینه‌های غیر مستقیم مثل: سرمایه خوابیده، انرژی و...). همچنین محدودیت‌های مدل نیز در ادامه آورده شده‌اند.

ج) محدودیت‌های مدل

$$DPa_{mspf}^{t} = ppa_{mspf}^{t}.PA_{mspf}^{t} \qquad \forall m,s,p,f,t \qquad (۲)$$

$$CPa_{mspf}^{t} = (1 - ppa_{mspf}^{t}).PA_{mspf}^{t} \qquad \forall m,s,p,f,t \qquad (۳)$$

$$PA_{mspf}^{t} = DPa_{mspf}^{t} + CPa_{mspf}^{t} \qquad \forall m,s,p,f,t \qquad (۴)$$

$$\sum_{s=1}^{S} CPa_{mpsf}^{t} \geq npa_{mp}.\left(Q_{pf}^{t} + pau_{mpf}^{t}.Def_{pf}^{t} + \sum_{a=1}^{A}\sum_{\tau=t}^{\min(t+n_i,T)} prdp_{pa}^{\tau}.TCo_{pf}^{t}\right) \qquad \forall m,p,f,t \qquad (۵)$$

$$\sum_{a=1}^{A} prdp_{pa}^{t} = \sum_{f=1}^{F} \rho.pdp_{pf}^{t} \qquad \forall p,t \qquad (۶)$$

$$\sum_{p=1}^{P} LT_p^t = \sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F} Ttrpa_{sf}^t + \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F} (tins_{msf}^t + mth_{mf}^t).PA_{mspf}^t + \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F} tex_{msf}^t DPa_{mspf}^t + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F} (tpp_{pf}^t + tinsp_{pf}^t).Q_{pf}^t + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F} trep_{pf}^t.Def_{pf}^t + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{a=1}^{A} ttrp_{pfa}^t.TRA_{pfa}^t + \sum_{p=1}^{P}\sum_{a=1}^{A}\sum_{r=1}^{R} ttrar_{par}^t.(TRA_{pfa}^t - deap_{pa}^t) \quad \forall t \qquad (۷)$$

$$TLT^t = \sum_{p=1}^{P} LT_p^t \quad \forall t \qquad (۸)$$

$$TS^t \le TLT^t \quad \forall t \qquad (۹)$$

$$PA_{mspf}^t \le CS_{mspf}^t \quad \forall m,s,p,f,t \qquad (۱۰)$$

$$Q_{pf}^t \le CF_{pf}^t \quad \forall p,f,t \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{s=1}^{S} PA_{msf}^t \le CWF_{mf}^t \quad \forall m,f,t \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{f=1}^{F} TRA_{pfa}^t \le CWA_{ap}^t \quad \forall a,p,t \qquad (۱۳)$$

$$Def_{pf}^t = pp_{pf}^t.Q_{pf}^t \quad \forall p,f,t \qquad (۱۴)$$

$$Td_p^t = \sum_{a=1}^{A} deap_{pa}^t + \sum_{r=1}^{R} derp_{pr}^t \quad \forall p,t \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{r=1}^{R} TRR_{par}^t \ge derp_{pr}^t \quad \forall p,r,t \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{f=1}^{F} TRA_{pfa}^t \ge \sum_{r=1}^{R} TRR_{par}^t + deap_{pa}^t \quad \forall p,a,t \qquad (۱۷)$$

$$SCR_{pf}^t = \alpha_{pf}^t.Def_{pf}^t \quad \forall p,f,t \qquad (۱۸)$$

$$TCo_{pf}^t \ge \sum_{a=1}^{A} TRA_{pfa}^t \quad \forall p,f,t \qquad (۱۹)$$

$$TCo_{pf}^t = Q_{pf}^t - SCR_{pf}^t \quad \forall p,f,t \qquad (۲۰)$$

$$Td_p^t \le \sum_{f=1}^{F}\sum_{a=1}^{A} TRA_{pfa}^t \quad \forall p,t \qquad (۲۱)$$

$$Q_{pf}^t, Def_{pf}^t, SCR_{pf}^t, TRA_{pfa}^t, TRR_{par}^t, PA_{msf}^t, Td_p^t, LT^t, LT_p^t \ge 0 \quad \forall p,f,a,r,s,m,t \qquad (۲۲)$$

د) توضیح محدودیت‌های مدل

این محدودیت تعداد قطعات معیوب شناسایی شده در بازرسی اولیه که توسط کارخانه‌ها از تأمین کننده‌ها خریداری شده‌اند را قبل از ورود به فرایند تولید محصولات را نشان می‌دهد.

