

## بررسی تأثیر گردش اطلاعات بر مدل زنجیره تأمین ساخت طبق سفارش مبتنی بر رویکرد سیستم‌های پویا

احسان محمودی<sup>۱</sup>، علی نعیمی صدیق<sup>۲</sup>، سید کمال چهارسوقی<sup>۳\*</sup>، حمیدرضا اسکندری<sup>۴</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>واژگان کلیدی:</b>            زنجیره تأمین،            سیستم‌های پویا،            ساخت طبق سفارش،            سیستم گردش اطلاعات            یکپارچه.</p>	<p>زنجیره تأمین دارای ساختار چند بعدی است که با تمرکز بر یکپارچه‌سازی کلیه فرآیندهای منبع‌یابی، تولید و توزیع سعی در تحویل به‌موقع محصولات نهایی به مشتریان را دارد. توجه زیاد به زنجیره تأمین منجر به نیاز به یک رویکرد مناسب جهت مدیریت پیچیدگی و گستردگی حوزه زنجیره تأمین گشته است. عملیات زنجیره تأمین تابعی از متغیرهای زیادی هستند که با یکدیگر وابستگی دارند. هدف اصلی زنجیره تأمین بهینه‌سازی عملکرد کل زنجیره با توجه به رفتار پویای آن می‌باشد. هدف این مقاله ارائه یک چارچوب برای شبیه‌سازی عملیات زنجیره تأمین با یک پیچیدگی متوسط و با رویکرد سیستم‌های پویاست. مدل ارائه‌شده دارای چهار سطح با محوریت تولیدکننده و با سیستم ساخت طبق سفارش می‌باشد. هدف مقاله مدل‌سازی شبکه زنجیره تأمین و به دست‌آوردن پاسخ درست به رفتار آن با یکپارچه نمودن سیستم گردش اطلاعات می‌باشد. همچنین عملکرد سیستم با توجه به شرایط اولیه، تحت چهار سناریوی متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد. معیارهای عملکردی محاسبه‌شده در این مقاله شامل میزان موجودی، میزان ذخیره اطمینان، کمبود و میزان رضایت مشتری برای هر چهار رده زنجیره تأمین می‌باشد. تحلیل رفتار مدل در مدل پایه و سناریوهای مختلف در طول یک سال با استفاده از شبیه‌سازی انجام شده است که بیانگر آنست که سیستم گردش اطلاعات یکپارچه می‌تواند با کاهش ذخیره اطمینان درصد رضایت‌مندی مشتری را در سطح بالایی حفظ نماید.</p>

### ۱- مقدمه

به رشد در شبکه‌های زنجیره تأمین نشانگر اهمیت تکیه بر شیوه‌های مدیریت کارآمد خاص زنجیره تأمین می‌باشد. یک زنجیره تأمین شبکه‌ای از سازمان‌ها است که در پردازش یک عملکرد کسب و کار در هر مرحله از زنجیره ارزش از قبیل تولید، توزیع، تدارک و ... درگیر هستند [۱]. در یک زنجیره تأمین سه نوع جریان شامل مواد، اطلاعات و امور مالی وجود دارد. در هر مورد جریان یک فرآیند دو طرفه است، هدف از مدیریت زنجیره تأمین (SCM) بهبود عملکرد کلی شبکه با ایجاد یک سری از فعالیت‌های هماهنگ و کنترل و مدیریت کارآمد از این

امروزه رقابت شدید جهانی به افزایش سفارشی‌سازی و پاسخ‌گویی سریعتر به مشتریان منجر شده‌است. توجه رو

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: skch@modares.ac.ir

۱. کارشناسی ارشد، بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشجوی دکتری، بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشیار، بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس
۴. استادیار، بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

سه جریان در حال وقوع در سراسر شبکه زنجیره تأمین است.

سیستم‌های پویا تکنیکی است که قادر به مطالعه و مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده از جمله شبکه‌های زنجیره تأمین می‌باشد. عملیات انجام شده در درون زنجیره تأمین تابعی از تعداد زیادی از متغیرهای کلیدی است که اغلب به شدت به یکدیگر وابسته‌اند. سیستم‌های پویا به ارائه یک دیدگاه کلی نسبت به سیستم و شناسایی چگونگی تأثیر این روابط متقابل بر کل سیستم کمک می‌کند [۳ و ۲]. توانایی درک کل سیستم و همچنین تجزیه و تحلیل وابستگی‌های بین اجزای مختلف یک سیستم یکپارچه و در نهایت تأمین بازخورد بدون شکستن آن به اجزای سازنده، سیستم‌های پویا را به یک روش ایده‌آل برای مدل‌سازی زنجیره‌های تأمین مبدل می‌سازد. در این تحقیق، ساختاری جهت تبدیل سیستم از یک مدل ذهنی به یک مدل کامپیوتری مبتنی بر متغیرهای حالت و جریان ارائه می‌گردد. آزمایش‌های بیشتر که شامل تعدادی از سناریوهای طراحی شده می‌باشد، بر روی مدل انجام و نتایج نهایی رفتار سیستم گزارش می‌شود. برتری سیستم‌های پویا نسبت به مدل‌های ریاضی در بررسی سیستم‌های پیچیده و با تعداد متغیرهای زیاد و همچنین به علت پویایی محیط و روابط متقابل بین متغیرها می‌باشد، لذا سیستم‌های پویا برای بررسی عملکرد زنجیره تأمین روش مطلوبی است.

توابع مختلف در درون یک سازمان، بر روی اهداف مختلف تمرکز دارند و در پیگیری تحقق آنها، پیامدهای آن‌ها در بخش‌های دیگر در نظر گرفته نمی‌شود. در همان زمان، تصمیم‌گیری‌های مرتبط با محصول یا فرایند در توابع خاص می‌تواند بر اهداف توابع دیگر تأثیر بگذارد، حتی اگر آن‌ها هیچ ارتباط مستقیم و یا کنترل بر فرایند نداشته باشند. در بسیاری از زنجیره‌های تأمین، افزایش خدمات به مشتریان می‌تواند به سطح موجودی بالاتر منجر گردد و کاهش سطح موجودی می‌تواند کاهش در خدمات به مشتریان را منجر شود. اگر موجودی و خدمات به

مشتریان مسئولیت توابع مختلف سازمان باشد (که معمولاً این طور به نظر می‌رسد) در این صورت آن‌ها برای رسیدن به اهداف خود به رقابت می‌پردازند. این دو هدف نباید جدا باشد بلکه باید توسط یک تابع کنترل شوند، به طوری که سودمندترین موازنه‌ها جهت منفعت شرکت صورت گیرند.

استراتژی‌ها می‌توانند در زنجیره تأمین به گونه‌ای به کار گرفته شوند که منحنی سطح موجودی - خدمت‌رسانی به مشتری را بهبود دهند. به عبارت دیگر، این استراتژی‌ها سطوح موجودی را بدون کاهش در خدمات به مشتریان کاهش می‌دهند و یا خدمات به مشتریان را بدون افزایش سطح موجودی بهبود می‌دهند [۴]. به عنوان مثال اگر چرخه تولید کاهش یابد، خدمات به مشتریان بدون نیاز به حفظ سطوح بالاتر موجودی افزایش می‌یابد.

