

«مدیریت بهره‌وری»

سال سیزدهم - شماره پنجاه - پاییز 1398

ص ص: 205 - 234

تاریخ دریافت: 96/07/20

تاریخ پذیرش: 97/02/29

نوع مقاله: پژوهشی

## تحلیل زنجیره تامین با استفاده از رویکرد تئوری صف

دکتر مرتضی شفیعی<sup>1\*</sup>  
مهسا رفعت‌ماه<sup>2</sup>

### چکیده

مسأله مهم کوتاهترین مسیر در شبکه زنجیره تامین، فرستادن یک سفارش، از مبدأ به مقصد، در یک شبکه که بدون ساختار کامل و دائمی است، می باشد. در این مقاله برای پیدا کردن کوتاهترین مسیر از معیارهای تئوری صف استفاده شده است. ابتدا زنجیره تامین و شبکه صف به طور خیلی خلاصه معرفی شدند و سپس یک زنجیره تامین مربوط به شرکت بالان صنعت که دارای سه مرحله و دو ورودی برای انجام سفارش ها می باشد نشان داده شده است. هر ورودی توسط دو متغیر تصادفی نشان داده می شود، یکی برای زمان رویداد و دیگری برای مقدار اقلامی که در هر سفارش باید تحویل داده شود و در ادامه از طریق رویکرد شبکه صف معیارهای سنجش عملکرد و بهره‌وری استخراج گردید. هدف این مقاله محاسبه کمترین زمان پاسخ گویی برای تحویل اقلام در طول سه مرحله شبکه است. میانگین تعداد اقلامی که با این کمترین زمان پاسخ گویی تحویل داده می شوند، مطلوب ترین ظرفیت شبکه است. بعد از سرویس‌دهی به‌وسیله آخرین گره در هر مرحله از شبکه صف، تصمیمی برای مسیر کالاها به گره مناسب در مرحله بعد که می تواند کمترین زمان پاسخ را تولید کند، گرفته می شود.

**واژه های کلیدی:** میانگین طول صف، میانگین زمان پاسخ گویی، میانگین زمان انتظار،

بهره‌وری، زنجیره تامین

1-دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (نویسنده مسؤول) shafiee @ iaushiraz.ac.ir

2-دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

## مقدمه

در طول دو دهه اخیر، مدیران شاهد یک دوره تغییرات شگرف جهانی به واسطه پیشرفت در تکنولوژی، جهانی شدن بازارها و اوضاع جدید اقتصادی سیاسی بوده‌اند. با افزایش تعداد رقبا در کلاس جهانی، سازمان‌ها مجبور شدند که سریعاً فرآیندهای درون سازمانی را برای باقی ماندن در صحنه رقابت جهانی بهبود بخشند. (مونزکا و هندفیلد<sup>1</sup>، 1998). در دهه 1990 به موازات بهبود در توانمندی‌های تولید، مدیران صنایع درک کردند که مواد و خدمات دریافتی از تأمین‌کنندگان مختلف تأثیر بسزایی در افزایش توانمندیهای سازمان به منظور برخورد با نیازمندی‌های مشتریان دارد؛ که این امر به نوبه خود، تأثیر مضاعفی در تمرکز سازمان و پایگاههای تأمین و استراتژی‌های منبع‌یابی برجا نهاد. همچنین مدیران دریافتند که صرفاً تولید یک محصول با کیفیت مناسب، کافی نیست. در واقع تأمین محصولات با معیارهای موردنظر مشتری و با کیفیت و هزینه مورد نظر آنها، چالش‌های جدید مدیریت سازمان‌های امروزی به وجود آورد. (وال و وال<sup>2</sup>، 2005). با چنین نگرشی رویکردهای "زنجیره‌تأمین" و "مدیریت زنجیره‌تأمین" پای به عرصه وجود نهاد.

زنجیره تأمین را می‌توان به‌صورت شبکه‌ای از سازمان‌های مرتبط و به هم وابسته تعریف نمود، که به‌طور متقابل و با تشریح مساعی برای کنترل، مدیریت و بهبود جریان‌ات مواد و اطلاعات از تأمین‌کنندگان به استفاده‌کنندگان نهایی با یکدیگر کار می‌کنند (آیتکن<sup>3</sup>، 1998، 110). طرز عمل سفارش‌ها در زنجیره تأمین یک مسأله مهم تلقی می‌شود که تمرکز اصلی این مقاله می‌باشد. عمل سفارش‌دهی در طی زنجیره تأمین دارای فرایندها و فعالیت‌های متعددی می‌باشد، که در آن فعالیت‌ها، نشان‌دهنده کارآمدی سیستم هستند و می‌توانند زمان‌بندی شوند و برای انجام به‌زمان و منابع نیاز دارند. همچنین فرآیند، نشان‌دهنده عملکرد سیستم است که موجب توالی منطقی فعالیت‌ها برای تحقق بخشیدن به یک هدف از پیش تعریف شده می‌شوند (هسکت<sup>4</sup>، 1977، 96-87). یک فرآیند متشکل از فعالیت‌هایی است که جهت محقق شدن نیازمند منابع می‌باشند. در فرآیند سفارش‌دهی، سفارش‌ها طی فعالیت‌های متوالی که نشان‌دهنده مراحل مورد نیاز در یک فرآیند معین

---

1-Monczka and Handfield

2-Wall and Wall

3-Aitken

4-Heskett

هستند، انجام می‌گیرند که در این عمل، فرایند باید با صرف منابع مشخص انجام شده و از جایگاه‌های متفاوتی بسته به نوع سفارش بگذرد (کوکشاروف<sup>1</sup>، 2016). باید توجه داشت که سفارش با توجه به نوع آن از مسیرهای متفاوتی می‌گذرد؛ عمل سفارش‌دهی در طی مراحل مختلف می‌تواند حالت احتمالی داشته باشد. زمانی که عمل سفارش‌دهی انجام شد، ارزیابی آن توسط مقایسه میان هدف و نتیجه صورت می‌گیرد.

همان‌طور که اشاره شد، عدم هماهنگی نتیجه و هدف باعث افزایش هزینه‌ها، از دست دادن مشتری و بازار می‌شود. این مورد یکی از چالش‌های اصلی در زنجیره تأمین می‌باشد. این مقاله در پی حل این مشکل یا پاسخ‌گویی به این چالش اساسی است. به واسطه اینکه عمل سفارش‌دهی و رسیدن سفارش‌ها به مقصد نهایی، بصورت صفی از سفارش‌ها در جریان است، در این مقاله از رویکرد صف برای حل مشکل مذکور استفاده می‌شود. زیرا مدل‌های صف بمنظور کمینه ساختن هزینه‌ی فعالیت، تعیین تعداد بهینه خدمت‌دهنده به کار برده می‌شوند. رویکرد تئوری صف، نرخ متوسط ورود سفارش‌ها، نرخ متوسط خدمات مشتری، هزینه زمان انتظار سفارش (عدم رضایت مشتری) را در نظر می‌گیرد. همچنین علت دیگر استفاده از رویکرد صف در تحلیل زنجیره تأمین این است که مدل‌های صف برای کسب اطلاعات در رابطه با معیارهای سنجش عملکرد، نظیر طول صف، زمان‌های پاسخ‌گویی و زمان‌های انتظار و سایر معیارهای سنجش عملکرد مانند (الف) احتمال اینکه تأخیر روی خواهد داد، (ب) احتمال اینکه تأخیر کل بیشتر از یک مقدار از پیش تعیین شده می‌باشد، (ج) احتمال اینکه تمامی تسهیلات خدماتی بیکار بماند و (د) زمان تلف شده مورد انتظار کل تسهیلات، مورد استفاده قرار می‌گیرند (هیلر<sup>2</sup> و همکاران، 2005، 1163-1172). در حقیقت چالش مطرح شده در این مقاله، ارائه شبکه‌ای فیزیکی از منابع با استفاده از یک مدل صف می‌باشد. هر منبع بعنوان یک خدمت‌دهنده مدل سازی می‌شود و فعالیت‌های انتظار در یک صف قرار دارند. یک فعالیت به طور دقیق‌تر، یک شیء منطقی است که دارای خصوصیتی نظیر فرایند ارجاع (شماره سفارش) و مقدار تولید می‌باشد. در سراسر این مقاله فرض شده است که یک فرایند متناظر با هر سفارش می‌باشد.