این محدودیت تعداد قطعات سالم شناسایی شده در بازرسی اولیه که توسط کارخانه‌ها از تأمین کننده‌ها خریداری شده‌اند را قبل از ورود به فرایند تولید محصولات را نشان می‌دهد.

این محدودیت کلیه قطعات خریداری شده از تأمین کننده‌ها توسط کارخانه‌ها را نشان می‌دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که کلیه قطعات سالم خریداری شده از تأمین کننده‌ها توسط تولیدکننده‌ها باید کلیه قطعات مورد نیاز برای تولید کلیه محصولات سالم و تعمیر محصولات معیوب تولید شده بعد از فرایند تولید در کارخانه‌ها و همچنین تعمیر محصولات معیوب برگشتی از مشتری‌ها به خدمات پس از فروش در زمان گارانتی را پوشش دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که درصد محصولات معیوب برگشتی از مشتری‌ها به خدمات پس از فروش در زمان گارانتی رابطه مستقیمی با کیفیت فرایند تولید محصولات دارد. به اینصورت که هر چه کیفیت تولید محصولات بیشتر باشد درصد محصولات معیوب برگشتی از مشتری‌ها در زمان گارانتی کمتر خواهد بود.
این محدودیت طول زمان سفارش در هر دوره برای هر محصول را نشان می‌دهد.
این محدودیت کل طول زمان سفارش در هر دوره را نشان می‌دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که طول زمان سفارش در حالت استاندارد کمتر از طول زمان سفارش در حالت واقعی است.
این محدودیت نشان می‌دهد که ظرفیت تولید تأمین کننده‌ها همواره باید بیشتر کل قطعات مورد نیاز کارخانه‌ها باشد. به عبارت دیگر کلیه تقاضاها باید توسط تأمین کننده‌های قطعات برآورده شوند.
این محدودیت بیانگر این است که ظرفیت تولید کارخانه‌ها باید کلیه محصولات مورد نیاز را پوشش دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که ظرفیت انبار قطعات در کارخانه‌ها باید بیشتر از کل قطعات خریداری شده باشد تا کلیه قطعات بتوانند در انبارهای قطعات در کارخانه‌ها جایگذاری شوند.
این محدودیت نشان می‌دهد که ظرفیت اعتبار نمایندگی‌ها باید مقدار محصولات ارسالی از کارخانه‌ها را بتوانند پوشش دهند.
این محدودیت نشان دهنده تعداد کل محصولات معیوب است. به عبارت دیگر تعداد محصولات معیوب تولید شده در تولید کننده‌ها برابر است با درصد محصولات معیوب ضرب در تعداد کل محصولات تولیدی.
این محدودیت کل سفارشات محصولات به کارخانه‌ها را نشان می‌دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که تعداد محصولات حمل شده از نمایندگی‌ها به خرده فروش‌ها باید کل سفارشات خرده فروشها را پوشش دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که کلیه محصولاتی که از کارخانه‌ها به نمایندگی‌ها فرستاده می‌شوند باید کل سفارشات (سفارشات خرده فروشها و نمایندگی‌ها) را پوشش دهد.
این محدودیت کلیه محصولات قراضه را نشان می‌دهد.
این محدودیت نشان می‌دهد که کلیه سفارشات مشتریان باید با محصولات سالم پوشش داده شوند.
این محدودیت تعداد محصولات سالم تولید شده در کارخانه در کارخانه‌ها را نشان می‌دهد.
تعداد محصولات حمل شده از کارخانه به نمایندگی‌ها همواره بزرگتر یا مساوی با تعداد کل سفارشات است.
این محدودیت نشان می‌دهد که مقادیر متغییرها نمی‌توانند منفی باشند یعنی همواره بزرگتر یا مساوی صفر هستند.

۳- نتایج و بحث

از آنجا که مدل پیشنهادی در ادبیات موضوع مشاهده نشده است و مدلی که همه پارامترهای در نظر گرفته شده در این تحقیق را در نظر بگیرد موجود نیست لذا مسائل نمونه مختلفی به صورت تصادفی و با استفاده از مقادیر پارامترهایی که در جدول ۲ مشاهده می‌شوند، تولید گردیدند. مدل پیشنهادی برای ده مسئله نمونه با ابعاد مختلف به وسیله نرم افزار گمز حل گردید. نتایج حاصل از تابع هدف مدل در جدول ۴ آورده شده‌اند.
با توجه به اینکه آوردن نتایج کل متغیرهای مسایل حل شده زیاد می‌باشند، به عنوان نمونه فقط نتایج متغییرهای بدست آمده برای مسئله ۵ در جدول ۵ آورده شده‌اند. در این جدول از سمت چپ ستون اول مقدار کل محصولات تولید شده توسط کارخانه‌ها را نشان می‌دهد. به عنوان مثال $Q(1,1,2)$= ۱۴۲۲۰ مقدار محصول تولید شده نوع ۱ توسط کارخانه ۱ در دوره ۲ را نشان می‌دهد. یعنی با توجه به هزینه‌ها بهتر است در دوره دوم کارخانه ۱ فعال باشد تا هزینه‌های تولید مینیمم شود.

