پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۵، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۹، صص ۲۰-۳۸
نوع مقاله: پژوهشی

برنامه‌ریزی ظرفیت برای تولید و بازتولید در یک زنجیره تأمین حلقه بسته با توجه به رفتار مشتری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم

مجتبی صالحی[۱*]، شبنم احمدیان[۲]، فرشته عاطفی[۳]

۱. استادیارگروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور
۲ .دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی سجاد
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی سجاد

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰٦/۰٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده و پیاده‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته ازآن‌جهت مورد اهمیت قرار گرفته است که مسبب بهبود در سودآوری شرکت‌ها، مسائل زیست‌محیطی و توسعه پایدار و.. می‌شود. همین امر موجب گستردگی تحقیقات و افزایش مقالات در این زمینه گشته است. لذا بررسی عوامل تأثیرگذار و میزان تأثیرگذاری آن‌ها شناخت بهتری برای طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته می‌شود. توجه عمده در این مقاله بر روی برنامه‌ریزی ظرفیت تولید با در نظر گرفتن رفتار مشتری و خدمات بر روی میزان بازگشتی‌ها در زنجیره تأمین است. هدف این مقاله روشن نمودن متغیرهای مؤثر و چگونگی رویکرد آن‌ها نسبت به یکدیگر در جهت تحقق اهداف زنجیره می‌باشد. ازاین‌رو ابتدا مروری بر روی ادبیات موضوع داشته و متغیرهای کلیدی برخی از مقالات مشخص شده است. در قدم بعدی با رسم نمودارهای علی و معلولی ارتباطات متغیرها با یکدیگر بررسی و سپس توسط نمودار جریان، متغیرهای حالت و محل‌های انباشت در زنجیره مشخص گردید. درنهایت با استفاده از آزمون‌های مدل‌سازی پویا مانند تحلیل حساسیت، آزمون شرایط حدی و ...، مدل راستی آزمایی و اعتبارسنجی شده است.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین حلقه بسته، نمودار علی، نمودار جریان، تحلیل حساسیت

---

* نویسندهٔ مسؤول مقاله E-mail: m_salehi61@yahoo.com

۱- مقدمه

بر اساس عوامل زیست‌محیطی، حقوقی، اجتماعی و اقتصادی، تدارکات لجستیک و مسائل مربوط به زنجیره تأمین حلقه بسته، توجه زیادی را در بین متخصصان جلب کرده است. مفهوم زنجیره تأمین حلقه بسته در چارچوب‌های لجستیک معکوس[۱]، نتیجه یکپارچه‌سازی، توسعه و تکمیل تئوری‌های ۳۰ سال گذشته می‌باشد.

زنجیره تأمین مستقیم، ترکیبی از فرآیندهای درخواست‌های مشتریان است و شامل همه نهادها مانند: تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و مشتریان می‌باشند که جریان از تأمین‌کنندگان شروع شده و محصول نهایی به مشتریان می‌رسد، اما زنجیره تأمین حلقه بسته به صورت کلی از مشتریان شروع می‌شود و محصولات بازگشتی جمع‌آوری می‌شوند و سپس کالاها بازیافت شده و برای فروش مجدد وارد بازارهای ثانویه می‌شوند.

مدیریت لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته یکی از جنبه‌های مهم و حیاتی هر کسب‌وکار بوده و پشتیبانی از هر نوع محصولی است. در عصر کنونی که چرخه عمر محصولات هر روز کوتاه‌تر می‌شود، قوانین دولتی جدید و قوانین سبز که به بازگرداندن و از رده خارج کردن مواد زائد مربوط است، نیز مدیران سطوح بالا امور لجستیک و فرآیندهای زنجیره تأمین را وارد می‌سازد تا توجه بیشتری به فرآیند مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته داشته باشند.

۲- مرور ادبیات

یکی از مسائل مهم در قرون فعلی محیط‌گرایی است. در واقع با افزایش آگاهی نسبت به حفاظت محیط‌زیست و گرم شدن زمین در جهان، روند سبز برای حمایت از منابع زمین و محیط‌زیست، از مباحث بسیار مهم دهه اخیر به شمار می‌آید. زنجیره تأمین نیز به عنوان ستون فقرات فعالیت هر سازمان از این امر مستثنا نیست. در ادامه به مقالات متعددی که در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین با محوریت مسائل محیط‌زیستی به چاپ رسیده‌اند، اشاره خواهیم کرد.

تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین معکوس به سه بخش تقسیم‌بندی می‌شود[۱]: تصمیمات

استراتژیک شامل پیش‌بینی بازگشتی‌ها، منبع‌یابی و برون‌سپاری، مکان‌یابی تسهیلات و تعیین ظرفیت آن‌ها؛ تصمیمات تاکتیکی شامل پیش‌بینی بازگشتی‌ها، منبع‌یابی و برون‌سپاری، برنامه‌ریزی و کنترل تولید، قیمت‌گذاری، مدیریت موجودی، مسیریابی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل؛ تصمیمات عملیاتی: شامل قیمت‌گذاری، مدیریت موجودی، مسیریابی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و زمان‌بندی و کنترل تولید. در یک تقسیم‌بندی دیگر تحقیقات صورت گرفته در این حوزه شامل پیش‌زمان‌های تولید و بازتولید [۲-٤]، بهینه‌سازی سطوح موجودی و مقدار سفارش اقتصادی [٥-٨]، مقایسه بین استراتژی‌های فشار و کشش [۹-۱۰] و برنامه‌ریزی ظرفیت [۱۱-۱٦] در بسیاری از این تحقیقات از رویکرد پویایی سیستم استفاده شده است [۱۷-۲۰].