در طول چند دهه اخیر، مدیران شاهد یک دوره تغییرات شگرف جهانی به واسطه پیشرفت در تکنولوژی، جهانی شدن بازارها و تثبیت اقتصاد سیاسی بوده‌اند. با افزایش تعداد

---

1. Vladislav Koksharov

2. Hillier

رقبا در کلاس جهانی، سازمان ها مجبور شدند که سریعاً فرایندهای درون سازمانی را برای باقی ماندن در صحنه رقابت بهبود بخشند. در دهه 1980 شرکت ها به دنبال تکنیک ها و راهبردهایی بودند که با استفاده از آنها بتوانند هزینه های تولیدی خود را کاهش داده و در بازارهای مختلف رقابت کنند. بعضی از این تکنیک ها عبارت بودند از: سیستم "تولید به هنگام"، سیستم کانبان، تولید ناب، مدیریت کیفیت جامع و غیره. شرکت ها توانستند با استفاده از این تکنیک ها هزینه های تولید خود را در حد ممکن کاهش دهند. ولی شرکت های رقیب نیز با استفاده از همین تکنیک ها، هزینه های تولید خود را در حد ممکن کاهش دادند. پس برای کاهش هزینه ها و ماندن در بازار رقابتی باید سایر فرصت های بالقوه برای کاهش هزینه ها پیدا کرد. یکی از این گزینه ها که فرصت های بالقوه زیادی برای کاهش هزینه در آن وجود دارد، زنجیره تامین است. یک زنجیره تامین شامل همه مراحل (اعضای زنجیره) است که چه مستقیم و چه غیر مستقیم، در برآورده سازی درخواست یک مشتری نقش دارند (تیموری و همکاران، 1388). مدیریت زنجیره تامین یکپارچگی فرایندهای کلیدی کسب و کار از کاربر نهائی تا تأمین کنندگان اصلی را شامل می شود که محصولات، خدمات و اطلاعات را همراه با ارزش افزوده برای مشتریان و دیگر ذینفعان فراهم می آورد (لامبرت<sup>1</sup> و همکاران، 2000).

زنجیره تامین سیستمی است که اعضای بالادستی شامل تولیدکننده های مواد خام و تولیدکننده ها از طریق جریان مواد و اطلاعات با اعضای پایین دستی زنجیره تامین، یعنی توزیع کننده ها و عوامل خرده فروشی و در نهایت مصرف کننده ارتباط برقرار می کنند (تیندال<sup>2</sup>، 2000). اهمیت مدیریت زنجیره تامین در تعریف زنجیره تامین نهفته است. استدلال زنجیره تامین را این چنین تعریف می کند: زنجیره تامین مجموعه سازمان هایی هستند که به سازمان های بالادست و پایین دست تقسیم شده اند و با یک محصول یا خدمت و از راه انجام فعالیت ها و فرایندهای مختلف در پی ایجاد ارزش برای مشتری نهایی هستند (حسینی و همکاران، 1389). زنجیره تامین یک محصول می تواند خیلی کوچک باشد، اما امروزه با توجه به افزایش ظرفیت های تولید، تولید انبوه، انبارش های گسترده و کانال های مختلف تامین و توزیع محصولات، تعداد حلقه های زنجیره تامین به طور تصاعدی افزایش پیدا کرده است که در این شرایط مدیریت و در نتیجه یکپارچگی آن بسیار مهم می باشد. تیموری (1389) از

1.Lambert

2.Tyndall

وجود چندین عامل در موفقیت زنجیره تأمین نام می‌برد. وی اولین عامل را خواست و حمایت مدیریت ارشد از روند یکپارچگی سازمان با تأمین‌کنندگان و مشتریان برای ایجاد زنجیره تأمین می‌داند (تیموری و همکاران، 1388).

در این ساختار وظیفه مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت تمام شبکه، از تأمین‌کننده‌ها گرفته تا مشتری نهایی برای دستیابی به بهترین خروجی برای کل سیستم می‌باشد. صادقی مقدم (1388) در تعریفی، مدیریت زنجیره تأمین را یک مجموعه از روش‌هایی می‌داند که برای یکپارچه کردن مؤثر عرضه‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به کار می‌رود تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان و مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه‌های کل زنجیره حداقل شود و در ضمن نیاز مشتریان با سطح سرویس بالا برآورده شود (صادقی و همکاران، 1388). در چهارچوب زنجیره تأمین، یکپارچگی به عنوان میزانی که تمام فعالیت‌های یک سازمان و فعالیت‌های تأمین‌کنندگان، مشتریان و اعضای دیگر زنجیره تأمین که با هم به صورت مجتمع هستند، تعریف می‌شود (حسینی بهاران‌چی، 2009).

تجمع زنجیره تأمین یا به عبارت دیگر مفهوم یکپارچگی زنجیره تأمین به عنوان بستری برای هر نوع بهبود است، چنان‌که بدون اجرای مفهوم یکپارچگی، عملکرد هیچ زنجیره تأمینی قابلیت ارزیابی را نخواهد داشت. یکپارچگی زنجیره تأمین اشاره به پذیرش، استفاده از همکاری، هماهنگی ساختارها، فرایندها، فناوری و شیوه ایجاد و حفظ یک مجرای بدون درز برای جریان دقیق و به موقع اطلاعات و مواد و کالا در طول زنجیره تأمین دارد (شفیعی و همکاران، 1388).

یکپارچگی زنجیره تأمین منجر به بهبود قابل توجهی در کاهش هزینه‌ها، کیفیت تحویل و چرخه زمانی کوتاه‌تری می‌شود (کاسینز<sup>1</sup> و همکاران، 2005). به همین دلیل است که مدیران برای دستیابی به یکپارچگی زنجیره تأمین باید اطمینان حاصل کنند که تمام گروه‌های عملیاتی در سازمان به صورت یکپارچه و مجتمع در حال فعالیت‌اند (شفیعی و همکاران، 1388).

به اعتقاد لامبرت و کوپر (2000)، چارچوب مفهومی زنجیره تأمین شامل سه عنصر می‌باشد که ارتباط نزدیکی بین آنها برقرار است: ساختار زنجیره تأمین (شبکه‌ای از شرکت‌ها)،

فرایندهای کسب و کار زنجیره تأمین و اجزای زنجیره تأمین. ساختار شبکه زنجیره تأمین، متشکل از تمام شرکت هایی است که در زنجیره تولید، خدمات از مواد خام گرفته تا مصرف کننده نهائی، و روابط میان آنها (که به وسیله آنها فعالیت های تجاری یا فرایندهای کسب و کار انجام می شود) مشارکت دارند. طبق نظر لامبرت و همکاران این ساختار از یک شرکت مرکزی (شرکت کنترل کننده) و چندین شرکت مرتبط (تأمین کنندگان و مشتریان) تشکیل شده است. ابعادی که باید در نظر گرفته شود، شامل طول زنجیره تأمین و تعداد تأمین کنندگان و مشتریان در هر سطح می باشد (لامبرت و همکاران، 2000). نکته قابل توجه اینکه، زنجیره تأمین به شکل زنجیره پدید نمی آید، بلکه بیشتر شبیه شاخه های درختی است که ریشه ها و شاخه های آن نماد یک شبکه اند (کوپر<sup>1</sup> و همکاران، 1997). فرایندهای کسب و کار، فعالیت هایی هستند که خروجی ویژه ای با ارزش افزوده را برای مشتری به وجود می آورند.

از طرف دیگر، در صحنه تحولات اقتصادی و در دنیای پرقابیت کنونی به دلیل وجود تعداد زیادی از تأمین کنندگان رقابت فشرده بین آنها از یک طرف و افزایش انتظارات مصرف کنندگان مبنی بر ارائه کیفیت بالاتر و خدمت رسانی سریعتر، فشارهایی بر روی تولیدکنندگان وارد آمد، که قبلاً وجود نداشت. در این شرایط شرکت ها به این نتیجه رسیدند که به تنهایی نمی توانند از عهده همه امور برآیند و علاوه بر توجه به امور و منابع داخلی، نیاز به مدیریت منابع مرتبط با خارج از شرکت، جهت دستیابی به مزایای رقابتی، با هدف کسب سهم بیشتر بازار دارند. بر این اساس مدیریت زنجیره تأمین شکل گرفت و فعالیت هایی مانند تهیه مواد، برنامه ریزی محصول و تولید و انبارداری و کنترل موجودی، توزیع و تحویل و خدمت به مشتری، که قبلاً همگی در سطح شرکت انجام می شد، به سطح زنجیره تأمین انتقال یافت. مدیریت زنجیره تأمین از شاخه های نوظهور مدیریت است و روز به روز در حال تکامل و پیشرفت بوده و دنبال راهکارهایی برای کاهش هرچه بیشتر سیکل تولید محصول، کاهش هزینه و زمان و ارائه خدمات مطلوب تا رسیدن به دست مشتری جهت دستیابی به مزایای رقابتی و انتقال این مزایا به مشتریان است (مسلمی، 1390).

به باور هندفیلد<sup>2</sup> و نیکلس<sup>1</sup> زنجیره تأمین شامل همه فعالیت های مرتبط با جریان و انتقال کالاها از مرحله مواد خام به مصرف کننده نهایی و جریان های اطلاعاتی و مالی مرتبط

1.Cooper  
2.Handfield

با آن است و مدیریت زنجیره‌تأمین یعنی یکپارچه‌سازی این فعالیت‌ها از طریق بهبود روابط زنجیره‌تأمین برای رسیدن به یک مزیت رقابتی پایدار (هندفیلد و همکاران، 1999).

برخورداری از زنجیره‌تأمین کارا و پاسخگو برای رقابت در بازار امروز یک فاکتور کلیدی است.

برای اندازه‌گیری و تحلیل عملکرد زنجیره‌تأمین به دلیل نیاز به سر و کار داشتن با چندین اندازه عملکرد، که مربوط به هر یک از اعضای زنجیره‌تأمین می‌باشد، و ادغام و هماهنگ کردن عملکرد این اعضا، دشوار و چالش‌انگیز می‌شود. دو مانع در اندازه‌گیری عملکرد زنجیره‌های ارزش وجود دارد. یک، وجود چند اندازه عامل‌هایی که مشخص‌کننده عملکرد هر عضو در یک زنجیره‌تأمین می‌باشد، و دیگری، وجود تضاد میان اعضای زنجیره نسبت به مقادیر عملکرد مشخص (ژو<sup>2</sup> و همکاران، 2014).