همچنین DEF(۱,۱,۲) =۱۴۲۲ مقدار محصول معیوب تولید شده نوع ۱ توسط کارخانه ۱ در دوره ۲ را نشان می‌دهد. یعنی با توجه به درصد معیوبات (۱۰٪) در دوره دوم در کارخانه ۱ تعداد ۱۴۲۲ محصول معیوب تولید می‌شود. همچنین Q(۱,۱,۲) =۰ نشان می‌دهد که برای کاهش هزینه‌ها بهتر است که کارخانه ۲ در دوره دوم غیر فعال باشد. برای بقیه متغییر ها نیز به همین صورت می‌باشد.

جدول شماره (۴): مقادیر تابع هدف برای ۱۰ مسئله نمونه

مسئله	Z
۱	۲۱۴۵۲۵۹
۲	۲۵۱۱۳۱۲
۳	۲۶۵۲۹۷۴
۴	۷۳۷۰۸۰۷
۵	۲۸۵۰۹۶۶۰
۶	۳۹۶۶۱۵۲۶
۷	۷۲۸۷۶۳۴۸
۸	۱۰۵۴۲۶۴۱۴
۹	۱۵۵۴۶۴۰۸۱
۱۰	۲۵۲۸۹۲۷۰۴

جدول شماره (۵): نتایج متغییرهای بدست آمده برای مسئله ۵

Q	DEF	SCR	TRA	TRR
Q(۱,۱,۱)=۰	DEF(۱,۱,۱) =۰	SCR(۱,۱,۱)=۰	TRA(۱,۱ ,۱,۱)= ۰	TRR(۱,۱ ,۴,۲)= ۰
Q(۱,۱,۲)=۱۴۲۲۰	DEF(۱,۱,۲)۱۴۲۲=	SCR(۱,۱,۲) =۴۶	TRA(۱,۱ ,۱,۲)=۸۲۰۱	TRR(۱,۱ ,۱,۲)=۱۱۸۶
Q(۱,۱,۳)=۰	DEF(۱,۱,۳)=۰	SCR(۱,۱,۳)=۰	TRA(۱,۱ ,۱,۳)=۰	TRR(۱,۱ ,۱,۳)=۰
Q(۱,۲,۱)=۱۴۳۵۵	DEF(۱,۲,۱)=۱۴۳۵	SCR(۱,۲,۱)=۴۸	TRA(۱,۱ ,۲,۱)=۰	TRR(۱,۱ ,۲,۱)=۰
Q(۱,۲,۲)=۰	DEF(۱,۲,۲)=۰	SCR(۱,۲,۲)=۰	TRA(۱,۱ ,۲,۲)=۱۵۲۳	TRR(۱,۱ ,۲,۲)=۱۵۲۳
Q(۱,۲,۳)=۱۴۳۷۱	DEF(۱,۲,۳)=۱۴۳۷	SCR(۱,۲,۳)=۱۰۰	TRA(۱,۱ ,۲,۳)=۰	TRR(۱,۱ ,۲,۳)=۰
			TRA(۱,۱,۳,۱)=۰	TRR(۱,۱,۳,۱)=۰
			TRA(۱,۱,۳,۲)=۱۴۸۳	TRR(۱,۱,۳,۲)=۱۴۸۳
			TRA(۱,۲ ,۱,۱)=۲۶۷۰	TRR(۱,۱ ,۴,۱)=۰
			TRA(۱,۲ ,۱,۲)=۰	TRR(۱,۱ ,۴,۲)=۱۵۸۳
			TRA(۱,۲ ,۱,۳)=۲۷۲۹	TRR(۱,۱ ,۴,۳)=۰
			TRA(۱,۲ ,۲,۱)=۸۸۴۰	TRR(۱,۲ ,۱,۱)=۱۸۰۰
			TRA(۱,۲ ,۲,۲)=۰	TRR(۱,۲ ,۱,۲)=۰
			TRA(۱,۲ ,۲,۳)=۸۵۶۶	TRR(۱,۲ ,۱,۳)=۱۲۱۴
			TRA(۲,۳,۱)=۲۷۹۷	TRR(۱,۲ ,۲,۱)۱۹۹۸=
			TRA(۱,۲ ,۳,۱)=۰	TRR(۱,۲ ,۲,۲)۰=
			TRA(۱,۲ ,۳,۲)=۲۹۷۶	TRR(۱,۲ ,۲,۳)=۱۲۷۴
				TRR(۱,۲ ,۳,۱)=۱۱۱۸
				TRR(۱,۲ ,۳,۲)=۰
				TRR(۱,۲ ,۳,۳)=۱۵۵۹
				TRR(۱,۲ ,۴,۱)=۱۱۰۸