ولاچوس[۲] و همکاران [۱٥] یک مدل سیستم دینامیکی برای برنامه‌ریزی ظرفیت دینامیکی بازتولید در زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه کردند. برنامه‌ریزی ظرفیت یک موضوع استراتژیک برای سوددهی زنجیره تأمین معکوس به دلیل جریان بالای متغیرهای بازگشتی است. در این مقاله، توسعه سیاست‌های برنامه‌ریزی ظرفیت مؤثر برای عملیات بازتولید در زنجیره تأمین معکوس انجام شده است. رفتار سیستم‌های مشابه تحت این مطالعه از طریق شبیه‌سازی مدل بر اساس قوانین روش‌های سیستم دینامیکی تحلیل شده است. مدل شبیه‌سازی شده یک ابزار تجربی که برای ارزیابی سیاست‌های برنامه‌ریزی ظرفیت بلندمدت متناوب با استفاده از سود کل زنجیره تأمین به عنوان معیار اندازه‌گیری کارآمدی سیاست ارائه شده است.

پولز [۳] [۲۱] با رویکرد سیستم داینامیک، یک مدل سیستم کنترل موجودی برای روند بازسازی در زمینه زنجیره تأمین حلقه بسته که روند بازگشت با استفاده از عوامل متعددی که تحت تأثیر روابط درون فرآیند است، مدل‌سازی کرد. عوامل زمان اقامت محصول نزد مشتری، قرارداد خدمات با مشتری و رفتار مشتری در بازگشت محصولات در نظر گرفته شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که کاهش زمان اقامت و افزایش سطح شرایط خدمات با مشتریان که به‌نوبه خود باعث افزایش رفتار مشتری در بازگشت محصول استفاده شده می‌شود، می‌تواند به بهره‌وری در مدیریت موجودی برای شرکت‌های درگیر در فرآیند تولید منجر شود. فرآیند تولید با استفاده از بعضی عوامل کلیدی مدل شده است مانند: (۱) یکپارچه‌سازی ظرفیت تولید/بازسازی، (۲) فاصله زمانی سفارش تا دریافت کالا، (۳) سفارش عقب‌افتاده و (٤) پوشش

موجودی، چندین سیاستی که رفتار دینامیکی سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

پولز[۲۲] فعالیت بازتولید، زنجیره تأمین معکوس محصولات اصلاح‌شده را به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از زنجیره تأمین سنتی روبه‌جلو در نظر می‌گیرد. در پایان عمر مفید محصولات، یک فرایند تأمین معکوس فعال می‌شود که در آن مواد و محصولات نامطلوب از کاربران نهایی به منظور بهبود و ترمیم پس گرفته می‌شود. بنابراین، برنامه‌ریزی برای زنجیره تأمین سنتی کالاها باید محصولات بازیافت را در نظر گرفت. دو فرایند اصلی کنترل موجودی و برنامه‌ریزی تولید است.

رضی و شابندرزاده[۲۳] زنجیره تأمین حلقه بسته را به عنوان یک راه‌حل برای توسعه پایدار از یک سو و افزایش سودآوری شرکت‌ها از سوی دیگر پیاده‌سازی کردند. آن‌ها تعاریف دقیق و تفاوت‌های اساسی مدل عمومی لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته را بیان کردند و همچنین دلایل عمده بستن زنجیره بیان شد و انواع طبقه‌بندی آن ارائه کرد.

قاسمی و همکاران [۲٤] ضمن بررسی ارکان و نهادهای مختلف یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته به پیکره‌بندی آن و بهینه‌سازی جریان مواد نیز پرداخته‌اند. در این مقاله تلاش شده است که با تأمین قطعات مناسب به‌گونه‌ای که پایداری و دوام بیشتری را در محصولات تولیدی داشته باشند، به کاهش هزینه‌ها و حفظ محیط‌زیست کمک شوند. از یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه استفاده گردید.

ابراهیم نژاد و روشنی[۲۵] با در نظر گرفتن تقاضا و بازگشت فازی، زنجیره تأمین حلقه بسته را موردمطالعه قرار دادند که در آن محصولات دارای ساختار چندسطحی (مونتاژ) می‌باشند. به منظور حل مسئله موردنظر، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی جهت تعیین میزان تولید محصولات در سطوح پایانی و میانی و همچنین تعیین مقدار قطعات خریداری‌شده و بازسازی‌شده در مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده جهت پوشش تقاضا ارائه شده است. تابع هدف مدل شامل حداقل کردن هزینه‌های ناشی از تولید و بازسازی می‌باشد.

۳- تئوری پویایی سیستم

منشأ مفهوم سیستم دینامیکی (dynamical system) به مکانیک نیوتنی برمی‌گردد. روش‌های سیستمی از الگوهای مبتنی بر تفکر سیستمی استفاده می‌کنند. دینامیک سیستم‌ها به رفتار

سیستم‌ها در طول زمان توجه می‌کند. تفاوت تفکر سیستمی و دینامیک سیستم‌ها همچنان که از پیشوند دینامیک پیداست، توجه ویژه دینامیک سیستم به زمان است. صفت پویا و اصطلاحاتی مانند پوینده بودن به تغییر در طول زمان اشاره دارد. به همین علت هرگاه می‌گویند سیستم دینامیکی را بررسی کنید، منظور این است که باید رفتار و ویژگی‌های آن در طول زمان بررسی شده و تغییرات آن‌ها، زیر نظر گرفته شود.