در زمینه مدیریت زنجیره‌تأمین همچنین می‌توان گفت: مدیریت کارآمد زنجیره‌تأمین به یک شرکت امکان می‌دهد تا تولید و انتقال محصولات در کل کانال تولید و توزیع را از تأمین مواد اولیه و قطعات گرفته تا قرار دادن محصول تمام شده در دستان مشتری هماهنگ سازد. مدیریت زنجیره‌تأمین بر تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحله ماده خام (استخراج) تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آنها مشتمل می‌شود. به طور کلی، زنجیره‌تأمین زنجیره‌ای است که همه فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله تهیه ماده اولیه تا مرحله تحویل کالای نهایی به مصرف‌کننده را شامل می‌شود. (لادن<sup>3</sup> و همکاران، 2015)

دامنه دید مدیریت زنجیره‌تأمین فراتر از یک سازمان بوده و همه چیز را که در تولید و ارسال یک محصول یا خدمت دخالت دارد، در نظر گرفته و همه آنها را به‌گونه‌ای به هم متصل می‌کند که به صورت یک تیم کارآمد عمل کند. یعنی اینکه، مشتریان، تأمین‌کنندگان و شرکت‌های حمل و نقل و حتی در این اواخر رقبای تجاری با هم متحد شده و یک شبکه تشکیل می‌دهند تا از وقت و منابع به کار گرفته شده بهترین استفاده ممکن شود.

برخورداری از زنجیره‌تأمین کارا و پاسخگو برای رقابت در بازار امروز یک فاکتور کلیدی است. به طور سنتی، سازمان‌ها بر کاهش هزینه تولید به واسطه تولید انبوه تمرکز

---

1.Nichols

2.Zhu

3.Laydon

دارند. تا سال 1980، رهبری هزینه در تولید، از اولویت‌های مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران در یک سیستم صنعتی نبود. در دهه 90، زمان خروجی (زمان خدمت‌دهی) به عنوان یک عامل استراتژیک بین رقبا مطرح شد، که نتیجه این تغییر تمرکز، شناسایی راه‌ها برای کاهش زمان رهبری تولید بود (مانیش و همکاران<sup>1</sup>، 199، 214). تجزیه و تحلیل زمان مصرف شده در سیستم تولیدی به طور طبیعی باعث افزایش علاقه به علم پویای شبکه‌های صف شد. متأسفانه استفاده از مدل صف در صنعت محدود شده است اما به سرعت در حال رشد است. کاربرد تحلیلی صف در صنعت بر مبنای تئوری شبکه صف می‌باشد، که شروع آن از سال 1950 بوده است. و در طی 20 سال بواسطه پیشرفت در ارتباطات کامپیوتری بیشترین پیشرفت و کاربرد را در جوامع داشت. در سال 1970 محققان به کاربرد یک کلاس از سیستم‌های خودکار که سیستم‌های صنعتی انعطاف‌پذیر نامیده می‌شد، پی‌بردند. آنها اثبات کردند که مزیت‌های تحلیلی صف بیشتر از دیگر مدل‌هاست، اما استفاده از مدل‌های صف در صنعت محدود باقی ماند. در سال 1980، راه حل‌های جدیدی برای مدل‌ها، بر مبنای روش‌های "تجزیه گره" ارائه شد. این تغییر در استراتژی‌های تولیدی و صنعتی از کاهش هزینه به کاهش زمان رهبری، کاربرد مدل‌های صف را افزایش داد. این تئوری قابلیت تجزیه و تحلیل در بیشتر سیستم‌های عمومی را دارد. لازم بذکر است که تجزیه و تحلیل زمان انتظار، مرکز کاهش زمان رهبری را تشکیل می‌داد. مدل‌های صف اکنون به وسیله بسیاری از تحلیلگران صنعتی، مدیران و مریبان مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارتباط نزدیک بین محققان و کاربران صنعتی، در رشد و استفاده از این مدل، مهم و حیاتی به شمار می‌آید. تاکید بر چنین ارتباطی، همراه با ارتباطات بهتر سیستم‌های عملیاتی، تداوم رشد کاربردهای صنعتی مدل‌های صف را تضمین می‌کند (مانیش و همکاران، 199، 216).

هنر تئوری صف در این است که ابتدا یک مدل ساده بسازد و سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل‌ها ریاضی نتایج به دست آمده با نتایج واقعی را مقایسه کند و با افزودن جزئیات لازم به مدل، مدل ساخته شده را با سیستم واقعی هماهنگ کند. در واقع، صف یک خط انتظار است، مانند انتظار مشتریان پشت کانترهای سوپرمارکت. تئوری صف یک تئوری ریاضی برای خطوط انتظار می‌باشد. به طور کلی تئوری صف به دنبال استفاده از مدل‌سازی ریاضی و تجزیه و تحلیل سیستمی است که بتواند به نحو مطلوب به تقاضاهای تصادفی



خدمت‌رسانی کند. یک تئوری صف به طور کلی بیانگر دو مطلب است: (1) موقعیت فیزیکی سیستم، از طریق مشخص کردن تعداد و آرایش خدمت‌دهندگان که به مشتریان سرویس می‌دهند و (2) ماهیت تقاضا، که می‌توان از طریق متغیر گرفتن فرایند ورود به سیستم و همچنین نحوه سرویس‌دهی به مشتریان، آنرا مشخص کرد (داد و همکاران، 1387، 24).

یکی از کاربردهای تئوری صف در مدل‌سازی شبکه زنجیره تأمین، تخمین زمان پاسخ‌گویی در این شبکه است که از طریق پیدا کردن کوتاهترین مسیر بتوان به این مهم دست پیدا کرد (بهاسکار<sup>1</sup>، 2010). مسأله کوتاهترین مسیر در شبکه زنجیره تأمین دینامیکی که در این مقاله لحاظ گردیده، مسأله مربوط به فرستادن یک سفارش از یک گره مبدأ به یک گره مقصد با حداقل تأخیر در یک شبکه است. این شبکه دارای ساختار کامل و همیشگی نبوده و در معرض تغییرات گوناگونی مانند حجم ترافیک و ... می‌باشد. مسیر مطلوبی که گره‌های مبدأ و مقصد را از طریق چندین گره میانی به هم متصل می‌کند، کوتاهترین مسیر نامیده می‌شود. زیرا کوتاه‌ترین زمان پاسخ‌گویی را ارائه می‌دهد. وقتی کوتاهترین مسیر شناخته شد، باید مواظب باشیم که بفهمیم سفارش‌ها آمده در این مسیر ذخیره نشوند، زیرا بدین وسیله باعث به وجود آمدن تراکم در کوتاهترین جریان مسیر می‌شوند. بنابراین صلاح است که میزان خدمات را افزایش دهیم یا خدمت‌سروورها را بر روی تمام جریان‌های مسیره‌های طولانی، کاهش دهیم. بدین وسیله سفارش‌ها آمده را برای متعادل کردن بار (ترافیک به دست آمده)، توزیع مجدد کنیم (بهاسکار، 2010).

میری نژاد و همکاران، در مقاله‌ای با عنوان "کاربرد سیستم‌های صف و شبکه‌های پتری در مدل‌سازی زنجیره تأمین" سعی بر مدل‌سازی زنجیره تأمین با استفاده از شبکه‌های پتری بدلیل فهم ساده دارند. در این مقاله ابتدا فرایندهای مارکوف و مدل‌های صف به طور خیلی خلاصه معرفی می‌گردند، به نمونه‌های کاربرد سیستم‌های صف در مدل‌سازی زنجیره تأمین اشاره می‌شود، شبکه‌های پتری و چند نوع از آن معرفی می‌شوند، مثال‌هایی از کاربرد شبکه‌های پتری در مدل‌سازی زنجیره تأمین و در آخر تبدیل شبکه پتری به زنجیره مارکوف ذکر می‌شوند. این محققان در پژوهش خود به مدل‌سازی رویدادها در زنجیره تأمین با استفاده از شبکه‌های پتری رنگی می‌پردازند. آنها رویدادها را نتایج فعالیت‌های زنجیره تأمین معرفی می‌کنند و در این رابطه هفت مدل از به وجود آمدن رویدادها را ارائه می‌کنند

و در نهایت به این نتیجه می‌رسند که می‌توان اثر تغییرات پیشنهاد شده در زنجیره‌های تأمین را به وسیله اضافه کردن رویدادهای جدید یا قوانین رویداد شبیه‌سازی کرد و از آنجا که زنجیره‌های تأمین بیشتر از طریق شرکاء یکپارچه شده‌اند، به رویدادها بلادرنگ پاسخ داده می‌شود. همچنین براین اعتقادند که شبکه‌های پتری دارای مزیت سادگی هستند و همین ویژگی باعث توفیق این روش مدل سازی شده است. آنها استفاده از شبکه‌های پتری در مدل سازی عدم قطعیت را مناسب می‌دانند و عنوان می‌کنند که این روش در رویدادهای زنجیره‌تأمین و برنامه‌ریزی تولید و سایر جنبه‌های تولید کاربرد فراوانی می‌تواند داشته باشد (میری‌نژاد و همکاران، 1389).