TRR(۱,۲ ,۴,۲)= ۰	
TRR(۱,۲ ,۴,۳)= ۱۹۷۷	

ادامه جدول شماره (۵): نتایج متغییرهای بدست آمده برای مسئله ۵

PA	TD	TLT	LT
PA(۱,۱ ,۱,۲)=۰	TD(۱,۱)=۱۴۳۰۷	TLT(۱)=۱/۰۵۵۳۷۹E+۷	LT(۱,۱)= ۱/۰۵۵۳۷۹E+۷
PA(۱,۱ ,۱,۳)=۰	TD(۱,۲) =۱۴۱۷۴	TLT(۲)=۱/۰۰۶۹۱۷E+۷	LT(۱,۲)= ۱/۰۰۶۹۱۷E+۷
PA(۱,۱ ,۱,۲)=.	TD(۱,۳)=۱۴۲۷۱	TLT(۳)= ۶۶۶۰۱۶۵	LT(۱,۳)= ۶۶۶۰۱۶۵
PA(۱,۱ ,۲,۳)=۱۵۳۳۰۶			

الف) اثر افزایش کیفیت بر هزینه‌های زنجیره تأمین و طول زمان سفارش

در عصر کنونی با توجه به رشد چشمگیر تکنولوژی، فناوری اطلاعات، تکنیک‌های افزایش کیفیت همانند (FMEA, 5S ,… ZQC, JIT,)و اتوماسیون کردن فرایندها که کاهش خطاها را در پی خواهند داشت می‌توان کیفیت را مطابق با برنامه استراتژیک سازمان‌ها افزایش داد. هزینه‌های کیفیت شامل هزینه‌های شکست، ارزیابی و بازرسی، و پیشگیری می‌باشد. هزینه‌های شکست شامل هزینه‌های محصولات معیوب، قراضه، دوباره کاری‌ها، نارضایتی مشتریان و از دست دادن آن‌ها و ... می‌باشد که معمولاً بیش از ۸۰ درصد هزینه‌های کیفیت را پوشش می‌دهند (Juran & Godfrey, 1999). بنابراین در مراکز تولیدی هر چه کیفیت قطعات بکار رفته در محصولات و همچنین کیفیت فرایند تولید بهبود یابد تعداد محصولات معیوب تولید شده کمتر و هزینه‌های شکست کاهش پیدا می‌کنند. با کاهش معیوبات، اتلافات زمانی کاهش یافته و نهایتاً طول زمان سفارش کاهش خواهد یافت. در جدول ۶ ستون‌های اول و دوم سمت راست به ترتیب کیفیت فرایند تولید و کیفیت قطعات بکار رفته در تولید محصولات را نشان می‌دهند. همچنین ستون‌های سوم و چهارم از سمت راست نشان می‌دهند که با افزایش کیفیت فرایند تولید و قطعات بکار رفته در محصولات طول زمان سفارش و هزینه‌های زنجیره تأمین بررسی شده کاهش می‌یابند. همچنین شکل‌های ۲ و ۳ نقش افزایش کیفیت بر کاهش هزینه‌های کل و طول زمان سفارش را نشان می‌دهند. نتایج حاصله از حل مدل پیشنهادی نشان داد که با افزایش کیفیت هزینه‌های دوباره کاری، قراضه آلات، نگهداری محصولات، قطعات معیوب، همچنین زمان‌های دوباره کاری و نگهداری محصولات کاهش می‌یابند و نهایتاً هزینه‌های کل زنجیره و طول زمان سفارش کاهش پیدا کردند.