این روش در سال ۱۹۵۰ در آمریکا و توسط فارستر ایجاد شد. در آن زمان او از این روش در کارهای مهندسی برق خود MIT دانشگاه استفاده می‌کرد. این روش با در نظر گرفتن روابط بین اجزای سیستم رفتار سیستم را پیش‌بینی می‌کند. این الگوها روشی برای فهمیدن و درک رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان هستند. چیزی که روش پویایی سیستم را از روش‌های دیگر متمایز می‌سازد، استفاده از حلقه‌های بازخورد و متغیرهای جریان و حالت است که در شناخت رفتار سیستم کمک می‌کنند. اساس این روش این است که شناختن ساختار سیستم -روابط غیرخطی، تأخیرات و بازخوردها- در مشخص کردن رفتار سیستم به اندازه شناختن تک‌تک اجزا اهمیت دارد. همچنین این روش ادعا می‌کند که خواصی در کل سیستم وجود دارد که آن‌ها را نمی‌توان در تک‌تک عناصر یافت. در برخی حالات رفتار کل سیستم نمی‌تواند به‌وسیله رفتار اجزای آن شرح داده شود. این روش نتیجه یک نوع نگرش سیستمی پویا است که برای توسعه محدوده‌های مدل‌های ذهنی و توسعه ابزاری برای فهمیدن اینکه چگونه ساختار یک سیستم پیچیده رفتار آن را ایجاد می‌کند، استفاده می‌شود.

۱-۳- شرح مدل

در سیستم موردبررسی، تولید محصولات جدید، جمع‌آوری و بازرسی محصولات استفاده شده، تولید مجدد و دفع محصولات استفاده شده نامناسب برای فرآیند تولید مجدد در نظر گرفته شده است. برای تسهیل کردن فرآیند مدل‌سازی ظرفیت جمع‌آوری و فعالیت‌های بازرسی نامتناهی در نظر گرفته شده است. در فرآیند مدل‌سازی با استفاده از مفهوم "میزان استفاده از ظرفیت تولید/ تولید مجدد" هنگام شروع فرآیند از تمام ظرفیت سیستم برای تولید/تولید مجدد استفاده نخواهد شد تا مدل بیشتر با دنیای واقع سازگار باشد. چون هیچ‌گاه کارخانه‌ای با شروع کار از تمام ظرفیت نمی‌تواند استفاده کند و هنگام کاهش آن نیز نمی‌تواند یک‌دفعه تمام

ظرفیت را به صفر برساند؛ به‌خصوص اگر نیروی انسانی مهم‌ترین عامل تولید در کارخانه باشد، نمی‌توان به‌طور لحظه‌ای تعداد زیادی نیرو استخدام و یا اخراج کرد. رفتار مشتری با افزایش کیفیت خدمات شرکت بهبود می‌یابد و از این طریق نرخ کالای برگشتی به سمت برگشتی‌ها افزایش می‌یابد. رفتار مشتری که تابعی از خدمات پس از فروش شرکت می‌باشد، توسط تابع جستجو در سیستم مدل شده است.

۲-۳- متغیرهای کلیدی

برگشتی‌های انباشته‌شده[٤]: محصولات برگشتی که از مشتری گرفته شده، جمع‌آوری و انباشته می‌شوند. بعداً با بازرسی به دو گروه برگشتی‌های پذیرفته‌شده و رد شده (دورریختنی) تقسیم می‌شوند.

برگشتی‌های پذیرفته‌شده[٥]: برگشتی‌های پذیرفته‌شده به مراکز کنترل، تمیزکاری و مرتب‌سازی فرستاده می‌شوند. بعد از کنترل، تمیزکاری و مرتب‌سازی به کارخانه‌ها فرستاده می‌شوند و پس از ترکیب با مواد دیگر به محصولات جدید تبدیل می‌شوند و به چرخه توزیع باز می‌گردند. (برگشتی‌های رد شده یا دورریختنی: برگشتی‌های رد شده، دفع می‌شوند).

موجودی قابل بازیابی[٦]: گروهی از برگشتی‌های انباشته‌شده که بعد از بازرسی برای تولید مجدد پذیرفته می‌شوند. این موارد به عنوان موجودی قابل بازیابی ذخیره می‌گردد.

موجودی قابل‌ارائه[٧]: محصولات دوباره تولیدشده از طریق فعالیت بازتولید و یا محصولات جدید از طریق فعالیت تولید به عنوان موجودی قابل‌ارائه ذخیره می‌شوند، بعد از سفارش برای تغذیه فروش استفاده می‌شوند.

تولید مجدد[٨]: فعالیت تولید مجدد یا بازتولید محصول از موجودی قابل بازیابی را شامل می‌شود.

تولید[٩]: فعالیت تولید تنها زمانی استفاده می‌شود که بازتولید قادر به برآورده کردن مقدار محصول مورد نیاز برای فروش نباشند.

بقیه متغیرهای بکار رفته در مدل به همراه نوع و واحد آن‌ها در جدول ۲ مشخص شده است.