سلیمانی و همکاران، در مقاله ای تحت عنوان "مدل سازی زنجیره تأمین گاز طبیعی با سیستم داینامیک" سعی کرده اند با استفاده از سیستم داینامیک، زنجیره تأمین گاز طبیعی در سطوح تأمین (اکتشاف) و مصرف گاز طبیعی، مدل سازی و شبیه سازی شود. به کارگیری سیستم داینامیک به آنها کمک کرده است که توجه خود را از نشانه‌های مسأله به علل ریشه‌ای آن معطوف کرده و مسأله را به جای آنکه تکه تکه و جزئی شناسایی و تعریف کنند، در کلیت مورد بررسی قرار دهند. در پژوهش مذکور نخست نمودار علت-معلولی سیستم ترسیم و سپس با استفاده از آن نمودار جریان مدل طراحی شده است. پس از شبیه سازی و اجرا، مدل با استفاده از داده‌های موجود اعتبار سنجی شده است و با توجه به تحلیل حساسیت انجام گرفته، راهکار بهتر در زنجیره تأمین گاز طبیعی که تخلیه میادین را کاهش و حجم ذخائر قابل استحصال کشور را افزایش می‌دهد، ارائه شد. این راهکار، کاهش مصرف است که می‌تواند از طریق اصلاح الگوی مصرف، افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات و گازهای سوزانده شده، ارتقای تکنولوژی، کاهش تزریق گاز به میادین نفتی از طریق افزایش تزریق آب به میادین نفتی باشد (سلیمانی و همکاران، 1390).

مصلح شیرازی و همکاران، در پژوهش خود با عنوان "مدل سازی زنجیره تأمین بنزین شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی با استفاده از پویایی شناسی سیستم" به استفاده از مدل پویایی سیستم می‌پردازند و چنین بیان می‌دارند که: مدیریت زنجیره تأمین بنزین نیازمند تصمیمات آینده نگر و طراحی ظرفیت‌های جدید با رویکردی جامع و به هم پیوسته است. یکی از ابزارهای مدیریتی براساس این نگرش، علم پویایی سیستم می‌باشد. این علم توانایی شبیه سازی زنجیره تأمین‌های مختلف را دارد، به کمک این شبیه سازی پیامدهای نامشخص تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده این روش شبیه‌سازی، تسریع و

تسهیل یادگیری رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده است. در این پژوهش مدل مربوط به زنجیره تأمین بنزین شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی استان فارس به وسیله پویایی‌شناسی سیستم برای شناخت و ارزیابی روند و عوامل اثرگذار بر آن، تهیه و توسعه داده شده است (مصلح شیرازی و همکاران، 1390).

ویزواندهام<sup>1</sup> و همکاران، در پژوهش خود با عنوان "مدل سازی عملکرد زنجیره تأمین به وسیله شبکه‌های صف" چنین بیان می‌دارند که شبکه‌های زنجیره تأمین از ترکیب عوامل موثر بر یکدیگر در میان کمپانیها تشکیل شده‌اند. که هدفشان تولید و تحویل محصولات به مشتریان در زمان و مکان به‌خصوص به وسیله آنها می‌باشد. محاسبه کل زمان رهبری برای ورود سفارشها به شبکه‌ای چنین پیچیده از کمپانی‌ها، یک تمرین مهم است. در این پژوهش آنها مدل‌های تجزیه و تحلیلی برای ارزیابی میانگین زمان رهبری زنجیره‌های تأمین را ارائه می‌دهند. به ویژه آنها چگونگی استفاده از مدل‌های صف پیوسته برای محاسبه میانگین و واریانس زمان رهبری را شرح داده‌اند. این محققان دو کاربرد از یک روش تقریبی آسان را برای محاسبه زمان رهبری در یک کلاس از سیستم‌های صف پیوسته ارائه داده‌اند. برای موردی که ورودی‌ها معین هستند و زمان خدمت به‌طور نرمال توزیع می‌شوند، آنها یک رویکرد تقریباً آسان را ارائه می‌دهند. مخصوصاً این محققان استفاده از روش فوق را در سطوح خدمت‌گذاری و در نوع سفارش‌ها مختلف زنجیره‌های تأمین، شرح می‌دهند (ویزواندهام و همکاران، 2001).

چانگ<sup>2</sup> و همکاران، در مقاله‌ای تحت عنوان "مدل سازی زنجیره تأمین با استفاده از شبیه سازی" به بررسی فرضیات مدیریت زنجیره تأمین و نیازها برای مدل سازی زنجیره تأمین می‌پردازد. به اعتقاد آنها، در بازار جهانی امروز مدیریت زنجیره تأمین به دنبال یک فاکتور کلیدی برای تجارت موفق می‌باشد. سازمان‌های جهانی با شناخت فرایندهای صنعتی غیر متداخل، فرایندهای توزیع غیر متداخل و فقدان ارتباطات با تأمین‌کنندگان و مشتریها برای موفقیت‌شان نیازمند یک برنامه‌ی سازمانی زنجیره تأمین می‌باشند. تأثیر برنامه سازمان در زنجیره تأمین قبل از اجرایشان غیرقابل پیش‌بینی است. شبیه سازی این اجازه را می‌دهد که ارزیابی عملکرد قبل از اجرای طرح، عملی باشد. ساختار این مقاله مراحل زیر را دنبال می‌کند: (1) مقایسه راه‌حل‌های صنعتی در ناحیه (2) مرور وظایف و سودهای

---

1. Viswandham

2. Chang

مدیریت زنجیره تامین (3) عنوان ضرورت شبیه سازی رویداد گسسته برای مدل های زنجیره تامین و (4) پیشنهاد روشها و نیازهای داده‌ای برای شبیه سازی واقعی مدیریت زنجیره تامین (چانک و همکاران، 2001).

چائولو<sup>1</sup> و همکاران، در پژوهش خود با عنوان "مدل سازی زنجیره تامین با استفاده از مجموعه های فازی و نظریه احتمال در یک محیط نامطمئن" چنین بیان می دارند که: مدیریت یک زنجیره کارا و موثر بسیار مشکل است. زیرا منابع نامطمئن مختلف و روابط درونی پیچیده در سطوح مختلف بین سازمان های مختلف زنجیره تامین وجود دارد. از این رو آنها یک مدل فازی جدید در زنجیره تامین بر مبنای نظریه احتمال برای ارزیابی کلی عملکردهای زنجیره تامین را توسعه می دهد. مدل پیشنهادی این اجازه را به تصمیم گیران می دهد تا نگرش های همراه با خطر خود را بیان کنند و تجارت در خدمت‌دهی به مشتریان و موجودی سرمایه گذاری در زنجیره تامین را تجزیه و تحلیل کنند و یک استراتژی موجودی مناسب برای زنجیره تامین را انتخاب کنند. در نهایت یک مثال توضیحی، مفهوم این مقاله را تأیید می کند (چائولو و همکاران، 2006).

همان طور که دیده شد، استفاده از مدل سازی صف در شبیه‌سازی و تحلیل فزآیند زنجیره تامین، بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است. از دست دادن مشتری، مشتریان ناراضی، سهم بازار از دست داده و... عوامل بسیار مهمی در تحلیل زنجیره تامین هستند. امروزه مدیران زنجیره تامین به دنبال کاهش زمان انتظار مشتریان هستند تا بدین وسیله بتوانند فاکتورهای زنجیره را بهبود بخشند. از این رو در این مقاله با رویکرد جدیدی از تئوری صف به تجزیه و تحلیل و کاهش زمان انتظار مشتریان در زنجیره تامین پرداخته شده است. به عبارت بهتر، تمام سفارش ها در طول زنجیره تامین بصورت اجزایی در نظر گرفته شده اند که در صفی از فعالیت ها قرار دارند. لذا ما با پیدا کردن کوتاهترین مسیری که سفارش ها باید طی نمایند، زمان انتظار مشتریان را کاهش خواهیم داد. تاکید می شود که در این مقاله برای اولین بار از تئوری صف برای پیدا کردن کوتاهترین مسیر انجام سفارش ها و نهایتاً کاهش زمان انتظار مشتریان استفاده شده است.

---

1. Chao L.

## ابزار و روش

از آنجایی که هدف پژوهش طراحی مدلی برای پیدا کردن کوتاهترین مسیر انجام سفارش‌ها در طول زنجیره تامین است، پس تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نظر نحوه گردآوری اطلاعات توصیفی از نوع زمینه‌ای موردی و به طور مشخص مبتنی بر مدل سازی ریاضی است.

با توجه به تعاریف ارائه شده و ذکر تحقیقات گذشته، محققین، مدل و مراحل مفهومی زیر را به منظور بررسی و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم تولیدی ارائه کردند. شناسایی مسأله: فرایندهای انجام شده واقعی در عمل منجر به ایجاد انحرافات بین اهداف و عملکرد می‌گردد، یکی از روش‌های اصلاحی، امکان مسیریابی مجدد جریان از یک رویداد به یک منبع جایگزین دیگر می باشد. در نتیجه در اینجا ما با یک مسأله مسیریابی روبرو هستیم. که باید بهترین و کوتاهترین مسیر انتخاب گردد.