جدول شماره (۶): اثر افزایش کیفیت بر هزینه‌های زنجیره تأمین بررسی شده و زمان سفارش

Z	TLT^t	ppa^t_{msf}	pdp^t_{pf}
۱۴۲۹۴۶۰۴	۴۳۱۷۱۸۷	۰/۳	۰/۴
۱۰۹۳۱۷۳۰	۳۲۴۸۲۹۵	۰/۲	۰/۳۵
۸۴۳۴۷۰۶	۲۴۵۶۷۱۰	۰/۱	۰/۳
۵۴۳۰۹۳۳	۱۵۶۶۴۷۲	۰/۲	۰/۱
۳۹۷۰۳۳۷	۱۰۹۲۲۰۰	۰/۰۵	۰/۰۷
۳۲۰۷۱۳۶	۸۵۴۵۴۱	۰/۰۲	۰/۰۳
۳۰۲۰۳۶۹	۷۹۶۲۶۸	۰/۰۱	۰/۰۲
۲۸۵۲۷۱۲	۷۴۴۳۳۹	۰/۰۰۵	۰/۰۱
۲۸۱۹۵۲۳	۷۳۴۰۵۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸
۲۷۶۸۶۸۷	۷۱۸۲۸۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵

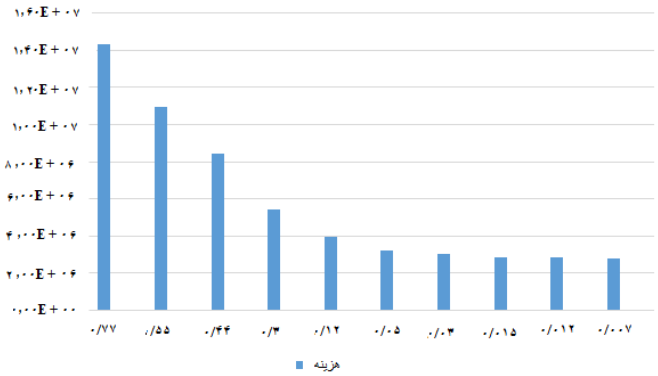
pdp^t_{pf} : این پارامتر درصد محصولات معیوب ایجاد شده در فرایند تولید یا به عبارت دیگر کیفیت فرایند تولید را نشان میدهد.

ppa^t_{msf} : این پارامتر درصد قطعات معیوب شناسایی شده در ارزیابی اولیه که توسط کارخانه‌ها در بدو ورود به انبارهایشان را

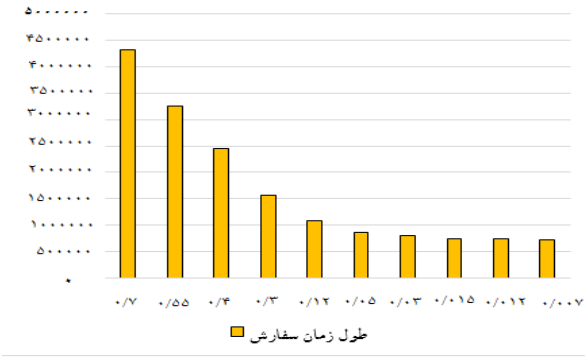
بیان می‌کند که نشان دهنده کیفیت قطعات بکار رفته در تولید محصولات می‌باشد.

TLT^{t}: نشان دهنده طول زمان سفارش می‌باشد.

Z: تابع هدف یا هزینه‌های کل زنجیره تأمین بررسی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۲): اثر افزایش کیفیت بر هزینه‌های کل



شکل شماره (۳): اثر افزایش کیفیت بر طول زمان سفارش

ب)پیاده سازی مدل پیشنهادی در شرکت کابل باختر

شرکت کابل باختر در سال ۱۳۶۲ در استان کرمانشاه با ظرفیت اسمی ۷۰۰۰ تن تولید انواع سیم و کابل (مسی و آلومینیومی) فشار ضعیف در زمینی به مساحت ۱۲ هکتار در کرمانشاه، کیلومتر ۵ جاده سنندج تأسیس و راه اندازی گردیده است. در سال ۱۳۷۰ موفق به اخذ استانداردهای ملی و بین‌المللی جهت تولید انواع سیم و کابل (افشان، مفتولی، سکتور، کنترل و ابزار دقیق، آرمور دار، قلع اندود، ضد آتش، کنستانتریک، لاستیکی، خودنگهدار و کابل تخت و...) گردیده است و هم اکنون با سابقه درخشان نزدیک به نیم قرن در زمینه تولید انواع سیم و کابل پروژه های نفت – گاز – پتروشیمی و توانیر مشغول به فعالیت می‌باشد. این شرکت علاوه بر تأمین سیم و کابل پروژه‌های ملی بخشی از تولیدات خود را نیز به کشورهای خارجی صادر می‌نماید. اخذ ۶ تأییدیه از وزارت نیرو – تأییدیه وزارت نفت – تأییدیه وزارت دفاع و همچنین داشتن آزمایشگاه همکار استاندارد از دیگر توانمندی‌های این کارخانه محسوب می‌گردد. مواد اولیه مورد نیاز این کارخانه که از تأمین کننده‌ها تهیه می‌شود شامل مفتول مسی، آلومینیومی و فولاد همچنین مواد گرانول برای روکش که شامل پی وی سی، پلی اتیلن، پلی اتیل مشبک یا کراسلینک شده می‌باشد. در این شرکت محصول MINK که از هادی‌های ACSR هوایی می‌باشد برای مطالعه انتخاب گردید.