یکی از مکانیزم‌های هماهنگی، تسهیم اطلاعات مهمی همچون تقاضای بازار، سفارشات و موجودی بین بخش‌های مختلف زنجیره است. امروزه زنجیره‌های تأمین با هدف بهینه‌سازی عملیات خود به دنبال جایگزین کردن جریان اطلاعات به جای موجودی / جریان مواد می‌باشند. فواید این امر روشن است، اطلاعات کم هزینه‌تر از موجودی هستند و با پیگیری آن‌ها می‌توان عایدی بیشتری به دست آورد. با این حال اتخاذ چنین استراتژی، به شدت وابسته به سطح عدم اطمینان تقاضا است. به طور خاص، این استراتژی می‌تواند در شرایط انحراف معیار زیاد تقاضا نقش مهمی را در جهت جلوگیری از کاهش سطح پاسخ‌گویی زنجیره ایفا کند. اگرچه در صورت عدم اطمینان بالا در تقاضا، اتخاذ یک استراتژی یاری‌کننده به افزایش پاسخ‌دهی ترجیح دارد [۵]. عدم قطعیت و تنوع مهم‌ترین تهدید برای بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین هستند [۶]. عدم قطعیت و تنوع هر دو اشاره به تقاضا، پردازش و عرضه دارند. تنوع تقاضا اغلب به علت اثر شلاق گاوی<sup>۱</sup> است. زمانی که تغییرات کوچک در تقاضا پایین دست وجود دارد، در بالادست زنجیره تأمین تقویت

<sup>۱</sup> Bullwhip effect

زیمبر [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی در سیستم تولید به‌هنگام و روشی برای هماهنگی زنجیره عرضه در یک دوره سفارش ارائه نمود. این مقاله همچنین برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین همزمان با در نظر گرفتن هزینه از پارامترهای کلیدی موثر بر زنجیره تلاش نموده است. در مدل‌های دیگری که توسط بیمون [۱۴] پیشنهاد شده‌است، دو معیار اندازه‌گیری عملکرد مختلف مبتنی بر هزینه و پاسخگویی به مشتریان، برای اندازه‌گیری عملکرد سیستم زنجیره تأمین مورد استفاده قرار گرفته است. در زمینه کار مذکور، هزینه شامل هزینه‌های موجودی و هزینه‌های عملیاتی می‌باشد در حالی که معیارهای اندازه‌گیری پاسخگویی شامل سیکل تولید، احتمال کمبود و نرخ بازسازی می‌باشد. چان و همکاران [۱۵] یک رویکرد مدل‌سازی تقریبی را جهت بررسی شبکه‌های لجستیک ارائه کردند. رابطه نزدیک میان موجودی نیم‌ساخته (WIP) و سیکل تولید مورد بحث قرار گرفته است و استدلال شده‌است که اگر میزان تولید حفظ شود، میزان موجودی نیم‌ساخته در نتیجه کاهش نسبی در زمان سیکل تولید، کاهش می‌یابد. مین و ژو [۱۶] تلاش‌های گذشته در مدل‌سازی زنجیره تأمین را تجزیه و تحلیل و چالش‌های کلیدی و فرصت‌های مرتبط با مدل‌سازی زنجیره تأمین معاصر را شناسایی نموده‌اند. مقاله آن‌ها رانه‌های<sup>۱</sup> زنجیره عرضه، طرح‌های خدماتی مشتری، ارزش پولی، معاملات اطلاعات/دانش، عناصر خطر، محدودیت‌های زنجیره تأمین و متغیرهای تصمیم زنجیره تأمین را به عنوان مولفه‌های کلیدی از مدل‌سازی زنجیره تأمین شناسایی می‌کند. گوناسکاران و همکاران [۱۷] در مورد نیاز به انتخاب معیارهای اندازه‌گیری مناسب در ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین بحث می‌کنند. کار آن‌ها یک لیست طولانی از معیارها از قبیل هزینه در هر ساعت عملیات، اطلاعات حمل هزینه، ظرفیت، موجودی کل در اشکال مختلف، نرخ رد تأمین کنندگان و

می‌گردد [۷]. این امر باعث عدم کارایی در مدیریت موجودی، ساخت و تدارکات در سراسر شبکه می‌شود [۸]. تأمین‌کنندگان می‌توانند از اطلاعات مربوط به موجودی خرده‌فروشان جهت تخصیص بهینه کالا به خرده‌فروشان استفاده نمایند [۹ و ۱۰]. عملکرد سیستم‌های زنجیره تأمین را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف اندازه‌گیری نمود. این امر می‌تواند در سه دسته طبقه‌بندی شود: معیارهای خدمات مشتری، معیارهای دارایی - زمان و معیارهای انعطاف پذیری [۱۱]. تمایل این است که تمام معیارهای فوق در همه رده‌های زنجیره اجرا شود؛ اگرچه معیارهایی که عملکرد کل زنجیره تأمین را اندازه‌گیری می‌کنند اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزیت عمده این معیارها در آن است که عملکرد کل زنجیره تأمین را با رقبا مقایسه می‌نمایند [۱۲].

در این تحقیق اهمیت یکپارچه نمودن گردش سیستم اطلاعات به‌عنوان یکی از مهمترین مکانیزم‌های هماهنگی زنجیره تأمین با رویکرد سیستم‌های پویا تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که به ترتیب زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم مرور ادبیات انجام شده است و مدل پیشنهادی در بخش سوم آورده شده است. در بخش چهارم به بررسی چهار سناریو متفاوت پرداخته شده است و نتایج آن گنجانده شده‌است. در نهایت نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در بخش پنجم ارائه شده‌است.

## ۲- مرور ادبیات

در این مقاله مرور ادبیات تحقیق از سه منظر شاخص‌های زنجیره تأمین، سیستم‌های پویا و تسهیم اطلاعات مورد تحلیل قرار گرفته‌است که در ادامه به آن پرداخته می‌گردد.

<sup>۱</sup> Drivers

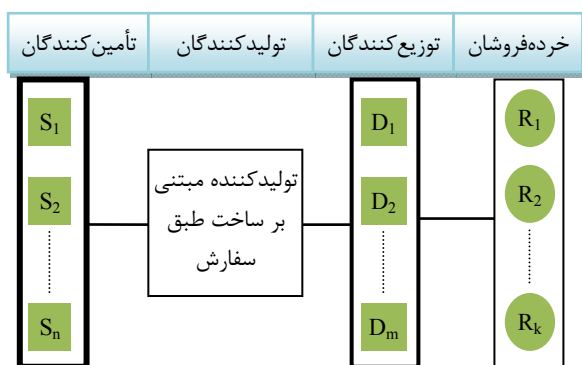
می‌دهد که به ترتیب یکپارچگی بر روی تسهیم اطلاعات و تسهیم اطلاعات بر روی عملکرد زنجیره تأثیرگذار است. ژو و همکاران [۲۶] تأثیر تسهیم اطلاعات را در سیستم موجودی بازبینی دوره‌ای با بازبینی لحظه‌ای (S, S) مورد مقایسه قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که تسهیم اطلاعات در سیستم بازبینی لحظه‌ای منجر به کاهش بیشتر هزینه‌های موجودی می‌گردد. اوزبایراک و همکاران [۲۷] تنها به بررسی تأثیر تغییرات تقاضا در حالات مختلف پرداخته‌اند و تنها راهکار ارائه‌شده برای برخورد با کاهش رضایتمندی مشتری تحت این سناریوها، افزایش ذخیره اطمینان بوده‌است.

در یک ویژه‌نامه مدیریت زنجیره تأمین منتشر شده توسط یکی از معتبرترین مجلات [۲۸]، تأکید شده است شکاف بزرگ در ادبیات مربوطه ارائه چارچوب و مدل مناسب جهت زنجیره‌های تأمین یکپارچه است. این مطلب مشخص می‌سازد که اکثریت قریب به اتفاق آثار منتشر شده تا کنون به عنوان مدل‌های تحقیق در عملیات سنتی به طور خاص برای حل مسئله ظرفیت و یا مشکلات موجودی اختصاص داده شده است. بنابراین، چارچوب‌ها و مدل‌های پیچیده‌تر و کارآمدتری مورد نیاز است که بتواند در مدل‌سازی زنجیره تأمین با توجه به انتخاب معیارهای اندازه‌گیری عملکرد مورد استفاده قرار گیرد. با اذعان به سهم مدل‌سازی برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین، این تحقیق، یک چارچوب مدل‌سازی توسعه یافته مبتنی بر رویکرد سیستم پویا ارائه می‌نماید. مدل پیشنهادی، مشتاق است تا با شناسایی عملیات و پویایی‌های زنجیره تأمین و بررسی عملکرد آن با توجه به طیف وسیع معیارهای کلیدی عملکرد، به تأثیر اهمیت یکپارچه‌نمودن سیستم گردش اطلاعات به پژوهش زنجیره تأمین یاری رساند. هدف از این تحقیق مدل‌سازی یک زنجیره تأمین تولیدی چهار رده‌ای (بر مبنای مدل پیشنهادی [۲۷]) جهت اندازه‌گیری عملکرد آن تحت شرایط مختلف عملیاتی و در نهایت شناسایی و درک رفتار پویای آن است. به منظور ساخت مدل و اندازه‌گیری