هدف مدل سازی: در این پژوهش هدف، محاسبه حداقل زمان پاسخ گویی برای تحویل یک قلم کالا به مقصد نهایی در راستای چند مرحله از شبکه صف می باشد. شایان ذکر است که این زمان حداقل با توجه به کوتاهترین مسیر انجام سفارش محاسبه و تعیین می شود.

تعیین محدوده بسته سیستم: مرز بسته سیستم اجزایی از ساختار سیستم است که برای تولید رفتار موردنظر ضروری باشد. شایان ذکر است که در تمامی زنجیره‌های تأمین با توجه به تعداد رده‌های زنجیره و اعضای آن، این مدل قابلیت استفاده را دارد. در این مقاله از یک سیستم سه عضوی استفاده شده است.

رهیافت شبکه صف به مدل سازی زنجیره تأمین: در این مقاله یک نوع محصول را در زنجیره تأمین مورد بررسی قرار گرفته است. سفارش‌های از یک طرف می‌رسند؛ اما فرایندها می توانند در چند مکان مختلف شروع شوند. در اینجا چند مرحله وجود دارد (یعنی چند فعالیت در هر فرایند) و به خاطر ساختار شبکه، مسیرهای متفاوتی بسته به ترافیک شبکه ایجاد می شوند که دلالت بر نیاز به فعالیت حمل و نقل دارد. تمام جریانات فیزیکی در یک انبار مرکزی با هم جمع می شوند. در ورودی‌های شبکه صف، سفارش‌ها از مشتریان دریافت می شود و سفارش‌ها در حال انتظار باقی می‌مانند تا به کار گرفته شوند. فرض می شود مقدار اقلامی که در هر سفارش تحویل داده می شوند، به طور یکنواخت توزیع شده‌اند. همچنین نرخ‌های ورود در ورودی  $\lambda$ ام با  $\lambda$  نمایش داده می شود. از نقطه نظر

مشتری، زنجیره تأمین معادل یک صف است. صف در حال دریافت سفارش ها می باشد. سفارش ها منتظر می ماند تا به کار گرفته شوند. خدمت، یک مرکز تولید است و نتایج، محصولات و اقلام و غیره هستند. لازم بذکر است که در این حالت وضعیت سفارش ها توسط (1) رخداد (2) مقدار و (3) تأخیر مشخص می شوند. می توان گفت که: رخداد ( $\lambda$ ): می تواند در ماهیت پواسون یا اتفاقی و یا قطعی باشد. مقدار: مقدار اقلامی است که باید تحویل داده شوند. آنها در طبیعت (توزیع یکنواخت) اتفاقی هستند. تأخیر: شاخص اصلی تأخیر  $QoS^1$  می باشد.

به این دلیل که رخداد ( $\lambda$ ) با توزیع پواسون در طبیعت اتفاقی است و مقدار مشاغلی که برای هر رخداد ( $\lambda$ ) بایستی پردازش شود، به طور یکنواخت توزیع می شوند، ما یک متغیر تصادفی هم ارز ( $Z$ ) در نظر می گیریم که تابعی از  $X$  و  $Y$  است.  $X \stackrel{\Delta}{=} \text{متغیر تصادفی}$ ، نمایش دهنده زمان وقوع سفارش است.  $Y \stackrel{\Delta}{=} \text{متغیر تصادفی}$ ، نمایش دهنده تعداد اقلام در هر سفارش است.  $Z \stackrel{\Delta}{=} XY$  زمان وقوع، همراه با تعداد اقلام در هر سفارش را نمایش می دهد. توزیع تجمعی تابع  $Z$  در زیر آمده است:

$$f_Z(z) = P(Z \leq z) = \int \int_{A_Z} f_{XY}(x, y) dx dy \quad (1)$$

جایی که  $A_Z$  زیرمجموعه  $R^2$  است و به وسیله  $A_Z = \{(x, y) | (x, y) \leq z\}$  نشان داده می شود. چون  $f_X(x)$  و  $f_Y(y)$  مستقل هستند (ما فرض می کنیم که با هر رخدادی، تعداد اقلام تصادفی هستند)، بنابراین فرض  $f_{XY}(x, y) = f_X(x)f_Y(y)$  را داریم. از این رو،

$$f_Z(z) = \int \int_{A_Z} f_X(x)f_Y(y) \quad (2)$$

$X$  متغیر تصادفی توزیع نمایی و  $Y$ ، متغیر تصادفی توزیع یکنواخت بین  $a$  و  $b$  می باشد، ( $b > a$ ). بنابراین

$$f_Y(y) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a < u < b \\ 0, & \text{سایر نقاط} \end{cases} \quad \& \quad f_X(x) = \begin{cases} I e^{-Ix}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

## 1. Quality of Service

ناحیه  $\Delta D_Z$  به طوری که  $z < xy < z + dz$ ، بخشی از منحنی خطی بین فضای بیرونی هذلولی قائم الزاویه یا دو پهلویست که در آن  $y = \frac{z}{x}$  و  $y = \frac{z+dz}{x}$  می باشد.  $X$ ،  $\frac{dz}{dy} = |x|$  و  $\frac{z}{x'}$  مختصات نقاطی از این ناحیه است که بر طبق آن خواهیم داشت:

در نتیجه ناحیه ای از معادلات دیفرانسیل  $\frac{1}{|x|} dx dz$  را داریم و چون، متغیرهای تصادفی  $X$  و  $Y$  مستقل هستند. احتمال تابع چگالی  $Z$  به صورت زیر می باشد (پاپولیس<sup>1</sup>، 1991)، (روهاتقی<sup>2</sup>، 1976).

$$f_z(z) = \frac{\lambda}{b-a} \int_{\frac{z}{d}}^{\frac{z}{c}} \frac{e^{-\lambda x}}{|x|} dx \quad \forall 0 < z < \infty \quad (4)$$

با جایگزین کردن  $dt = dx$  و  $t = Ix$  با متغیرهای انتگرال رابطه بالا (در تابع چگالی  $Z$ )، حالت زیر به دست می آید:

$$f_z(z) = \frac{1}{b-a} \left( E_1 \left( \frac{Iz}{b} \right) - E_1 \left( \frac{Iz}{a} \right) \right) \quad (5)$$

به طوری که  $E_1(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$  است، این عبارت انتگرال نمایی است که

توسط  $E_n(x) = \int_1^\infty \frac{e^{-xt}}{t^n} dt$  در  $n = 1$  تعریف می شود. حال داریم  $E_1(x) = E_i(-x)$ ،

به طوری که  $E_i(x) = -\int_{-x}^\infty \frac{e^{-t}}{t} dt$  است، دوباره این عبارت تابع انتگرال نمایی است.

با جایگزینی رابطه بین  $E_1(x)$  و  $E_i(x)$ ، تابع زیر به دست می آید:

$$f_z(z) = \frac{1}{b-a} \left( E_i \left( \frac{Iz}{a} \right) - E_i \left( \frac{Iz}{a} \right) \right) \quad (6)$$

1.Papoulis

2.Rohatgi

اکنون ارزش متوسط زمان وقوع،  $E(Z)$  توسط انتگرال زیر نشان داده می شود:

$$E(z) = \int_0^{\infty} zf(z)dz = \frac{1}{b-a} \int_0^{\infty} z \left( E_i \left( -\frac{Iz}{a} \right) - E_i \left( -\frac{Iz}{b} \right) \right) dz \quad (7)$$

این انتگرال به صورت زیر می تواند تجزیه و تحلیل گردد:

(8)

$$E(z) = \frac{1}{b-a} \frac{z^2}{2} \left[ \left( E_i \left( -\frac{Iz}{a} \right) - E_i \left( -\frac{Iz}{b} \right) \right) + \left( \frac{az}{2I} + \frac{a^2}{2I^2} \right) \exp \left( -\frac{Iz}{a} \right) - \left( \frac{bz}{2I} + \frac{b^2}{2I^2} \right) \exp \left( -\frac{Iz}{b} \right) \right] = \left( \frac{b+a}{2I} \right)$$

بنابراین زمان بین ورود سفارش ها (زمان وقوع و مقدار) با میانگین  $E(Z)$  به طور نمایی توزیع می شود. زمان سفارشها، مستقل و متغیرهای تصادفی توزیع یکنواخت می باشند، توزیع مشترک با میانگین  $\frac{1}{\mu}$ ، جایی که  $\mu$  نرخ خدمت است، نمایی است. اجازه دهید  $N(t)$  تعداد سفارش ها در سیستم را (هم آنهایی که صف بندی شده اند و هم آنهایی که در سرویس می باشند) در زمان  $t$  مشخص کند. زمانی که  $\{N(t) | t \geq 0\}$  یک فرایند مرگ- تولد با حداقل نرخ ورود است. یعنی:

$$\Lambda_k = I^{(0)} = \frac{1}{E(z)} = \frac{2I}{b+a} \quad (9)$$

برای  $k \geq 1$  نرخ خدمت  $m_k$  را برابر با  $\mu$  در نظر می گیریم ( $k \geq 1, m_k = m$ )

$$r = \frac{\text{متوسط زمان خدمت}}{\text{متوسط زمان ورود}} = \frac{A_k}{m_k} = \frac{1}{mE(z)} = \frac{2I}{m(b+a)} \quad \forall a, b > 0, b > a$$