جدول ۱. متغیرهای به‌کاررفته در مدل

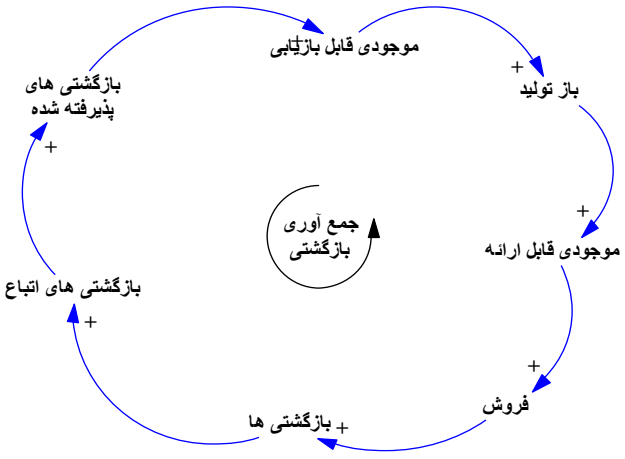
شماره	نام متغیر	نام لاتین	نوع متغیر	واحد
۱	موجودی قابل‌ارائه	Serviceable inventory	حالت	کالا
۲	بازتولید	Remanufacturing	نرخ	کالا/زمان
۳	فروش	Sales	نرخ	کالا/زمان
٤	زمان تحویل	Delivery time	کمکی	زمان
٥	موجودی قابل‌ارائه مطلوب	Desired serviceable inventory	کمکی	کالا
٦	فاصله موجودی قابل‌ارائه با مطلوب	Gap serviceable inventory	کمکی	کالا
۷	زمان لازم برای تطبیق با موجودی مطلوب	TASI	کمکی	زمان
۸	پوشش موجودی	Inventory coverage	کمکی	کالا
۹	موجودی قابل بازیابی	Recoverable inventory	حالت	کالا
۱۰	بیشترین سطح موجودی قابل بازیابی	Upper recoverable inventory	کمکی	کالا
۱۱	اختلاف موجودی قابل بازیابی با بیشترین سطح	Gap current recoverable	کمکی	کالا
۱۲	تقاضا	Demand	کمکی	کالا
۱۳	سفارشات انباشته‌شده	Accumulated orders	حالت	کالا
۱٤	سفارشات	Orders	نرخ	کالا/زمان
۱٥	سفارشات تکمیل‌شده	Fulfilled orders	نرخ	کالا/زمان
۱٦	بازگشتی انباشته‌شده	Collected returns	حالت	کالا
۱۷	بازگشتی	Returns	نرخ	کالا/زمان
۱۸	بازگشتی رد شده	Failed returns	نرخ	کالا/زمان
۱۹	بازگشتی پذیرفته‌شده	Accepted returns	نرخ	کالا/زمان
۲۰	میانگین بازگشتی پذیرفته‌شده	Expected Accepted returns	کمکی	کالا
۲۱	مدت زمان بازرسی	Inspection time	کمکی	زمان
۲۲	درصد دفع	Disposal percentage	کمکی	-
۲۳	ظرفیت کل تولید و بازتولید	Total remanufacturing & production capacity	کمکی	کالا

شماره	نام متغیر	نام لاتین	نوع متغیر	واحد
٢٤	استفاده از ظرفیت تولید	CUP	کمکی	-
٢٥	استفاده از ظرفیت بازتولید	CUR	کمکی	-
٢٦	زمان سفارش تا تحویل تولید	Production lead time	کمکی	زمان
٢٧	زمان سفارش تا تحویل بازتولید	Remanufacturing lead time	کمکی	زمان
٢٨	شاخص بازگشت	Return index	کمکی	-
٢٩	خدمات پس از فروش	Service	کمکی	-
٣٠	رفتار مشتری	Behavior customer	کمکی	-

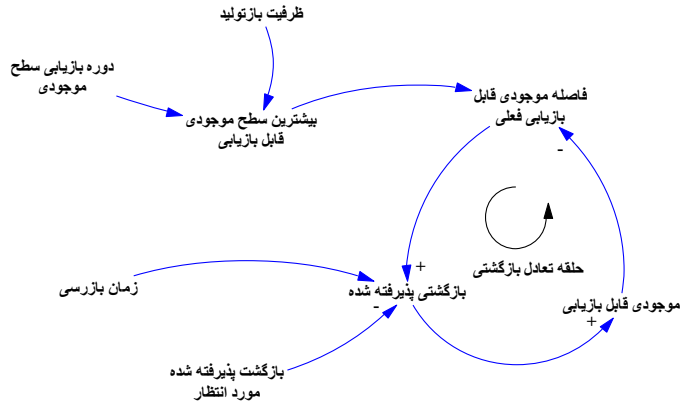
۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- نمودارهای علی و نمودار انباشت-جریان