غیره ارائه می‌نماید که می‌تواند برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین در سطح عملیاتی مورد استفاده قرار گیرد. مینگیسی و تیل [۱۸] یک مدل سیستم دینامیکی جهت زنجیره تأمین مواد غذایی ارائه کردند. ماهیت پیچیده این نوع خاص از زنجیره تأمین را روشن نمودند و به ویژه بر روی هماهنگی متغیرهای کنترل‌کننده تولید مواد غذایی تحقیق کردند لی و همکاران [۱۹] نشان می‌دهند که زنجیره عرضه به طور کامل نه گسسته و نه پیوسته بلکه مخلوطی از این دو است و در نتیجه یک مدل مناسب باید منعکس‌کننده این وضعیت باشد. پان و همکاران [۲۰] به کمک یک مدل شبیه‌سازی و با استفاده از سیستم‌های پویا به مطالعه اثر شلاق گاوی در سیستم تأمین تعمیرات و نگهداری اسلحه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مهمترین عامل تأثیرگذار در سیستم نگهداری اسلحه نیروی انسانی می‌باشد. پیروال و همکاران [۲۱] زنجیره تأمین صنعت خودرو را با استفاده از شبیه‌سازی با رویکرد سیستم‌های پویا مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به بررسی تأثیر اطلاعات در بهبود عملکرد زنجیره تأمین پرداختند. لین و همکاران [۲۲] یک روش شبیه‌سازی جدید مبتنی بر فازی برای مدیریت موجودی مشتری در یک زنجیره تأمین ارائه دادند. مدل آن‌ها متغیرها و پارمترهایی را که عدم قطعیت بالایی دارند، شناسایی می‌کند. مونچ و همکاران [۲۳] رویدادهای لجستیکی گسسته را ارائه دادند که به طور مجزا موجودی، منبع‌یابی، زمان‌بندی و مسیریابی را انجام می‌دهند.

یو و همکاران [۲۴] به بررسی اهمیت تسهیم اطلاعات پرداختند که در نه سناریوی مختلف ارائه نمودند، ایشان نشان دادند که تسهیم اطلاعات تنها برای موجودی و ظرفیت منجر به بهبود عملکرد زنجیره نخواهد گردید بلکه می‌بایستی بر روی تقاضای مشتری نیز اعمال گردد. کوکگلو و همکاران [۲۵] پانصد شرکت برتر ترکیه را در سال ۲۰۱۰ میلادی بررسی نموده‌اند که به تأثیر همزمان یکپارچگی زنجیره تأمین و تسهیم اطلاعات بر روی عملکرد زنجیره تأمین پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان

توزیع‌کنندگان از خرده‌فروشان دریافت می‌کنند مجموع سفارشات است که از همه خرده‌فروشان به توزیع‌کنندگان ارسال می‌گردد و تقاضایی که به تولیدکننده می‌رسد مجموع سفارشات است که از همه توزیع‌کنندگان دریافت می‌کند. با این فرضیات شکل زنجیره تأمین مورد بررسی مانند شکل ۱ خواهد بود. با توجه به وجود تأثیرات متقابل متغیرهای مختلف در یک زنجیره تأمین و وجود تغییرات اجتناب‌ناپذیر تقاضا در دوره‌های متعدد در این بخش از ابزارهای سیستم‌های پویا نظیر نمودار علت و معلولی برای مدل‌سازی زنجیره تأمین استفاده شده است. شناسایی متغیرهای موثر بر مبنای مطالعات صورت‌گرفته، ایجاد نمودار علت و معلولی و در نهایت ساخت نمودار حالت و جریان به ترتیب گام‌های ایجاد مدل ارائه‌شده مبتنی بر رویکرد سیستم‌های پویا می‌باشند.



شکل ۱- مدل زنجیره تأمین ارائه‌شده

### ۳-۱- مفروضات مدل

- مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیر است:
- مدل ارائه‌شده حول یک سازمان ساخت طبق سفارش است، که به عنوان تولیدکننده مرکزی در یک زنجیره تأمین بزرگتر عمل می‌کند.
  - مدل‌سازی در سطح عملیاتی انجام می‌شود.
  - شرکت‌هایی که در زنجیره تأمین در نظر گرفته شده‌اند، هیچ ارتباطی با شرکت‌های بیرون از مرز سیستم نداشته و بنابراین هیچ سیستم تأمین

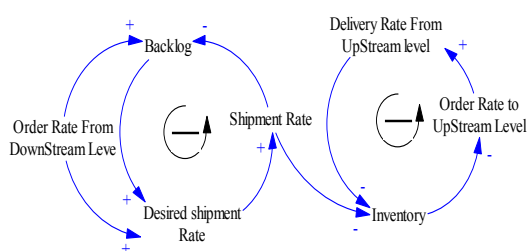
عملکرد سیستم یک رویکرد سیستم پویا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله قابلیت و توانایی تسهیم اطلاعات در حالت افزایش میانگین و عدم قطعیت تقاضای مشتری به منظور برآورده نمودن تقاضای مشتری بررسی گردیده است. شایان ذکر است علاوه بر این، شاخص‌های عملکرد زنجیره تأمین نظیر سطح رضایتمندی مشتری، هزینه نگهداری، هزینه کمبود و موجودی اطمینان مورد تحلیل قرار گرفته است.

### ۳- مدل زنجیره تأمین

هر زنجیره شامل چهار سطح خرده فروش، توزیع‌کننده، تولیدکننده و تأمین‌کننده می‌باشد. در مدل زنجیره تأمین ساخت طبق سفارش یک تولیدکننده مرکزی وجود دارد که مواد اولیه مورد نیاز خود را از یک یا چند تأمین‌کننده دریافت می‌کند و محصولات تولید شده را به توزیع‌کننده‌ها ارسال می‌کند. توزیع‌کننده نیز محصولات دریافتی از تولیدکننده را به دست خرده‌فروش‌ها می‌رساند. خرده‌فروش بر اساس تقاضای مشتری، تقاضای خود را به توزیع‌کننده ارسال می‌کند. توزیع‌کننده نیز با توجه به تقاضای دریافتی از مشتری به تولیدکننده سفارش می‌دهد. تولیدکننده بر اساس تقاضای دریافتی از توزیع‌کننده اقدام به تولید کالا می‌کند.

از آنجا که هدف این مطالعه بررسی رفتار هر سطح زنجیره تأمین می‌باشد و به بررسی رفتار تک تک اعضا پرداخته نمی‌شود، لذا فرض شده است که تنها یک خرده‌فروش، یک توزیع‌کننده و یک تأمین‌کننده وجود دارد. به عبارت دیگر همه خرده‌فروشان به عنوان یک خرده‌فروش، همه توزیع‌کنندگان به عنوان یک توزیع‌کننده و همه تأمین‌کنندگان به عنوان یک تأمین‌کننده در نظر گرفته می‌شوند. به این ترتیب منظور از تقاضای مشتری مجموع تمام تقاضاهایی است که از سوی مشتریان به همه خرده‌فروشان می‌رسد. هم چنین سفارشات است که

بالایی کاهش می‌یابد و با کاهش نرخ دریافت سفارشات از سطح بالایی میزان موجودی دوباره کاهش پیدا می‌کند. حلقه دوم که در سمت راست نشان داده شده است یک حلقه هدف‌جو است که میزان سفارشات معوق را کنترل می‌کند. هنگامی که نرخ سفارشات دریافتی از سطح پایین‌تر زنجیره افزایش پیدا کند، سفارشات معوق و نیز نرخ مطلوب برآوردن سفارش مشتری افزایش پیدا خواهد کرد. با افزایش نرخ مطلوب برآوردن تقاضای مشتری، نرخ ارسال کالا نیز افزایش پیدا می‌کند که خود باعث کاهش سفارشات معوق خواهد شد. بنابراین حلقه دوم تلاش دارد تا میزان سفارشات معوق را به صفر برساند. در خارج حلقه نیز، افزایش در نرخ ارسال سفارشات به مشتری، موجب کاهش در میزان موجودی می‌شود.