مقدار،  $\rho$  یک پارامتر مهم است، که شدت ترافیک سیستم نامیده می شود. شدت ترافیک معمولاً در ارلنگ ها بیان می شود. از فرایند مرگ-تولد برای زنجیره های مارکوف استفاده می شود، احتمال یکنواخت  $k$  فعالیت در یک سیستم با ورودی های بسته ای به صورت زیر داده می شود:

(10)

$$\prod_k = (\exp(-(1-r)))^k \prod_0 = \exp(-k(1-r)) \prod_0 \quad \forall a, b > 0, b > a$$



اگر مجموع رابطه بالا را از 0 تا  $\infty$  در نظر بگیریم و نتیجه را مساوی 1 قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$\prod_0 = \exp(1-r) - 1, \quad r < 1 \quad (11)$$

برای مثال وقتی که شدت ترافیک کمتر از واحد است. می‌توان نشان داد که میانگین و واریانس تعداد مشتریان به صورت زیر می‌باشد:

$$E(N) = \sum_{k=0}^{\infty} k \prod_k = \prod_0 \sum_{k=0}^{\infty} k \exp(-k(1-r)) = \frac{1}{1 - \exp(-(1-r))} \quad (12)$$

$$s_N^2 = \sum_{k=0}^{\infty} (k - E(N))^2 \prod_k = \frac{\exp(-(1-r))}{(1 - \exp(1-r))^2}$$

در حالت ثابت، گذاشتن متغیر تصادفی  $R$  دلالت بر زمان پاسخ‌گویی دارد (به عنوان زمان سپری شده از لحظه ورود شغل تا تکمیل شدنش تعریف می‌شود). به منظور محاسبه‌ی متوسط زمان پاسخ،  $E(R)$ ، ما از قضیه معروف Little استفاده می‌کنیم، که بیان می‌کند: متوسط تعداد مشاغل در یک سیستم صف در حالت یکنواخت برابر است با حاصلضرب نرخ ورودی در متوسط زمان پاسخ. یعنی  $(E(N) = \lambda E(R))$ . بنابراین:

$$E(R) = \frac{E(N)}{\lambda} = \frac{1}{\lambda(1 - \exp(-(1-\rho)))} \quad (13)$$

نکته اینکه در حال حاضر در سیستم تراکم است، در اینجا به این نکته می‌توان توجه کرد که با افزایش متوسط زمان پاسخ  $E(R)$ ،  $\rho$  افزایش می‌یابد. گذاشتن متغیر تصادفی  $W$  دلالت بر زمان انتظار در صف دارد. با توجه به نکات گفته شده متوسط زمان انتظار عبارتست از:

$$E(W) = E(R) - \frac{1}{m} = \frac{m-1 + \exp\left(-\left(1 - \frac{2l}{m(b+a)}\right)\right)}{1 - \exp\left(-\left(1 - \frac{2l}{m(b+a)}\right)\right)} \quad (14)$$

$$\forall a, b > 0, b > a.$$

حال اگر متغیر تصادفی  $Q$  نشان دهنده تعداد مشاغل منتظر در صف باشد (به استثنای آنهایی که در سرویس هستند)، آنگاه متوسط تعداد مشاغل،  $E(Q)$ ، در صف تعیین می شود، ما در اینجا با استفاده از فرمول Little،  $E(Q)$  را به دست می آوریم:

$$E(Q) = I E(W) = \frac{m - I + I \exp\left(-\left(1 - \frac{2I}{m(b+a)}\right)\right)}{m\left(1 - \exp\left(-\left(1 - \frac{2I}{m(b+a)}\right)\right)\right)} \quad (15)$$

توجه داشته باشید که متوسط تعداد مشاغل موجود در سرور به حالت زیر است:

$$E(N) - E(Q) = \frac{\lambda\mu - \mu + \lambda - \lambda \exp(-(1-\rho))}{\lambda\mu(1 - \exp(-(1-\rho)))} \quad (16)$$

و بهره‌وری سرورها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r_i^j = \frac{I^{(0)}}{m_i} = \frac{2I}{(a+b)m_i} \quad (17)$$

### 1-3- تعیین معیارهای سنجش عملکرد

با توجه به نکات گفته شده، عملکرد سیستم تک‌سروری توسط متوسط طول صف، متوسط زمان انتظار، متوسط زمان پاسخ گویی در سیستم اندازه‌گیری می شود (روهاتقی، 1976). لذا داریم:

متوسط طول صف:

$$E\left[N_i^{(j)}\right] = \frac{1}{1 - \exp(-(1 - r_i^{(j)}))} \quad (18)$$

متوسط زمان پاسخ گویی:

$$E\left[R_i^{(j)}\right] = \frac{E\left[N_i^{(j)}\right]}{I^{(0)}} = \frac{a+b}{2I(1 - \exp(-(1 - r_i^{(j)}))} \quad (19)$$

متوسط زمان انتظار:

(20)

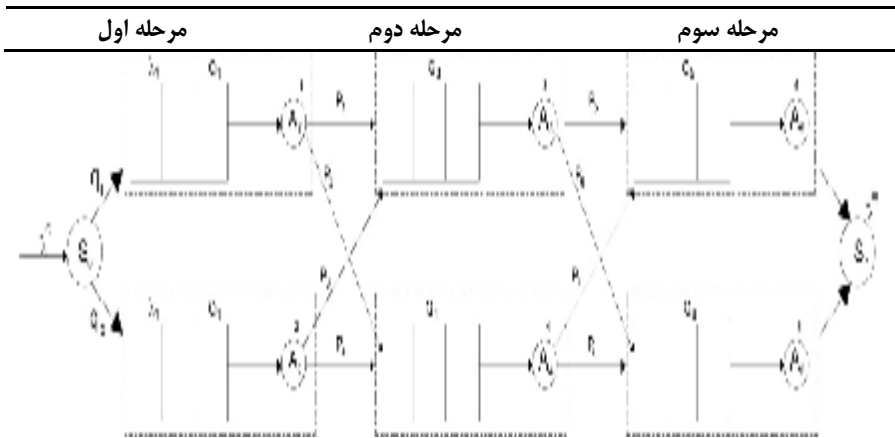
$$E\left[W_i^{(j)}\right] = E\left[R_i^{(j)}\right] - \frac{1}{m_i} = \frac{(a+b)m_i - 2I(1 - \exp(-(1 - r_i^{(j)}))}{2I m_i(1 - \exp(-(1 - r_i^{(j)}))}$$

### طراحی مدل زنجیره تأمین از شرکت مورد مطالعه

اولین گام جهت مدل سازی، شناسایی زنجیره تأمین، اجزاء آن و نحوه ارتباط این اجزاء با یکدیگر است. از آنجا که این پژوهش در شرکت صنعتی بالان صنعت انجام می‌گیرد، در ابتدا یک محصول خاص (کاور اصلی راهبند) در زنجیره تأمین این شرکت جهت بررسی انتخاب می‌شود. این زنجیره از سه مرحله اصلی تشکیل شده است که این مراحل عبارتند از: (1) برش (قیچی) (2) خمکاری و (3) نقاشی. شایان ذکر است که تعداد بیشتر مراحل و فعالیت‌ها هیچ اشکالی در مدل ایجاد نکرده و براحتی قابل تحلیل بررسی است. برای درک بیشتر، زنجیره تأمین به وسیله فرایندی با سه فعالیت (مرحله)، طبق شکل 2 مدل سازی می‌گردد. لازم بذکر است که: برش توسط دو ماشین  $A_1$  (برش واترجت) و  $A_2$  (برش لیزری) انجام می‌پذیرد. خمکاری توسط دو ماشین  $A_3$  (خمکاری کلاسیک) و  $A_4$  (خمکاری CNC) صورت می‌پذیرد. نقاشی توسط دو ماشین  $A_5$  (نقاشی کلاسیک) و  $A_6$  (رنگ الکترواستاتیک) انجام می‌گیرد.

در این مدل، دو ورودی برای شبکه لحاظ گردیده است. دو ورودی در مرحله اول سفارش‌ها را از مشتریان ( $S_0$ ) دریافت می‌کنند و سفارش‌ها در حال انتظار باقی می‌مانند، تا به کار گرفته شوند. بعد از اینکه سفارش‌ها در مرحله اول سرویس‌دهی شدند، وارد مرحله دوم می‌شوند. برای هر خروجی  $A_1$  و  $A_2$  در مرحله اول، دو مسیر ممکن وجود دارد، خروجی‌های  $A_1$  و  $A_2$  مرحله اول با رویدادهای  $A_3$  و  $A_4$  در مرحله دوم مرتبط است و خروجی‌های مرحله دوم با رویدادهای  $A_5$  و  $A_6$  مرحله سوم در ارتباط می‌باشند و در نهایت خروجی‌های مرحله سوم به  $S_1$  میرسند. در نتیجه گزینه‌های مسیریابی بصورت زیر به وجود می‌آیند:

- $V_1: A_1 A_3 A_5$
- $V_2: A_1 A_3 A_6,$
- $V_3: A_1 A_4 A_5,$
- $V_4: A_1 A_4 A_6$
- $V_5: A_2 A_3 A_5,$
- $V_6: A_2 A_3 A_6,$
- $V_7: A_2 A_4 A_5,$
- $V_8: A_2 A_4 A_6$



شکل شماره 2. مدل زنجیره تامین محصول

## معرفی پارامترهای مدل

در این مقاله  $A$ ها نشاندهنده فعالیت ها در زنجیره می باشند. ( $A_1$  و  $A_2$ ) فعالیت برش را در مرحله اول نشان می دهند، ( $A_3$  و  $A_4$ ) نشان دهنده فعالیت خمکاری در مرحله دوم و ( $A_5$  و  $A_6$ ) نشان دهنده فعالیت نقاشی در مرحله سوم می باشند، که در شکل این فعالیت ها را بصورت گره نشان داده شده است. گره های ( $Q_1, A_1$ ) و ( $Q_2, A_2$ ) مربوط به مرحله اول گره های ( $Q_3, A_3$ ) و ( $Q_4, A_4$ ) مربوط به مرحله دوم و گره های ( $Q_5, A_5$ ) و ( $Q_6, A_6$ ) متعلق به مرحله سوم می باشند. لازم به ذکر است که  $Q$ ها نماد صف ایجاد شده در پشت فعالیت ها می باشند.