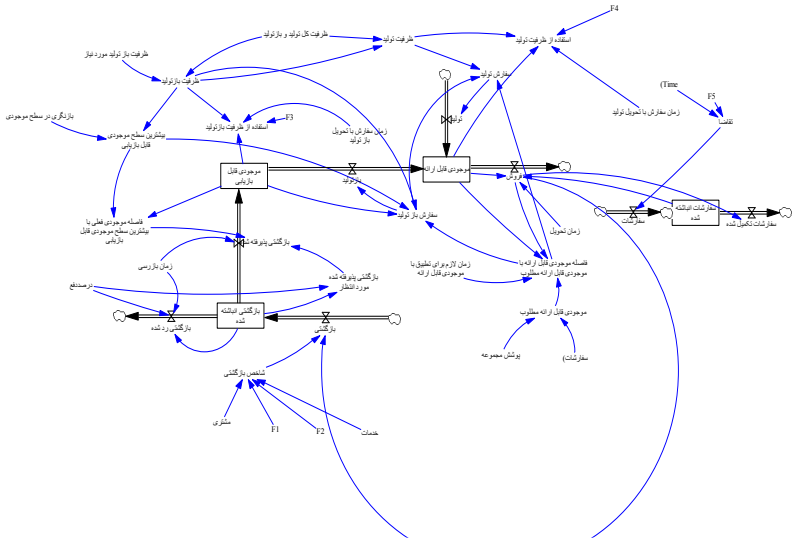
فرضیه دینامیکی ۱: با افزایش فروش مقدار برگشتی افزایش می‌یابد و با افزایش مقدار برگشتی مقدار موجودی قابل بازیابی و بنابراین مقدار موجودی قابل‌ارائه افزایش می‌یابد. این حلقه تقویت‌کننده موجودی قابل بازیابی است.



شکل ۱. فرضیه دینامیکی یک



شکل ۲. فرضیه دینامیکی دو

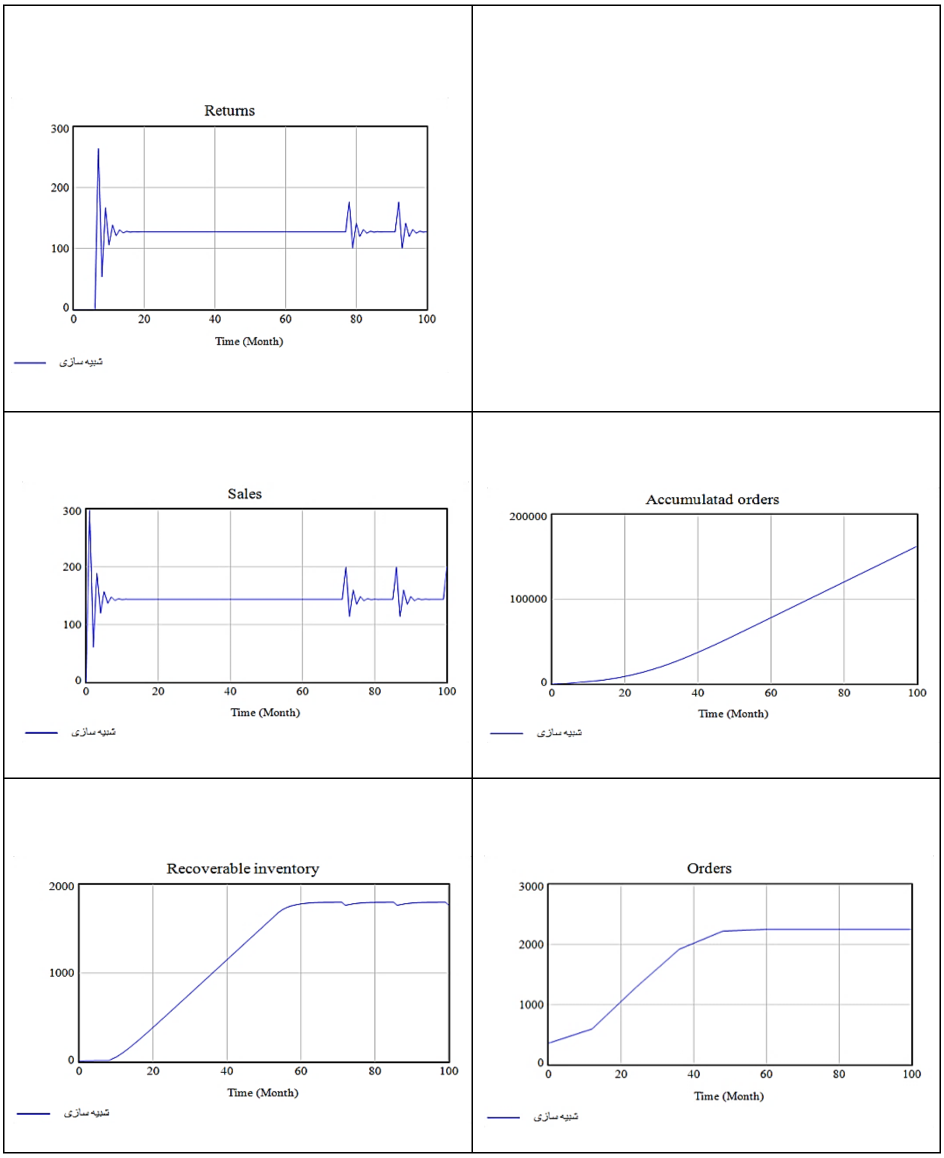


شکل شماره ۲: نمودار انباشت

فرضیه دینامیکی ۲: با افزایش فاصله موجودی قابل بازیابی فعلی با بیشترین سطح موجودی قابل بازیابی، مقدار برگشتی‌های پذیرفته‌شده افزایش و لذا موجودی قابل بازیابی افزایش و در نهایت فاصله موردنظر کاهش می‌یابد که منجر به کاهش موجودی قابل بازیابی می‌شود. این حلقه اصلاح‌کننده موجودی قابل بازیابی است.