شکل ۲- دیاگرام علت و معلولی تأمین‌کننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش

### ۲-۲-۳- نمودار علت و معلولی برای تولیدکننده

در شکل ۳ دیاگرام ارتباطی تولیدکننده نشان داده شده‌است. عبارت Gap (شکاف) در نمودارها، میزان موجودی منهای سفارشات عقب‌افتاده را نشان می‌دهد. اگر میزان Gap در یک هفته معین مثبت باشد نشان می‌دهد که مقدار موجودی در آن هفته از سفارشات معوق بیشتر است و منفی بودن آن نشان می‌دهد که میزان سفارشات معوق از موجودی بیشتر شده و امکان برآوردن بخشی یا تمام تقاضای مشتری در آن هفته وجود ندارد. این معیار عملکرد میزان توانایی پاسخگویی به تقاضا برای هر رده زنجیره تأمین است.

خارجی، برای هیچ کدام از آنها در نظر گرفته نشده‌است.

- تقاضا در سطح خرده‌فروشی احتمالی است و با یک توزیع نرمال مشخص می‌شود.
- زمان تولید احتمالی است و توزیع نرمال دارد.
- شبیه‌سازی در بازه به طول ۵۲ هفته انجام شده است.
- در مدل پیشنهادی تقاضای همه رده‌های زنجیره تأمین به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده‌است.

### ۲-۳- نمودار علت و معلولی زنجیره تأمین

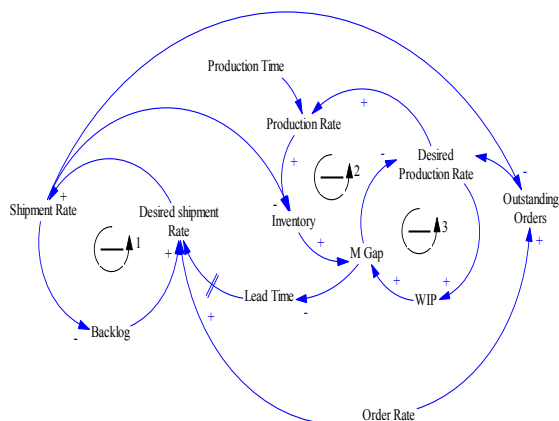
در یک نمودار علت و معلولی به بیان ارتباط و نحوه تأثیر متغیرهای موجود پرداخته می‌شود. بنابراین نخست به معرفی متغیرهای موجود پرداخته شده است و سپس نحوه تأثیر گذاری آنها بر یکدیگر توضیح داده می‌شود. به منظور برجسب گذاری مدل، تأمین‌کننده را با حرف S، تولیدکننده را با حرف M، عمده‌فروش را با حرف D و خرده‌فروش را با حرف R نشان می‌دهیم. متغیرها و ساختار نمودار علت و معلولی برای تأمین‌کننده، عمده‌فروش و خرده‌فروش مشابه یکدیگر می‌باشد، اما نمودار علت و معلولی تولیدکننده متفاوت است.

### ۳-۲-۱- نمودار علت و معلولی برای تأمین‌کننده، عمده‌فروش و خرده‌فروش

در شکل ۲ نمودار علت و معلولی برای سه سطح خرده‌فروش، عمده‌فروش و تأمین‌کننده نشان داده شده است. دو حلقه مجزا در شکل ۲ وجود دارد که یکی موجودی و دیگری سفارشات معوق را کنترل می‌نماید.

حلقه سمت راست شکل ۲، یک حلقه هدف‌جو است که میزان موجودی را کنترل می‌نماید. به این ترتیب که با افزایش مقدار موجودی، نرخ سفارش به سطح بالایی زنجیره کاهش پیدا می‌کند. با کاهش نرخ سفارش ارسال شده به سطح بالایی زنجیره، نرخ دریافت سفارش از سطح

شرح ارتباط بین رده‌های زنجیره تأمین پرداخته می‌شود. خرده فروش بر اساس سفارشی که از مشتری دریافت کرده و با توجه به میزان موجودی و سفارشات معوق، سیاست سفارش‌دهی خود را تعیین و به توزیع‌کننده اعلام می‌کند. توزیع‌کننده با دریافت سفارش از خرده‌فروش و با توجه به موجودی و سفارشات معوق، میزان سفارش خود را از تولیدکننده تعیین می‌کند. به همین ترتیب سیستم سفارش‌دهی در رده‌های زنجیره تأمین تعیین می‌گردد.



شکل ۳- دیاگرام ارتباط تولیدکننده

برای هر یک از اعضای زنجیره تأمین یک سیاست سفارش‌دهی در نظر گرفته شده است. با توجه به منطق مدل، سیاست سفارش‌دهی برای هر سطح از زنجیره از طریق پر کردن فاصله بین موجودی و ذخیره اطمینان، نرخ سفارشی که از آن سطح به سطح بالاتر فرستاده می‌شود را کنترل می‌کند.

در بخش تولیدکننده منطق نمودارها اندکی متفاوت است. برای توضیح مطلب فرض کنید زمان تحویل کالا توسط تولیدکننده دو هفته باشد. در این صورت نرخ مطلوب ارسال سفارشات در هر هفته معادل نرخ سفارشات دریافتی از عمده‌فروش در دو هفته قبل می‌باشد. به عبارت دیگر، نرخ سفارشات دریافتی از عمده‌فروش در هر هفته، نرخ مطلوب ارسال سفارشات برای تولیدکننده در دو هفته آینده را تعیین می‌کند. مقدار زمان تحویل بر مبنای  $Mgap$  تعدیل می‌شود. مقادیر زیاد  $Mgap$  در یک هفته به مفهوم مقادیر زیاد موجودی در آن هفته می‌باشد.

در این مدل زمان تحویل کالا برای تولیدکننده به عنوان تابعی از  $Mgap$  در نظر گرفته شده است. با افزایش  $Mgap$  از ۶۰، زمان تحویل کالا به اندازه ۰/۱ هفته کاهش پیدا می‌کند و با رسیدن مقادیر  $Mgap$  به پایین‌تر از ۲۰ مقدار زمان تحویل ۰/۱ هفته افزایش پیدا خواهد کرد. رابطه ریاضی برای محاسبه  $Lead\ time$  در معادله ۱ و ۲ آمده است. تعریف سایر متغیرهای مورد استفاده در

رضایتمندی مشتری در هر هفته، درصدی از تقاضای مشتری نهایی است که خرده‌فروش توانایی برآوردن آن را دارد. عملکرد زنجیره تأمین با استفاده از معیارهای موجودی تأمین‌کننده<sup>۱</sup>، تولیدکننده<sup>۲</sup>، توزیع‌کننده<sup>۳</sup> و خرده‌فروش<sup>۴</sup> به ترتیب با و نمایش داده می‌شود.

حلقه شماره ۱ که سفارشات عقب‌افتاده را کنترل می‌نماید توضیح داده شد، تنها تفاوت آن در این است که نرخ ارسال مطلوب، از مجموع نرخ سفارشات با تأخیر زمانی به اندازه زمان تحویل<sup>۵</sup> و سفارشات معوق از هفته‌های قبل به دست می‌آید. حلقه خنثی‌کننده دوم به میزان موجودی تولیدکننده کنترل می‌نماید. نرخ مطلوب تولید با میزان موجودی تغییرات غیر هم‌جهت دارد و با سفارشات در راه<sup>۶</sup> تغییرات هم‌جهت دارد.