ج) جمع آوری داده‌ها

ابتدا از قسمت‌های مختلف شرکت کابل باختر بازدید به عمل آمد و زنجیره تأمین آن مورد مطالعه قرار گرفت. پس از آن به منظور جمع آوری داده قسمت‌های مختلف شرکت به شرح زیر بازدید شد:

- قسمت خرید مواد اولیه

- قسمت انبار مواد اولیه
- قسمت خط تولید
- قسمت کنترل کیفیت
- قسمت انبار محصولات
- دپارتمان فروش
- کنترل و برنامه ریزی تولید

پس از بازدید از قسمت‌های مختلف فوق با مدیران و کارگران مصاحبه شد و اطلاعات لازم جمع آوری گردید و سپس این اطلاعات به وسیله قسمت برنامه ریزی صحت آن تایید گردید. در این تحقیق به بررسی کابل ACSR MINK که از هادی‌های هوایی می‌باشد پرداخته شد. در این کابل که مواد اولیه مورد نیاز از جنس آلومینیوم و فولاد می‌باشند یک رشته فولاد در مغزی سیم به عنوان نگهدارنده قرار گرفته و ۶ رشته مفتول آلومینیومی به دور آن تابیده می‌شود. هدف از رشته فولاد برای نگهداری از رشته‌های آلومینیوم هنگام آویزان شدن و عدم پاره شدن می‌باشد و آلومینیوم نیز وظیفه عبور جریان برق را بر عهده دارد. داده‌های جمع آوری شده مورد نیاز از شرکت کابل باختر به شرح زیر می‌باشد:

- تمام قیمت‌ها به صورت تومان است
- زمان بر حسب دقیقه است.

زنجیره تأمین مطالعه شده به صورت زیر است:

مفتول آلومینیوم مورد نیاز برای تولید کابل مورد نظر از شرکت‌های قم آلیاژ یا پویا باد نیرو غرب تأمین می‌شود و فولاد آن نیز از شرکت‌های صنایع مفتولی زنجان یا فولاد ملایر تأمین می‌شود. همچنین نمایندگی‌ها یکی در استان تهران و دیگری در استان اصفهان می‌باشد که مجموعاً در این دو شهر ۶ خرده فروش را شامل می‌شود. ابعاد مسئله به شرح زیر می‌باشد:

M=۲ دو نوع قطعه (آلومینیوم و فولاد)

S=۴(دو تأمین کننده برای آلومینیوم و دو تأمین کننده برای فولاد)

A=۲ دو تا نمایندگی یا توزیع کننده (یک نمایندگی در تهران و یک نمایندگی در اصفهان)

R=۶ شش تا خرده فروش (سه خرده فروش در تهران و سه خرده فروش در اصفهان)

F=۱ یک تولید کننده

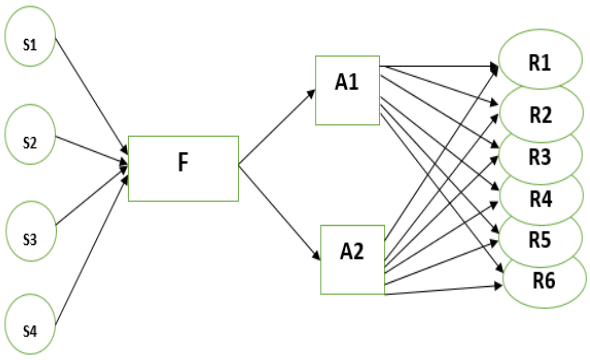
P=۱ یک نوع محول

T=۵ پنج دوره زمانی

د) زنجیره تأمین شرکت کابل باختر

زنجیره تأمین شرکت کابل باختر که در شکل ۲ نشان داده شده است، شامل چهار سطح می‌باشد که عبارتند از: تأمین کننده قطعات، تولید کننده محصولات، نمایندگی‌ها و خرده فروش‌ها. ابتدا قطعات از تأمین کننده‌ها خریداری شده و در انبار قطعات کارخانه نگهداری می‌شود و قبل از ورود به فرآیند تولید مورد بازرسی قرار می‌گیرند. قطعات معیوب به تأمین کننده‌ها برگشت داده می‌شوند و قطعات سالم وارد چرخه فرآیند تولید می‌شوند. در حین فرآیند تولید کنترل کیفیت آن‌ها انجام می‌شود. محصولات معیوب به انبار محصولات معیوب فرستاده می‌شوند تا بعد از اتمام فرآیند تولید محصولات، روی آن‌ها عمل دوباره کاری انجام گیرد. بعد از دوباره کاری، محصولاتی که نمی‌توانند کیفیت لازم را کسب کنند به عنوان محصولات قراضه از سیستم خارج می‌شوند، و محصولات تعمیر شده همراه با سایر محصولات سالم به نمایندگی‌ها فرستاده می‌شوند، و نهایتاً محصولات طبق سفارش خرده فروشان به آن‌ها فرستاده می‌شوند. هر نمایندگی شامل ۳ قسمت می‌باشد:

- انبار محصولات
- خدمات پس از فروش
- ارسال به خرده فروش‌ها



شکل شماره (۴): زنجیره تأمین شرکت کابل باختر

مدل پیشنهادی در شرکت کابل باختر برای پنج دوره تولید در سال ۱۳۹۷ بکار گرفته شد. داده‌های واقعی جمع آوری شده از شرکت در پارامترهای مدل جایگذاری شد و مقدار تابع هدف برابر۹+۳/۵۷۰۲۸۷= Z بدست آمد. این در حالی است که هزینه‌های حاصل از ۵ دوره تولید در شرکت مقدار ۳۸۲۶۶۷۴۰۰۰ بوده است. بنابراین درصد بهبود هزینه‌های شرکت با بکارگیری مدل پیشنهادی برابر: ۶.۷٪=۱۰۰*(۳۸۲۶۶۷۴۰۰۰ / ۳۵۷۰۲۸۷۰۰۰ – ۳۸۲۶۶۷۴۰۰۰) بدست آمد.

با توجه به اینکه در تحقیقات پیشین ارائه یک مدل ریاضی جامع برای زنجیره تأمین که مفاهیم کیفیت، طول زمان سفارش وگارانتی وجود نداشت این مدل می‌تواند یک مزیت رقابتی خوبی برای تولید کننده‌ها باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد هدف اصلی این تحقیق پیشنهاد یک مدل جامع ریاضی برای بهینه کردن هزینه‌های زنجیره تأمین با در نظر گرفتن کیفیت و طول زمان سفارش می‌باشد. مدل مذکور به وسیله نرم افزار بهینه ساز گمز حل گردید و برای اعتبار سنجی در شرکت کابل باختر پیاده سازی شد. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از شرکت کابل باختر با به کار گیری این مدل هزینه‌ها ۶.۷٪ کاهش پیدا کرد. همچنین نتایج زیر از حل مدل بدست آمدند:

- مقدار بهینه خرید مواد اولیه توسط تولید کنندگان از تأمین کنندگان
- مقدار بهینه محصولات ارسالی از هر تولید کننده به نمایندگی و همچنین از هر نمایندگی به خرده فروش
- مقدار بهینه تولید در هر دوره توسط هر تولید کننده با توجه به مقدار تقاضا
- بهینه کردن هزینه‌های نگهداری
- بهینه کردن هزینه‌های تولید
- با افزایش کیفیت هزینه‌های کل زنجیره تأمین و همچنین طول زمان سفارش کاهش یافت
- بهینه کردن هزینه‌های گارانتی.

با توجه به نیاز مبرم شرکت‌ها برای کاهش هزینه‌ها و تسخیر بازار از طریق رضایت مندی مشتریان تولیدکننده‌ها معمولاً به دنبال بهترین تکنیک‌ها در طراحی زنجیره تأمین شان می‌باشند بنابراین برای این کار موارد زیر برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین پیشنهاد می‌شود:

با توجه به اینکه تکنیک RFID می‌تواند تلفات زمانی را کاهش دهد در تحقیقات آتی می‌توان برای کاهش هزینه‌ها از این تکنیک استفاده کرد. در تحقیقات آتی می‌توان از تکنیک‌های مدهای حمل و نقل مختلف استفاده کرد. در این تحقیق تقاضا به صورت قطعی در نظر گرفته شده است اما در تحقیقات آتی می‌توان تقاضا را به صورت غیر قطعی در نظر گرفت.

٤-منابع

1. Ahmadi, K., R. (2008). *A total quality model for the supply chain of the automotive industry. (Case study: Iran Khodro Company)*. [Doctoral dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran].