جدول شماره ۲: فرمول‌ها

$\mathrm{CR(t)}=\int_{t_0}^{t}\big(r(t)-Qa(t)-Qf(t)\big)dt+CR(t_0)$	$Qa(t)=\frac{MIN(Eq(t).Gr(t))}{IT}$
$Eq(t)=\mathrm{CR(t)}^{*}(1-PD)$	$Gr(t)=Ur(t)-RI(t)$
$Ur(t)=\mathrm{rc(t)}^{*}RSL$	$\mathrm{rc(t)}=\mathrm{RE\ C}a^{*}TC$
$pc(t)=TC-rc(t)$	$Ro(t)=IF\ THEN\ ELSE\ (ABS\big(Ur(t)-RI(t)\big)\leq 1:AND:$
$Po(t)=IF\ THEN\ ELSE\big(Gs(t)>Ro(t).Min\big(pc(t).Gs(t)-Ro(t)\big).0\big)$	$R(T)=Ro(t)$
$\mathrm{P(t)=Po(t)}$	$\mathrm{Gs(t)}=\frac{Ds(t)-SI(t))}{TASI}$
$\mathrm{Ds(t)=o(t)\times IC}$	$\mathrm{O(t)\ =\ D(t)}$
$S(t)=\frac{MIN(AO(t).SI(t))}{DT}$	$Fo(t)=s(t)$
$r(t)=DELAY\ FIXED(0.7\times S(t).6.0)$	$Qf(t)=\frac{CR(t)\times PD}{IT}$



شکل ۳: نتایج شبیه‌سازی برای شش متغیر کلیدی

۲-۴- شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل

مدل‌ها بازنمودهای ساده از جهان واقعی می‌باشند. اگر مدل بتواند تمام ابعاد مؤثر در جهان واقعی را به‌طور جامع در بر بگیرد و تشریح کند، مدل کاملاً درست خواهد بود که این غیرممکن است. درعین‌حال سودمندی مدل باید با اعتبارسنجی آن مشخص شود. آزمون‌های اعتبارسنجی باید قبل از هر تجزیه‌وتحلیل مدل شبیه‌سازی شده، انجام شود. آزمون‌های اعتبارسنجی به ما این اجازه را خواهند داد که نسبت به مدل خود مطمئن شویم.

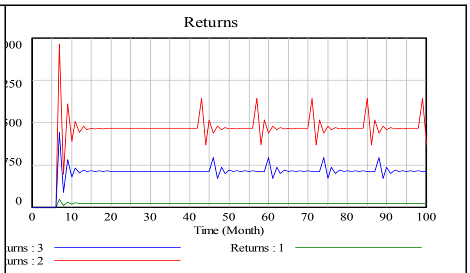
در شکل ۳ شش نمودار برای شش متغیر کلیدی رسم شده است. در ادامه به تحلیل حساسیت و آزمون‌های شرایط حدی و چک ابعادی خواهیم پرداخت.

۳-۴- آزمون تحلیل حساسیت

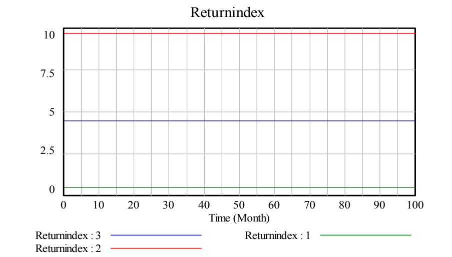
با استفاده از نمودارهای vensim آزمون تحلیل حساسیت را برای بازگشتی‌ها، فاصله موجودی قابل‌ارائه با موجودی مطلوب، استفاده از ظرفیت تولید برای را فروش انجام می‌دهیم که نتایج زیر حاصل گردیده است.

الف) نمودارهای شکل شماره ٤ تغییرات بازگشتی در اثر تغییر رفتار مشتری را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که با تغییر رفتار مشتری در سه سطح شاهد تغییر در شاخص بازگشتی و در نتیجه آن میزان بازگشتی هستیم.

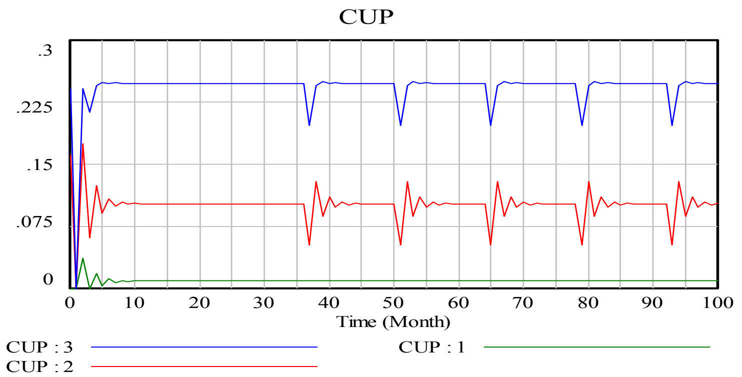
این تغییر طبق رابطه موجود در تابع fl که در نمودار جریان موجود است طراحی شده است. در حالت ۳ افزایشی با شیب معمولی، در حالت ۱ بدون شیب، در نهایت در حالت ۲ با شیب خیلی زیاد رفتار مشتری تغییر کرده است. مطابق نتیجه اشکال با بهبود رفتار مشتری میزان بازگشتی افزایش می‌یابد.