### ۳-۳- مدل کلی زنجیره تأمین

تصویری از مدل در نرم افزار Vensim در پیوست آمده است. در این شکل نمودار حالت و جریان برای کلیه سطوح زنجیره تأمین نشان داده شده است. در بخش‌های قبل نمودار علت و معلولی برای هر یک از رده‌های زنجیره تأمین به طور مجزا توضیح داده شد. در این قسمت به

- <sup>1</sup> S gap
- <sup>2</sup> M gap
- <sup>3</sup> D gap
- <sup>4</sup> R gap
- <sup>5</sup> Lead time
- <sup>6</sup> Outstanding orders

هدف از طراحی سناریوها، بررسی تأثیر سیستم گردش اطلاعات در یک زنجیره تأمین با وجود عدم قطعیت در میانگین و انحراف معیار تقاضاست. در دو سناریوی نخست بدون در نظر گرفتن سیستم گردش اطلاعات رفتار زنجیره مدل می‌گردد و در سناریوی سوم و چهارم با در نظر گرفتن سیستم گردش اطلاعات به رفتار مدل پرداخته خواهد شد. سناریو نخست بدترین شکل ممکن برای زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است بدین صورت که میانگین تقاضا بالا، عدم قطعیت تقاضا بالا، زمان تولید محصول زیاد و تأخیر در تحویل محصول زیاد می‌باشد.

سناریوی دوم بهترین حالت ممکن برای زنجیره در نظر گرفته می‌شود به صورتی که میانگین و عدم قطعیت تقاضا پایین و زمان تولید و تحویل محصول اندک می‌باشد. در سناریوی سوم برای نشان دادن اهمیت گردش اطلاعات سناریوی اول به همراه اعلام تقاضای مشتری به تولیدکننده در زمان اندک (سرعت بالای گردش اطلاعات) مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین در سناریوی چهارم از آنجا که زمان تولید و تحویل محصول توسط زنجیره قابل کنترل است ولی میانگین و عدم قطعیت تقاضا به دلیل آنکه مشتری تعیین می‌نماید قابل کنترل نمی‌باشد، بدین صورت در نظر گرفته شده است که میانگین و عدم قطعیت تقاضا بالاست و زمان تولید و تحویل محصول اندک است در ضمن گردش اطلاعات با سرعت بالا در طول زنجیره انجام می‌گیرد. در جدول شماره یک می‌توان فرضیات مدل را در حالات مختلف مشاهده نمود.

#### ۴-۱- سناریوی یک

در این مرحله میانگین تقاضا و عدم قطعیت تقاضا افزایش می‌یابد، بدین صورت که میانگین تقاضا ۴۰ واحد و انحراف معیار تقاضا ۱۰ واحد می‌گردد. همچنین میانگین زمان تولید و میزان تأخیر در تحویل محصول به ترتیب به مقدار ۲۰ و ۳۴ ساعت افزایش می‌یابد.

مدل، که در بالا بیان گردید، در معادلات ۳ - ۶ مشاهده می‌شود.

$$Lead\ time(t) = lead\ time(0) + \int_1^t Lead\ time\ adjustment \quad (1)$$

$$Lead\ time\ adjustment = \begin{cases} 0.1 & if\ Mgap \leq 20 \\ 0 & if\ 20 < Mgap < 60 \\ -0.1 & if\ Mgap \geq 60 \end{cases} \quad (2)$$

$$Gap = Inventory - Backlog \quad (3)$$

$$Customer\ Satisfaction = \frac{Satisfied\ Demand}{Total\ Demand} \quad (4)$$

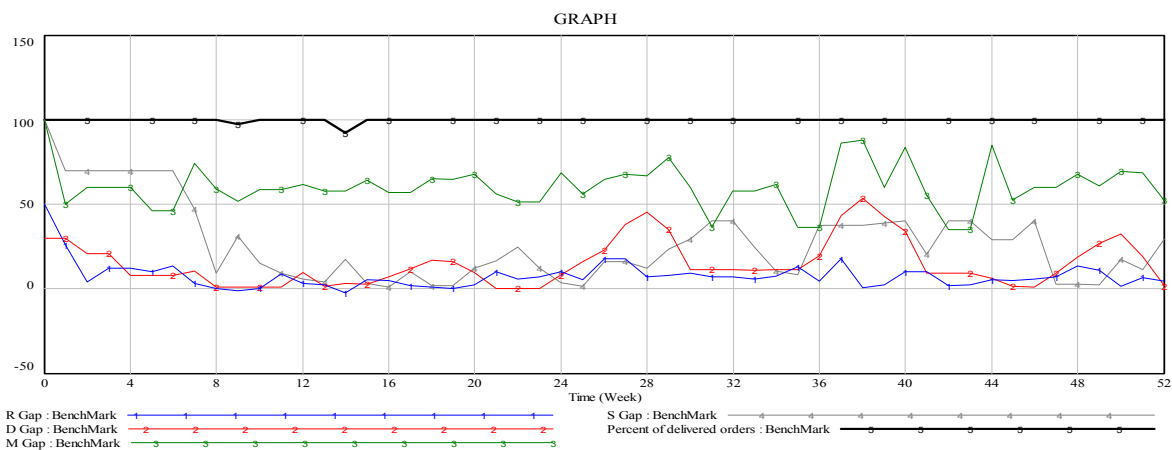
$$LM\ Outstanding\ Orders = \int_{I_0} M\ Orders - M\ Shipments \quad (5)$$

$$WIP = \int_0 Desired\ Production\ Rate - Production\ Rate \quad (6)$$

#### ۴- بررسی رفتار مدل تحت تأثیر تغییر در تقاضای مشتری

از آنجا که برآورده نمودن تقاضای مشتری از جمله پارامترهای تأثیرگذار در عملکرد شبکه است در چهار سناریو مختلف، به بررسی تأثیر تقاضا، زمان تولید و گردش اطلاعات پرداخته شده است. مدل پایه در نظر گرفته شده بدین صورت است که میانگین تقاضا ۳۰ واحد، انحراف معیار تقاضا ۵ واحد، میانگین زمان تولید ۱۰ ساعت و تأخیر در تحویل محصول از تولیدکننده به توزیع‌کننده ۱۷ ساعت می‌باشد. در این حالت با حداقل ذخیره اطمینان ۳۵ واحد، درصد رضایتمندی مشتری ۹۵ خواهد بود به عبارت دیگر تنها سه هفته از ۵۲ هفته سال کمبود وجود دارد. در شکل ۴ می‌توان شبیه‌سازی مدل پایه را مشاهده نمود.





شکل ۴- رفتار زنجیره تأمین در سناریی پایه

همانطور که در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد، دیگر ذخیره اطمینان موجود برای سطوح مختلف قادر به برآوردن نیاز مشتری نیست و میزان تقاضای مشتری در برخی هفته‌ها برآورده نمی‌گردد، به عبارت دیگر تنها حدود ۴۸٪ تقاضای مشتری پاسخ داده می‌شود. اما همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، می‌توان با افزایش ذخیره اطمینان در سطح خرده فروش از ۳۵ به ۵۰ واحد درصد رضایتمندی مشتری را به ۹۵٪ افزایش داد.

در ضمن زمان تولید و تأخیر تحویل محصول به ترتیب ۵ و ۸ ساعت کاهش یافته‌اند. همانطور که از شکل ۷ مشخص است، نتایج دقیقاً برعکس نتایجی است که در سناریو یک به دست آمده بود که نشان می‌دهد رابطه معکوسی بین میانگین تقاضا، عدم قطعیت و زمان تولید و تحویل محصول و متغیرهای حالت وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد می‌توان با حفظ ۹۵٪ رضایتمندی مشتری ذخیره اطمینان را تا مقدار ۲۵ واحد کاهش داد که منجر به کاهش هزینه‌های نگهداری می‌گردد.

جدول ۱- مفروضات مدل در حالت پایه و سناریوهای مختلف

تسهیم اطلاعات	زمان تحویل محصول	میانگین زمان تولید	انحراف معیار تقاضا	میانگین تقاضا	
----	۱۷	۱۰	۵	۳۰	مدل پایه
----	۳۴	۲۰	۱۰	۴۰	سناریو ۱
----	۸	۵	۲,۵	۲۵	سناریو ۲
□	۳۴	۲۰	۱۰	۴۰	سناریو ۳
□	۸	۵	۱۰	۴۰	سناریو ۴

### ۳-۴- سناریوی سوم

پارامترهای این سناریو همانند سناریو اول فرض می‌گردد، تنها تفاوت آن اینست که در زنجیره تأمین سیستم گردش اطلاعات به‌طور کامل وجود دارد. به عبارت دیگر به‌محض رسیدن تقاضا از سوی مشتری به خرده‌فروش تمامی اعضای زنجیره از آن مطلع می‌گردند و بر اساس سیاست سفارش‌دهی خرده‌فروش عمل می‌نمایند. بنابراین در این حالت در طول زنجیره برای سیاست‌های سفارش تأخیر وجود نخواهد داشت. رفتار سیستم در این شرایط در شکل ۹ قابل مشاهده است.