در این حالت با یک شبکه صفی با دو ورودی مواجه هستیم، دو ورودی مرحله اول ( $A_1$  و  $A_2$ ) سفارش ها را از  $S_0$  با نرخ های ورودی  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  دریافت می کنند. نرخ ورودی در ( $S_0$ )،  $\lambda^{(0)}$  می باشد. احتمال ورودی ها در  $Q_1$  و  $Q_2$  به ترتیب  $q_1$  و  $q_2$  می باشند، واضح است که  $q_1 + q_2 = 1$  خواهد بود،  $\lambda_1 = q_1 \lambda^{(0)}$  نرخ ورودی در  $Q_1$  و  $\lambda_2 = q_2 \lambda^{(0)}$  نرخ ورودی در  $Q_2$  می باشند. نرخ خدمت دهی، خدمت دهندگان  $A_1$  و  $A_2$  (ماشین های  $A_1$  و  $A_2$ )، به ترتیب  $\mu_1$  و  $\mu_2$  معرفی می شوند. پس از آنکه سفارش ها (ورقه های فلزی) توسط ماشین  $A_1$  برش خوردند با احتمال  $p_1$  به ماشین  $A_3$  و با احتمال  $p_2$  به ماشین  $A_4$  در مرحله دوم فرستاده می شوند. واضح است که  $p_1 + p_2 = 1$

می‌باشد، بنابراین نرخ ورودی در  $Q_3$  برابر  $\lambda_1 p_1$  و نرخ ورود در  $Q_4$  برابر با  $\lambda_1 p_2$  خواهد بود و همچنین خروجی‌های ماشین  $A_2$  با احتمال  $p_3$  به ماشین  $A_3$  و با احتمال  $p_4$  به ماشین  $A_4$  در مرحله دوم که خمکاری می‌باشد، فرستاده می‌شوند. در اینجا نیز روشن است که  $p_3 + p_4 = 1$  می‌باشد. بنابراین نرخ ورودی در  $Q_3$  برابر  $\lambda_2 p_3$  و نرخ ورود در  $Q_4$  برابر با  $\lambda_2 p_4$  خواهد بود. نرخ خدمت‌دهی ماشین‌های  $A_3$  و  $A_4$  به ترتیب  $\mu_3$  و  $\mu_4$  می‌باشد. پس از آنکه ورقه‌ها در مرحله دوم توسط ماشین‌های خمکاری سرویس شدند، وارد مرحله سوم که مرحله نقاشی است، می‌شوند. در اینجا خروجی‌های ماشین  $A_3$  با احتمال  $p_5$  به ماشین  $A_5$  و با احتمال  $p_6$  به ماشین  $A_6$  فرستاده می‌شوند. به خوبی روشن است که  $p_5 + p_6 = 1$  می‌باشد و خروجی‌های ماشین  $A_4$  با احتمال  $p_7$  به ماشین  $A_5$  و با احتمال  $p_8$  به ماشین  $A_6$  فرستاده می‌شوند، و نیز خواهیم داشت:  $p_7 + p_8 = 1$ . در اینجا با در نظر گرفتن مسیر قبلی، نرخ ورودی محاسبه می‌گردد. به عنوان مثال اگر نرخ ورودی  $Q_3$ ،  $\lambda_1 p_1$  باشد، نرخ ورودی  $Q_6$  برابر با  $(\lambda_1 p_1 p_5)$  خواهد بود و به همین ترتیب با در نظر گرفتن مسیرهای قبلی نرخ‌های ورودی در  $Q_5$  و  $Q_6$  تعیین می‌گردند. نرخ خدمت‌دهی ماشین‌های  $A_5$  و  $A_6$  به ترتیب  $\mu_5$  و  $\mu_6$  خواهد بود. در نهایت سفارش‌ها بعد از اتمام خدمت در سرویس‌دهنده‌های  $A_5$  و  $A_6$  با نرخ خروجی  $\lambda^{(0)}$  وارد  $S_1$  می‌شوند. (در اینجا نرخ ورودی برابر تعداد کل سفارش‌ها و نرخ خدمت‌دهی برابر زمان خدمت‌دهی ماشینها در نظر گرفته شده است). در نتیجه از شکل 2 خواهیم داشت:

$$q_2 \lambda^{(0)} = \lambda_2 \quad \lambda^{(0)} = \lambda_2 + \lambda_1 \quad , \quad \lambda_1 = q_1 \lambda^{(0)}$$

$$p_1 + p_2 = p_3 + p_4 = p_5 + p_6 = p_7 + p_8 = q_1 + q_2 = 1$$

حالت اول) در این حالت نرخهای ورودی متعددی را که کارخانه، بر اساس سفارش‌ها در طول یک سال دارد را در نظر می‌گیریم (نرخ ورودی برابر با تعداد کل سفارش‌ها می‌باشد):  $\lambda = 60, 70, 80, 90, 100$ . ارزش  $a$  برابر 55 و ارزش  $b$  برابر 105 خواهد بود (مقادیر  $a$  و  $b$  که از توزیع یکنواخت پیروی می‌کنند از طریق حل این دو معادله به دست می‌آیند  $(\sum x_i = \frac{a+b}{n}$  و  $\sum x_i^2 = \frac{(b-a)^2}{12} + \frac{(b+a)^2}{4})$ ). لازم بذکر است که مقادیر نرخ‌های

خدمت‌دهی بر اساس مستندات کارخانه به صورت زیر می باشد. (نرخ های خدمت دهی برابر با زمان خدمت‌دهی دستگاه‌ها می باشد).

$$\mu_1 = 10, \mu_2 = 2, \mu_3 = 8, \mu_4 = 3, \mu_5 = 17, \mu_6 = 24$$

و احتمال ورودی ها در صفها برابر خواهد بود:

$$(p_1, p_2) = (0.5, 0.5), (p_3, p_4) = (0.5, 0.5), (p_5, p_6) = (0.5, 0.5),$$

$$(p_7, p_8) = (0.5, 0.5), (q_1, q_2) = (0.5, 0.5)$$

برای هر مقدار  $\lambda$ ، روابط 17، 18، 19 و 20 به صورت زیر تخمین زده خواهد شد و نتایج را برای مسیرهای مختلف از طریق جداول زیر بیان می شود:

جدول شماره 1. بهره‌وری ماشین‌ها (گره‌ها) در شبکه

بهره وری	نرخ ورودی $\lambda=(70, 60 \dots 100)$	بهره وری	نرخ ورودی $\lambda=(70, 60 \dots 100)$
$r_1^{(A_1)}$	$\frac{\lambda}{960}$	$r_4^{(A_4)}$	$\frac{\lambda}{1600}$
$r_2^{(A_2)}$	$\frac{\lambda}{1882}$	$r_5^{(A_5)}$	$\frac{\lambda}{1600}$
$r_3^{(A_3)}$	$\frac{\lambda}{15360}$	$r_6^{(A_6)}$	$\frac{\lambda}{2560}$

جدول شماره 2. محاسبه حداقل زمان پاسخ گویی (حالت اول)

مسیر	سنجه عملکرد	60 1	70 1	80 1	90 1	100 1
$V_1; A_1 A_3 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	29/92	25/69	22/44	20/60	18/03
$V_2; A_1 A_3 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	29/81	25/6	22/42	19/99	17/97
$V_3; A_1 A_4 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	30/17	25/87	22/74	20/27	18/25
$V_4; A_1 A_4 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	30/02	26/78	22/66	20/02	18/19
$V_5; A_2 A_3 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	35/2	30/4	26/84	24/07	21/85
$V_6; A_2 A_3 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	35/09	30/31	26/76	24/00	21/79
$V_7; A_2 A_4 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	35/41	30/58	27/08	24/28	22/07
$V_8; A_2 A_4 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	35/30	30/49	27/00	24/21	22/01

با توجه جدول فوق به این نتیجه می‌رسیم که مطلوب‌ترین مسیر از موارد مسیریابی، مسیر  $V_2$  می‌باشد بخاطر اینکه حداقل زمان پاسخ‌گویی را برای دسته معینی از خصوصیات (احتمال ورود یک مسیر جدید، نرخ ورود و نرخ‌های خدمات) را به وجود می‌آورد. و در این مسیر برای  $\lambda=100$  نسبت به دیگر نرخ ورودی‌ها کمترین زمان پاسخ‌گویی را داریم. رویدادها در مسیر بهینه  $V_2$  عبارتند از  $(Q_4, A_4)$ ،  $(Q_{15}, A_{15})$ ،  $(Q_7, A_7)$  و  $(Q_{13}, A_{13})$ . انتخاب مسیر بهینه به نرخ ورود در هر صف، نسبت خدمات هر خدمت‌رسان، و احتمال ورود به یک رویداد خاص بستگی دارد. تعداد کل ارقام در تمامی رویدادهای مطلوب‌ترین مسیر، ظرفیت شبکه دارای دو ورودی را تشکیل می‌دهد. تصمیم‌گیری در هر مرحله‌ی شبکه با توجه به اینکه کدام مسیر برای دستیابی به حداقل زمان پاسخ‌گویی انتخاب می‌شود، در آخرین رویداد گرفته می‌شود.