شکل ۴: الف) میزان بازگشتی



شکل ۴: ب) شاخص بازگشت



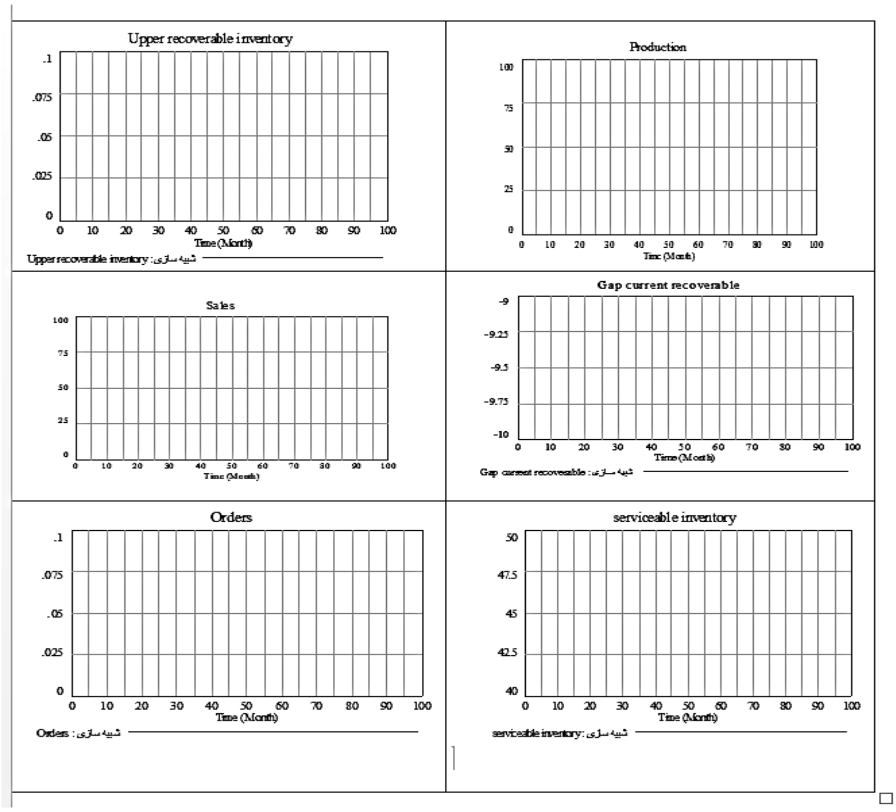
شکل ۴: ج) میزان استفاده از ظرفیت تولید بر اساس سه حالت زمان سفارش

ب) در نمودارهای ج شکل ٤ تحلیل حساسیت استفاده از ظرفیت بازتولید مطابق با سه سطح زمان سفارش تا تولید آزمون انجام شده است. برای متغیر استفاده از ظرفیت تولید، با کاهش زمان سفارش تا تولید، میزان استفاده از ظرفیت تولید افزایش یافته است.

۴-۴- آزمون چک ابعادی

جدول شماره ۳: آزمون چک ابعادی

ردیف	نام متغیر	فرمول	واحد	
۱	سفارشات	سفارش = تقاضا	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان
۲	سفارشات تکمیل‌شده	سفارشات تکمیل‌شده = فروش	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان
۳	بازگشتی‌ها	بازگشتی‌ها * فروش	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان
٤	بازتولید	RO	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان
۵	بازگشتی‌های رد شده	(بازگشتی‌های انباشته‌شده* درصد دفع) / مدت زمان بازرسی	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان
٦	تولید	Po	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان
۷	بازگشتی‌های پذیرفته‌شده	Min(EQ, اختلاف موجودی قابل بازیابی با بیشترین /(مدت زمان بازرسی	راست	چپ
			کالا / زمان	کالا / زمان



شکل ۵: انواع آزمون شرایط حدی

۵-۴- آزمون شرایط حدی

با استفاده از نرم‌افزار vensim آزمون شرایط حدی را بررسی کرده و خروجی آن به صورت زیر می‌باشد.

قاعده ۱: با صفر شدن ظرفیت کل تولید و بازتولید موجودی قابل بازیابی، تولید، فروش و تمام متغیرهای درون‌زا صفر می‌شوند.

قاعده ۲: با صفر شدن تقاضا میزان فروش و سفارش صفر می‌شود.

قاعده ۳: با صفر شدن درصد دفع میزان بازگشتی صفر می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله مدلی برای برنامه‌ریزی ظرفیت هم‌زمان برای واحد تولید و واحد بازتولید ارائه می‌دهد. با در نظر گرفتن مفهوم استفاده از ظرفیت برای تولید و بازتولید سعی شده است که حداقل یکی از دو فرآیند تولید و بازتولید فعال باشند. اگر از این مفهوم استفاده نمی‌شد امکان اینکه هیچ‌کدام از فعالیت‌ها فعال نباشند و اینکه شرکت‌ها فعالیت تولید و بازتولیدشان را در طی یک دوره مرتباً فعال و غیرفعال کنند، وجود داشت که با واقعیت تطابق کمتری داشت و مفهوم استفاده از ظرفیت این مشکلات را رفع کرد. همچنین خروجی‌های نرم‌افزار vensim را به صورت نمودار نشان دادیم و در نهایت به بررسی آزمون‌هایی همچون آزمون تحلیل حساسیت، آزمون شرایط حدی و آزمون چک ابعادی پرداختیم و نتایج آن را بررسی نمودیم. برای تحقیقات آتی می‌توان از محصولات دارای چرخه بازگشت مانند قطعات کامپیوتری و باتری خودرو و غیره استفاده کرد و میزان بهره‌وری اقتصادی فرایند تولید و بازتولید را به توجه به رفتار مشتری مدل کرد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Revers logestics
2. Vlachos
3. Poles
4. Collected Returns
5. accepted returns
6. Recoverable Inventory
7. Serviceable Inventory
8. remanufacturing
9. production

۷- منابع

[1] Razmi, Jafar and Pishvaei, Mirsaman, Quantitative Methods for Reverse Logistics Management, First Edition, Tehran, Institute of Martial Studies and Research, Jafar and Pishvaei, Mirsaman, Quantitative Methods for Reverse Logistics Management, First Edition, Tehran, Institute of Business Studies and Research, 1389.