### ۲-۴- سناریوی دوم

با اعمال تغییر فوق، مشاهده می‌شود که با نهادینه‌نمودن سیستم گردش اطلاعات حدود ۱۵٪ کمتر از سناریوی یک

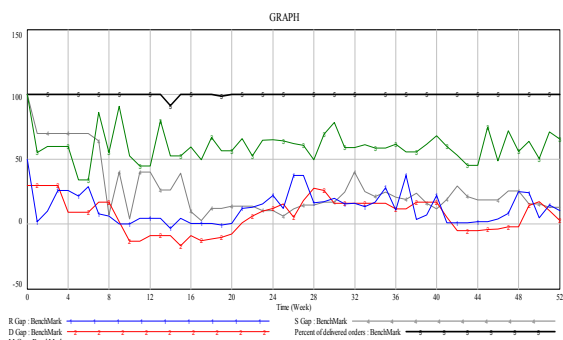
در این سناریو میانگین تقاضا از ۳۰ به ۲۵ کاهش یافته است و انحراف معیار تقاضا نیز به ۲,۵ کاهش یافته‌است.

آنجا که عامل داخلی است و تحت کنترل می‌باشد از سناریوی دوم است) و در نهایت گردش اطلاعات در زنجیره به‌عنوان مهمترین عامل هماهنگی در زنجیره تأمین وجود دارد (از سناریوی سوم اقتباس شده‌است). اهمیت گردش اطلاعات یکپارچه در زنجیره تأمین را در حالت تعدیل‌شده می‌توان در شکل ۱۲ مشاهده نمود بدین شکل که حتی با افزایش میانگین تقاضا و انحراف معیار تقاضا و تنها با ایجاد یک سیستم گردش اطلاعات یکپارچه می‌توان ۹۸٪ رضایتمندی را به‌دست آورد. حتی با کاهش ذخیره اطمینان تا ۲۵ واحد، می‌توان رضایتمندی مشتری را در سطح ۹۵٪ حفظ نمود.

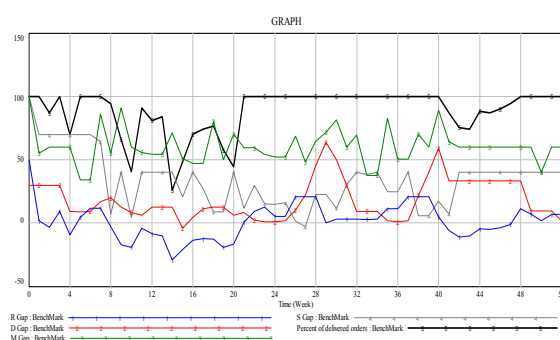
تقاضای مشتریان با کمبود مواجه می‌گردد به‌طوری‌که تنها با اضافه نمودن ۵ واحد ذخیره اطمینان می‌توان ۹۸٪ رضایتمندی مشتری را به‌دست آورد همان‌طور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، می‌توان به اهمیت وجود سیستم گردش اطلاعات در زنجیره تأمین پی برد.

#### ۴-۴- سناریوی چهارم

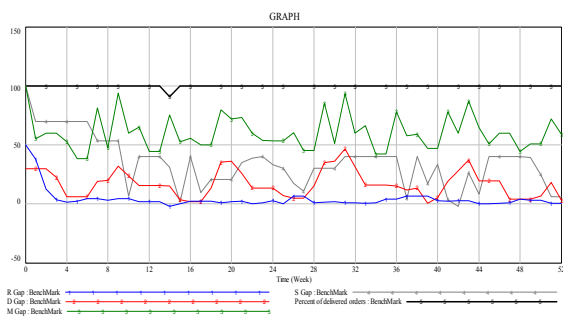
این سناریو ترکیبی از سه سناریوی قبل است که در شکل ۱۱ قابل مشاهده است، بدین صورت که میانگین تقاضا و انحراف معیار تقاضا به ترتیب ۴۰ و ۱۰ می‌باشند (از آنجا که عامل خارجی است از سناریوی اول است)، زمان تولید و تحویل محصول به ترتیب ۵ و ۸ ساعت می‌باشند (از



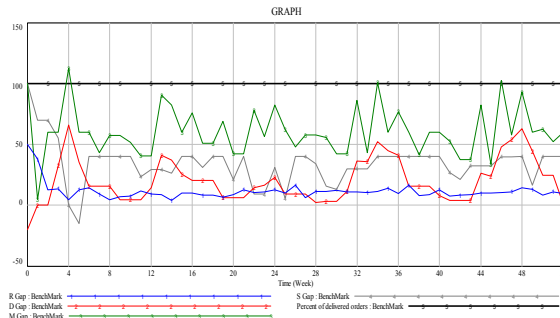
شکل ۶- سناریو شماره ۱ (مدل تعدیل شده)



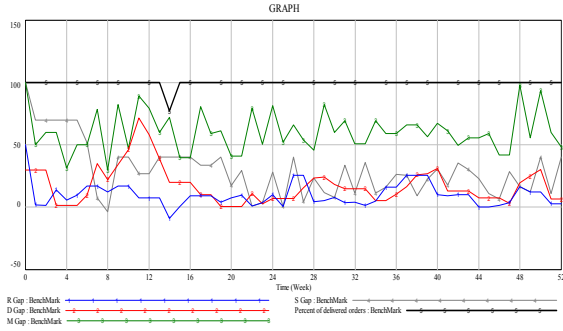
شکل ۵- سناریو شماره ۱ (مقدار اولیه)



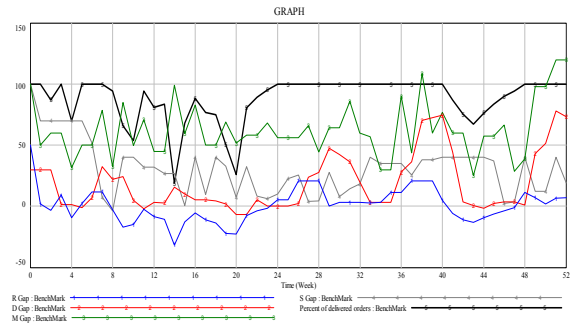
شکل ۸- سناریو شماره ۲ (مدل تعدیل شده)



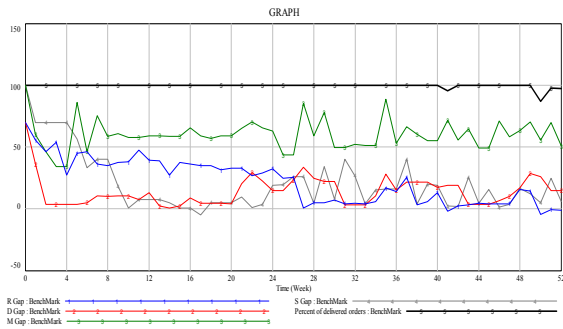
شکل ۷- سناریو شماره ۲ (مقدار اولیه)



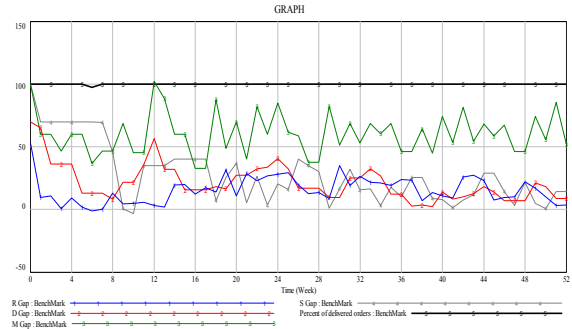
شکل ۱۰- سناریو شماره ۳ (مدل تعدیل شده)



شکل ۹- سناریو شماره ۳ (مقدار اولیه)



شکل ۱۲- سناریو شماره ۴ (مدل تعدیل شده)



شکل ۱۱- سناریو شماره ۴ (مقدار اولیه)

اطمینان اعضای زنجیره را کاهش دهد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت که وجود سیستم‌گردش اطلاعات در ضمن حفظ پاسخگویی زنجیره تأمین، می‌تواند کارایی زنجیره تأمین را افزایش دهد که این دو مهم همان اهداف زنجیره تأمین می‌باشند. در جدول ۲ شاخص‌های ارزیابی عملکرد موجودی اطمینان، درصد رضایتمندی مشتری، متوسط موجودی و متوسط کمبود برای مدل پایه و سناریوهای مختلف قابل مشاهده است.