2. Akkerman, R., Farahani, P., & Grunow, M. (2010). Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. *OR spectrum*, *32*, 863-904.
3. Bandyopadhyay, J. K., & Sprague, D. A. (2003). Total quality management in an automotive supply chain in the United States. *International Journal of Management*, *20*(1), 17.
4. Doosti A., & Moghaddam S. R., (2022) Presenting a Multi-Objective Mathematical Model of Multi-Product and MultiStage Fuzzy Production Planning For Several Periods in Gamz Software. *Journal of Strategic Management in Industrial System*, *17*(59), 99-112.
5. Ghasimi, A., S., Ramli, R., & Saibani, N., (2013) A genetic algorithm for optimizing defective goods supply chain,costs using JIT logistics and each-cycle lengths. *Journal of Applied Mathematical Modelling*, *38* (2014), 1534–1547.
6. Gunasekaran, A., & McGaughey, R. E. (2003). TQM is suppy chain management. *The TQM magazine*, *15*(6), 361-363.
7. Hasni, A., A. (2010). *Designing a stable reverse/forward supply chain for perishable goods*. [Master Thesis in Industrial Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran].
8. Bajani, S. E., Saberi, S., & Toyasaki, F. (2022). Reverse Supply Chain Network with Return Products Quality Consideration. *IFAC-PapersOnLine*, *55*(10), 2926-2931.
9. Jaafarnejad, A. (2012). *Modern production and operations management*, 2nd ed, Faculty of Management, University of Tehran.
10. Juran, J. M., Godfrey, A. B., Hoogstoel, R. E., & Schilling, E. G. (1999). Juran's quality handbook 5th ed.
11. Karthick, B., & Uthayakumar, R. (2022). Impact of carbon emission reduction on supply chain model with manufacturing decisions and dynamic lead time under uncertain demand. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *4*, 100037.
12. Kazemi, M., M., & Taki, P., (2016). Simulation of transportation cost for supply chain network design by considering the demand related to price and quality. *Journal of quality engineering and management*, *6*(1), 57-65.
13. Li, S., Rao, S. S., Ragu-Nathan, T. S., & Ragu-Nathan, B. (2005). Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. *Journal of operations management*, *23*(6), 618-641.
14. Nazemi, E., Usefinejad, M., & Ghafari, M., (2017). solving a three-level supply chain model with the aim of increasing quality and reducing possible delivery time. *Journal of engineering management and soft computing*, *3*(1), 31-63.
15. Robinson, C. J., & Malhotra, M. K. (2005). Defining the concept of supply chain quality management and its relevance to academic and industrial practice. *International journal of production economics*, *96*(3), 315-337.
16. Tabrizi, S., Ahmadi, A., & Karimi, A. (2012). *Modeling the supply chain of warm-water farmed fish in Iran with an integrated logistics approach*. The 9th International Industrial Engineering Conference, Tehran, Iran Industrial Engineering Association, Khwaja Nasiruddin Toosi University of Technology.
17. Vanichchinchai, A., & Igel, B. (2009). Total quality management and supply chain management: similarities and differences. *The TQM Journal*, *21*(3), 249-260.
18. Dai, Y., Zhou, S. X., & Xu, Y. (2012). Competitive and collaborative quality and warranty management in supply chains. *Production and Operations management*, *21*(1), 129-144.
19. Chien, Y. H. (2019). Optimal periodic replacement policy for a GPP repairable product under the free-repair warranty. *Quality Technology & Quantitative Management*, *16*(3), 347-354.

20. Wu, X., Nie, L., Xu, M., & Yan, F. (2018). A perishable food supply chain problem considering demand uncertainty and time deadline constraints: Modeling and application to a high-speed railway catering service. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *111*, 186-209.

Optimization of Supply Chain Costs Considering Quality and Order Duration

Salahuddin Ghasimi (Corresponding Author)
Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
Email: salah340340@yahoo.com
Puria Fakhri
M.S in Industrial Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
Jahedeh Tekiyekhah
Assistant Professor, Academic Center for Education, Culture, and Research (ACECR)

Abstract
In today's era, due to the competitive of the market, the concern of producers is to capture more of the market share, for this, customer satisfaction is a priority. By examining previous studies, quality, cost, and delivery time factors play an important role in customer satisfaction. Therefore, in order to achieve this goal, it can be very useful to provide a mathematical model to optimize the costs of the supply chain, taking into account the quality and time of the order. In this research, a comprehensive mathematical model has been presented, which includes costs related to the supply chain network, including: production costs, transportation, warranty, rework of defective products, storage of raw materials and products, scrap, as well as costs caused by the increase It minimizes the order time and quality costs. Games optimizer software was used to solve the proposed model. The results showed that with the increase in quality, the total costs and also the length of the order decreased. Also, for the purpose of validation, the proposed model was implemented in Bakhtar Cable Company for ACSR MINK product in 5 periods. The results obtained from the implementation of this model in the mentioned company showed that by using this model, the company's costs were reduced by 6.7%.

Keywords: Supply chain, Mathematical modeling, Order duration, Warranty, Quality.