[2] Inderfurth, K., van der Laan, E., 2001. Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing. International Journal of Production Economics 71 (1-3), 381.

[3] Kiesmuller, G.P., Minner, S., 2003. Simple expression for finding recovery system inventory control parameter values. Journal of the Operational Research Society 54 (1), 83–88.

[4] Kiesmuller, G.P., van der Laan, E.A., 2001. An inventory model with dependent product demands and returns. International Journal of Production Economics 72 (1), 73.

[5] Koh, S.-G., Hwang, H., Sohn, K.-I., Ko, C.-S., 2002. An optimal ordering and recovery policy for reusable items. Computers and Industrial Engineering 43 (1–2), 59.

[6] Belhajali I. and Hachicha, W. 2013. System dynamics simulation to determine safety stock for a single-stage inventory system," in *Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2013 International Conference on*, pp. 488-493.

[7] Ahmadi Azar, Dori, Alam Tabriz, & Kasaei. Modeling and problem solving of stable closed loop supply chain network design for petrochemical products under uncertainty conditions. Journal of Modern researches in Decision Making, 4 (4), 1-30.

[8] Taghavi Fard, Seyed Mohammad Taghi, Dehghani, & Aghaei. (2015). Development of a Model for Determining the Optimal Order Quantity by Selecting the Appropriate Supplier and Solving Using the NSGA-II Genetic Algorithm Method, Case Study: Bushehr Cotton Pearl Company. Management Research in Iran, 19 (2), 65-89.

[9] Chen, W., J. Li, and X. Jin, 2016. The replenishment policy of agri-products with stochastic demand in integrated agricultural supply chains," Expert Systems with Applications, vol. 48, pp. 55-66.

[10] Van der Laan, E.A., Teunter, R.H., 2006. Simple heuristics for push and pull remanufacturing policies. European Journal of Operational Research 175 (2), 1084.

[11] Tavakoli Moghaddam, Omidi Rakavandi, & Ghodrat Nema. (2014). Mathematical modeling for integrated direct and reverse logistics network design. Management Research in Iran, 17 (4), 43-63.

[12] Azar, Adel, & Jandaghi. (2016). Design of a closed loop supply chain model with a new robust fuzzy planning approach. Journal of Modern researches in Decision

Making, 1 (3), 131-160.

[13] Georgiadis, P., Vlachos, D., Tagaras, G., 2006. The impact of product lifecycle on capacity planning of closed-loop supply chains with remanufacturing. Production and Operations Management 15 (4), 514–527.

[14] Kleber, R., 2006. Dynamic Inventory Management in Reverse Logistics. Springer, Berlin Heidelberg.

[15] Vlachos, D., Georgiadis, P., and Iakovou, E., 2007. A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains, Computers & Operations Research, vol. 34, pp. 367-394.

[16] Suryani, E., S.-Y. Chou, R. Hartono, and C.-H. Chen, "Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework," *Simulation Modelling Practice and Theory,* vol. 18, pp. 732-751, 2010.

[17] Minegishi S., D. Thiel, 2000. System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain," *Simulation Practice and Theory,* vol. 8, pp. 321-339.

[18] Helo, P., 2000. Dynamic modelling of surge effect and capacity limitation in supply chains," *International Journal of Production Research,* vol. 38, pp. 4521-4533.

[19] Sarimveis, H., P. Patrinos, C. D. Tarantilis, and C. T. Kiranoudis, 2008. Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review," *Computers & Operations Research* ,vol. 35, pp. 3530-3561.

[20] Deif A. M., H. A. ElMaraghy, 2007. Assessing capacity scalability policies in RMS using system dynamics," *International journal of flexible manufacturing systems,* vol. 19, pp. 128-150.

[21] Poles R. and Cheong, F., 2009. Inventory control in closed loop supply chain using system dynamics," in Int. Syst. Dyn. Conf., Albuquerque, NM, USA, 2009.

[22] Poles, R., 2013. System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies," International Journal of Production Economics, vol. 144, pp. 189-199, 2013.

[23] Masoumeh Razi, Hamidreza Shabandarzadeh, A Brief Review of the Literature of Closed-loop Supply Chains, National Conference on New Research in Management, Law, Economics and Humanities, 2017.

[24] Alireza Ghasemi, Javad Asl Najafi, Saeed Yaghoubi, The problem of supplier

selection of parts in the two-way dynamic closed loop supply chain using the amplified limit method, 2017.

[25] Sadollah Ebrahimnejad, Arezoo Roshani, Development of a Mathematical Model for Production Planning of Assembled Products in a Closed Ring Supply Chain Considering Demand and Fuzzy Return, International Green Supply Chain Conference, 2017.