با توجه به نتایج حاصل در سناریوهای ۳ و ۴، این نتیجه قابل بیان است که رابطه مستقیم بین گردش سیستم اطلاعات یکپارچه و سطح رضایتمندی مشتری وجود دارد. به‌طوریکه حتی با افزایش میزان تقاضا و عدم قطعیت تقاضا می‌توان رضایتمندی مشتری را در سطح بالا حفظ نمود. به عبارت دیگر وجود سیستم گردش اطلاعات یکپارچه در یک زنجیره تأمین ساخت طبق سفارش می‌تواند با حفظ سطح رضایتمندی مشتری، ذخیره

جدول ۲- معیارهای عملکردی سیستم در مدل پایه و سناریوهای مختلف

متوسط کمبود		متوسط موجودی		درصد رضایتمندی مشتری		موجودی اطمینان		
تعدیل شده	مقدار اولیه	تعدیل شده	مقدار اولیه	تعدیل شده	مقدار اولیه	تعدیل شده	مقدار اولیه	
-	۰/۰۶	-	۷/۹۲	-	۹۴/۲	-	۳۵	مدل پایه
۰/۲۲	۷/۴۰	۱۲/۶۸	۹/۵۸	۹۴/۲	۴۸/۱	۵۰	۳۵	سناریو ۱
۰/۰۴	۰	۴/۵۸	۱۱/۴۵	۹۸/۱	۱۰۰	۲۵	۳۵	سناریو ۲
۰/۱۷	۴/۸۷	۱۱/۰۰	۱۰/۰۳	۹۸/۱	۶۳/۵	۴۰	۳۵	سناریو ۳
۰/۱۵	۰/۱۷	۲۶/۱۰	۱۱/۰۶	۹۵	۹۸/۱	۲۵	۳۵	سناریو ۴

## ۵- نتیجه‌گیری

هریک از اعضای زنجیره تأمین افزایش یابد و یا سیستم گردش اطلاعات یکپارچه را در طول شبکه زنجیره تأمین نهادینه نمود، تا سیستم با کمبود مواجه نشود. این امر منجر به بهبود در هزینه‌های سیستم می‌گردد و همچنین از منسوخ‌شدن تقاضای برآورده‌نشده در انبارهای هر یک از اعضای زنجیره جلوگیری می‌نماید. همچنین می‌توان متغیر قیمت زنجیره و یا قیمت زنجیره‌های دیگر که در میزان تقاضای مشتری موثر است را به عنوان تحقیقات آتی در نظر گرفت.

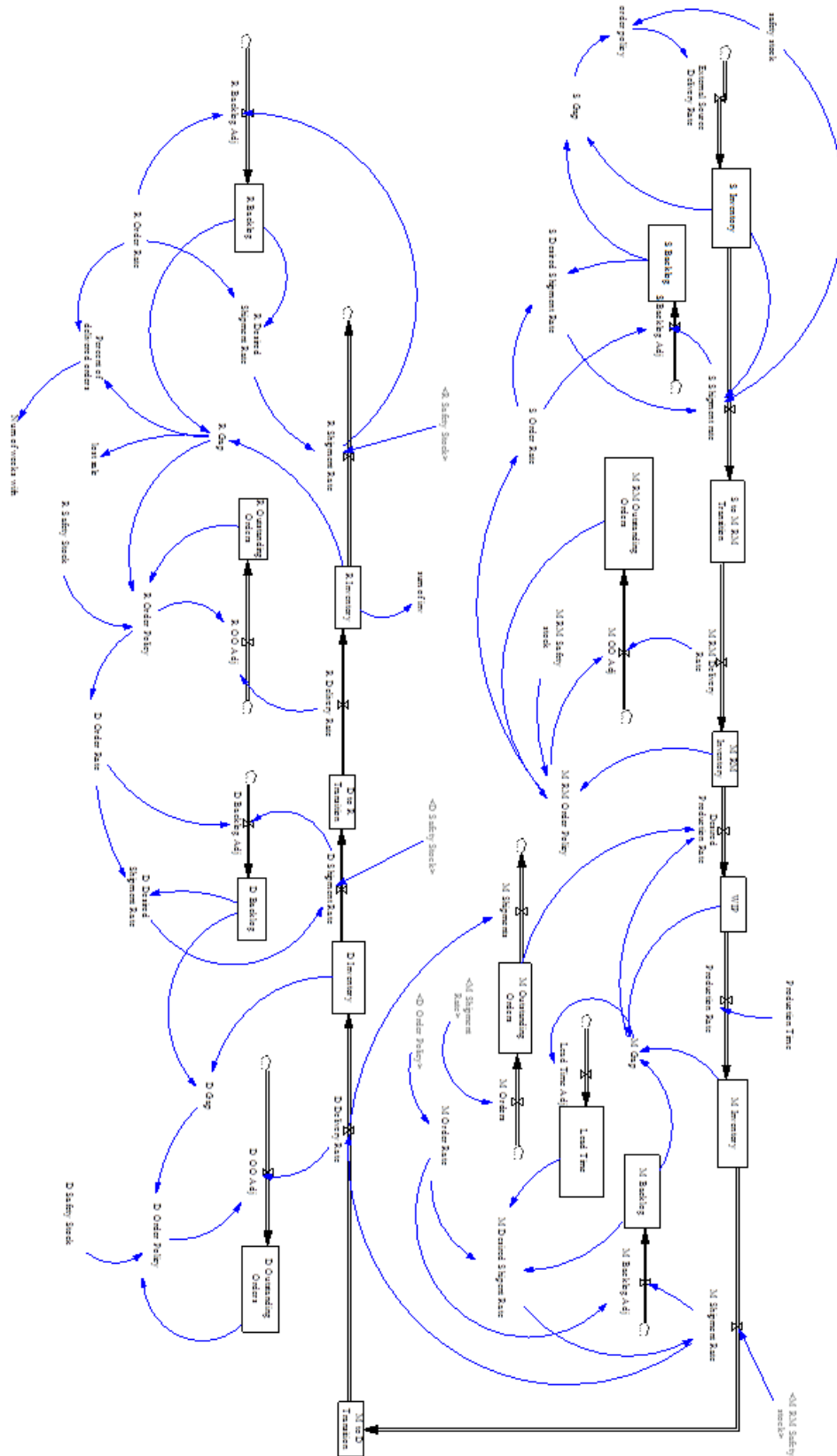
شبکه زنجیره تأمین با استفاده از سیستم‌های پویا مدل‌سازی شده‌است. رویکرد سیستم‌های پویا ساختارهای پیچیده مانند شبکه‌های زنجیره تأمین و روابط پارامترهای کلیدی سیستم را مدل‌سازی می‌نماید. مدل‌سازی کارآمد این وابستگی‌ها و روابط متقابل امری ضروری است و درک کامل از پویایی سیستم و رفتار آن گامی مهم در جهت بهینه‌سازی عملکرد آن است. مدل ارائه‌شده در ابتدا به نمایندگی از رفتار سیستم، تحت شرایط عادی ساخته شده است. عملکرد سیستم با توجه به تعدادی از معیارهای کلیدی عملکرد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. چهار سناریو با توجه به جنبه‌های مختلف زنجیره تأمین طراحی گردیده و معیارهای عملکردی سیستم اندازه‌گیری شده در انتها با مدل پایه مقایسه گردیده‌است.

تمامی سناریوها تأثیر تغییرات تقاضا (به‌علت اهمیت آن) و مدت زمان تولید و تحویل محصول را بر روی عملکرد شبکه مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر آن هستند که با افزایش میزان تقاضا و انحراف‌معیار تقاضا، میزان موجودی کلیه اعضای زنجیره تأمین به‌علت حفظ رضایت‌مندی مشتری افزایش می‌یابد. همچنین اثر افزایش تقاضا و تغییرات آن بر روی اعضای بالادستی زنجیره تأمین بیشتر است. با کاهش میزان تقاضا و تغییرات آن میزان موجودی انبار با حفظ رضایت‌مندی مشتری کاهش می‌یابد که منجر به هزینه کمتر نگهداری می‌گردد، به‌طوریکه کل تقاضای مشتری نیز پاسخ داده می‌شود و کمبودی وجود ندارد. تأثیر سیستم گردش اطلاعات یکپارچه در سناریوی سوم و چهارم مورد بررسی قرار گرفتند که مشخص گردید با حفظ رضایت‌مندی مشتری در سطح حداقل ۹۵٪ می‌توان میزان ذخیره اطمینان برای هر یک از اعضای زنجیره را کاهش داد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورت افزایش تقاضا و پراکندگی تقاضا می‌بایستی میزان موجودی اطمینان برای

پیوست

شکل پیوست: مدل کلی که در بخش سوم به آن اشاره شد در ادامه قابل مشاهده است.



## مراجع

- [1] Vanteddu, G., Chinnam, R.B., Gushikin, O. (2011), "Supply chain focus dependent supplier selection problem". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 129, pp. 204-216.
- [2] Towill, D.R. (1996), "Industrial dynamics modeling of supply chains". *Logis. Info. Manage.* Vol. 9, pp. 43-56.
- [3] White, A.S. (2011), "A control system project development model derived from system dynamics". *Intl. J. Project Manage.* Vol. 29, pp. 696-705.
- [4] Beamon, B.M. (1998), "Supply chain design and analysis: Models and methods". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 55, pp. 281-294.
- [5] Banerjee, S., Banerjee, A., Burton, J., Bistline, W. (2001), "Controlled partial shipment in two-echelon supply chain networks: A simulation study". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 71, pp. 91-100.
- [6] Burgess, R. (1998), "Avoiding supply chain management failure: Lessons from business process reengineering". *Intl. J. Logis. Manage.* Vol. 9, pp. 15-23.
- [7] Disney, S.M., Towill, D.R. (2003), "Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain". *Intl. J. Oper. Produc. Manage.*, Vol. 23, pp. 625-651.
- [8] Chen, F., Ryan, J.K., Simchi-Levi, D. (2000), "Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead-times and information". *Manage. Sci.*, Vol. 46, pp. 436-443.
- [9] Moinszadeh, K. (2002), "A multi-echelon inventory system with information exchange". *Manage. Sci.*, Vol. 48, No. 3, pp. 414-426.
- [10] Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R., Towill, D.R. (2004), "The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective". *Europ. J. Oper. Res.*, Vol. 153, No. 3, pp. 727-750.
- [11] Ganeshan, R., Boone, T., Stenger, A.J. (2001), "The impact of inventory and flow planning parameters on supply chain performance: An exploratory study". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 71, pp. 111-118.
- [12] Persson, F., Olhager, J. (2002), "Performance simulation of supply chain designs". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 77, pp. 231-245.
- [13] Zimmer, K. (2002), "Supply chain coordination with uncertain just-in-time delivery". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 77, pp. 1-15.
- [14] Beamon, B.M. (1999), "Measuring supply chain performance". *Intl. J. Oper. Produc. Manage.*, Vol. 19, pp. 275-292.
- [15] Chan, F.T.S., Tang, N.K.H., Lau, H.C.W., Ip, R.W.L. (2001), "A simulation approach in supply chain management". *Integ. Manufac. Sys.* Vol. 13, pp. 117-122.
- [16] Min, H., Zhou, G. (2002), "Supply chain modeling: Past, present and future". *Comput. Indus. Eng.*, Vol. 43, pp. 231-249.
- [17] Gunasekaran, A.C., Patel, C., Tirtiroglu, E. (2001), "Performance measures and metrics in a supply chain environment". *Intl. J. Oper. Produc. Manage.*, Vol. 21, pp. 71-87.
- [18] Minegishi, S., Thiel, D. (2000), "System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain". *Simul. Prac. Theory*, Vol. 8, pp. 321-339.
- [19] Lee, Y.H., Cho, M.K., Kim, S.J., Kim, Y.B. (2002), "Supply chain simulation with discrete-continuous combined modeling". *Comput. Indus. Eng.*, Vol. 43, pp. 375-392.
- [20] Fan, C.Y., Fan, P.S., Chang, P.C. (2010), "A system dynamics modeling approach for a military weapon maintenance supply system". *Intl. J. Produc. Econ.*, Vol. 128, pp. 457-469.
- [21] Pierreval, H., Bruniaux, R., Caux, C. (2007), "A continuous simulation approach for supply chains in the automotive industry". *Simul. Modell. Prac. Theory*, Vol. 15, pp. 185-198.
- [22] Lin, K.P., Chang, P.T., Hung, K.C., Pai, P.F. (2010), "A simulation of vendor managed inventory dynamics using fuzzy arithmetic operations with genetic algorithm". *Expert Sys. Appl.*, Vol. 37, pp. 2571-2579.

- [23] Monch, L., Lendermann, P., McGinnis, L.F., Schirrmann, A. (2011), "A survey of challenges in modeling and decision-making for discrete event logistics systems". *Comput. Indus.*, Vol. 62, pp. 557-567.
- [24] Yu, M.M., Ting, S.C., Chen, M.C. (2010), "Evaluating the cross efficiency of information sharing in supply chains". *Expert Sys. Appl.*, Vol. 37, pp. 2891-2897.
- [25] Kocoglu, I., Imamoglu, S.Z., Ince, H., Keskin, H. (2011), "The effect of supply chain integration on information sharing: Enhancing the supply chain performance". *Procedia-Soc. Behav. Sci.*, Vol. 24, pp. 1630-1649.
- [26] Xue, X., Shen, Q., Tan, Y., Zhang, Y., Fan, H. (2011), "Comparing the value of information sharing under different inventory policies in construction supply chain". *Intl. J. Project Manage.*, Vol. 29, pp. 867-876.
- [27] Ozbayrak, M., Papadopoulou, T.C., Akgun, M. (2007), "Systems dynamics modeling of manufacturing supply chain system". *Simul. Model. Prac. Theory*, Vol. 15, pp. 1338-1355.
- [28] Gunasekaran, A. (2004), "Supply chain management: theory and applications". *Europ. J. Oper. Res.*, Vol. 159, pp. 265-268.

## IMPACT OF INFORMATION SYSTEM FLOW ON MAKE-TO-ORDER MANUFACTURER SUPPLY CHAIN NETWORK: SYSTEMS DYNAMICS APPROACH

E. Mahmoodi<sup>1</sup>, A. Naimi Sadigh<sup>2</sup>, S. K. Chaharsooghi<sup>3,\*</sup>, H Eskandari<sup>4</sup>

1. MSc Student of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University
2. PhD Student of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University
3. Associated Professor of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University
4. Assistant Professor of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University

\*Corresponding Author: skch@modares.ac.ir

---

### ARTICLE INFO

Keywords:  
Supply chain,  
Systems dynamics,  
Make to order,  
Integrated  
information system  
flow.

### ABSTRACT

Supply chain consists of multifaceted structure which focuses integration of all processes such as sourcing, manufacturing, and on-time distribution of end products to customers. Growing interest in supply chain systems has led to the need to adopt proper approach which can manage complexity, and broadness of supply chain. The operations of supply chain are a function of many variables having strong interrelationships. Main objective of supply chain is optimization of performance of whole supply chain subjected to dynamic behavior. In this paper we model a framework to simulate supply chain operations with moderate complexity. This model has four echelons around a central make-to-order manufacturer with systems dynamics approach. The objective of this paper is to model the operation of the supply chain network and obtain a true reflection of its behavior with integrating information system flow. Furthermore, performance measures including inventory, safety stock, backlog, and customer satisfaction level are evaluated in primary condition and under four scenarios of four echelon of supply chain. Results of system's behavior are obtained through simulation of primary condition and each scenario during one year.

---