حالت دوم) در اینجا حالتی را عنوان می‌شود که چگونه نرخ خدمت دهی نصف می‌گردد و براساس آن زمان سرویس دو برابر و طول صف افزایش می‌یابد در نتیجه تمام متغیرها را مانند حالت قبلی در نظر می‌گیریم؛ بجز احتمالات  $q_1$  و  $q_2$ . این احتمالات را به دو گونه  $(q_1, q_2) = (0, 1)$  و  $(q_1, q_2) = (1, 0)$  در نظر می‌گیریم و با حالت قبلی مقایسه می‌کنیم. نرخ‌های خدمت‌دهی خدمت‌دهندگان، نسبت به ارزش اصلی شان که در حالت اول بیان شد، نصف می‌شوند. تمام مشخصات دیگر بدون تغییر باقی می‌مانند. اکنون دوباره نرخ ورودی را  $\lambda = 60, 70, \dots, 100$  در نظر می‌گیریم و ارزشهای  $a$  و  $b$  به ترتیب 55 و 105 است. برای  $(q_1, q_2) = (1, 0)$  مسیرهای  $A_1A_3A_5:V_1$ ،  $A_1A_3A_6:V_2$ ،  $A_1A_4A_5:V_3$  و  $A_1A_4A_6:V_4$  را خواهیم داشت و همچنین برای  $(q_1, q_2) = (0, 1)$  مسیرهای  $A_2A_3A_5:V_5$ ،  $A_2A_3A_6:V_6$ ،  $A_2A_4A_5:V_7$  و  $A_2A_4A_6:V_8$  را داریم. بهره‌وریها، متوسط طول صف، متوسط زمان پاسخ‌گویی و متوسط زمان انتظار برای تمامی ارزش‌های  $\lambda$  و مسیرهای ذکر شده محاسبه خواهند شد و بهره‌وریها و متوسط زمان پاسخ‌گویی طبق جدول زیر تخمین زده خواهد شد:

جدول شماره 3. بهره‌وری ماشین‌ها در شبکه

بهره‌وری	نرخ ورودی $\lambda=(70, 60 \dots 100)$	بهره‌وری	نرخ ورودی $\lambda=(70, 60 \dots 100)$
$I_1^{(A_1)}$	$\frac{\lambda}{800}$	$I_4^{(A_4)}$	$\frac{\lambda}{480}$
$I_2^{(A_2)}$	$\frac{\lambda}{160}$	$I_5^{(A_5)}$	$\frac{\lambda}{5440}$
$I_3^{(A_3)}$	$\frac{\lambda}{1280}$	$I_6^{(A_6)}$	$\frac{\lambda}{7680}$

جدول شماره 4. محاسبه حداقل زمان پاسخ‌گویی (حالت دوم)

مسیر	سنجه عملکرد	60 1	70 1	80 1	90 1	100 1
$V_1; A_1 A_3 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/03	12/93	11/36	10/19	9/15
$V_2; A_1 A_3 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/03	12/93	11/31	10/09	9/12
$V_3; A_1 A_4 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/21	13/16	11/62	10/39	9/42
$V_4; A_1 A_4 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/21	13/16	11/58	10/36	9/39
$V_5; A_2 A_3 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/70	13/67	12/22	11/31	10/34
$V_6; A_2 A_3 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/70	13/67	12/20	11/09	10/31
$V_7; A_2 A_4 A_5$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/88	13/90	12/48	11/40	10/64
$V_8; A_2 A_4 A_6$	$\sum (R_i^{(A_i)})$	15/88	13/90	12/44	11/36	10/58

در اینجا مسیر بهینه، مسیر  $V_2$ ، برای نرخ ورودی 100 انتخاب می‌شود. در این حالت، نرخ سرویس سرویس‌دهندگان نصف می‌گردد، یعنی، زمان سرویس دو برابر می‌شود، به این دلیل تعداد کمتری از ورودی‌ها برای یک نرخ ورود به خصوص، سرویس‌دهی می‌شوند و همچنین بهره‌وری در حالت دوم، دو برابر ارزشهای قبلیشان می‌گردد.

در انتها این بخش شایان ذکر است که ما می‌توان مراحل تولید را افزایش داد و این مراحل را به هر تعداد که بخواهیم تعمیم دهیم زیرا هدف این مقاله محاسبه‌ی حداقل زمان پاسخ‌گویی برای تحویل یک قلم کالا به مقصد نهایی در راستای چند مرحله از شبکه صف می‌باشد. که در اینجا ما سه مرحله را در نظر گرفتیم ولیکن می‌توان به خوبی تعداد مراحل را تعمیم داد و با استفاده از راه حل ارائه شده به نتیجه مطلوب رسید.



## بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله زنجیره تأمین یک محصول خاص مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که محصول باید در طول یک زنجیره از عرضه‌کننده تا مشتری نهایی در حال حرکت باشد؛ و در صفتی از فعالیت‌ها، در انتظار و یا در حال پردازش باشد؛ ماهیت مسأله به مسائل صفت تبدیل می‌شود و در این مقاله با استفاده از منطق و تئوری صفت به دنبال کاهش زمان انتظار محصول در طول زنجیره یا به عبارت دیگر افزایش سرعت تولید و کاهش زمان رسیدن محصول به مشتری می‌باشد. با توجه به اینکه محصولات ممکن است که از مسیرهای گوناگونی در شبکه تولید عبور کنند و این امر باعث طولانی شدن زمان رسیدن کالا به مشتری نهایی می‌گردد، این مقاله سعی در کاهش زمان انتظار کالا در صفت فعالیت‌ها دارد تا به طراحی مجدد سیر فرآیندها و فعالیت‌ها این زمان را تا جایی که امکان دارد کاهش دهد. برای این منظور ابتدا مرز سیستم طراحی شده است و سپس رویکرد صفت در تحلیل فعالیت‌های زنجیره تأمین به کار گرفته شده و معیارهای سنجش عملکرد زنجیره تأمین بر اساس آن معرفی شده است. نکته بسیار مهم اینکه رویکرد طراحی شده در هر سیستم تولیدی و با هر تعداد مراحل قابلیت استفاده دارد. برای سادگی و نشان دادن کارایی مدل در این مقاله از یک سیستم تولیدی سه مرحله‌ای در شرکت بالان صنعت استفاده شده است. لذا می‌توان گفت که هدف این مقاله محاسبه حداقل زمان پاسخ‌گویی برای تحویل یک قلم کالا به مقصد نهایی در راستای سه مرحله از شبکه صفت می‌باشد. برای رسیدن به این منظور مدل خود را برای یک محصول شرکت بالان صنعت در دو حالت به اجرا درآوردیم و نتایج مربوطه را کسب کردیم با توجه به نتایج به دست آمده از حالت اول به این نتیجه می‌رسیم که مطلوب‌ترین مسیر از موارد مسیریابی، مسیر  $V_2$  می‌باشد، زیرا حداقل زمان پاسخ‌گویی برای دسته معینی از خصوصیات را به وجود می‌آورد و در این مسیر برای  $\lambda=100$  نسبت به دیگر نرخ ورودی‌ها کمترین زمان پاسخ‌گویی را داریم و همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از حالت دوم، مسیر بهینه مسیر  $V_2$  برای نرخ ورودی 100 انتخاب می‌شود در این حالت نرخ سرویس‌دهندگان نصف می‌گردد، یعنی زمان سرویس دو برابر می‌شود، به این دلیل تعداد کمتری از ورودی‌ها برای یک نرخ ورودی به خصوص، سرویس‌دهی می‌شوند و در نتیجه طول صفت افزایش می‌یابد پس در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که مطلوب‌ترین مسیر از موارد مسیریابی، مسیر  $V_2$  می‌باشد بخاطر اینکه حداقل زمان پاسخ‌گویی را برای دسته معینی از خصوصیات (احتمال ورود یک مسیر جدید،

نرخ ورود و نرخ های خدمات) به وجود می آورد. رویدادها در مسیر بهینه  $V_2$  عبارتند از  $(Q_1, A_1), (Q_3, A_3), (Q_6, A_6)$ . انتخاب مسیر بهینه به نرخ ورود در هر صف، نسبت خدمات هر خدمت رسان، و احتمال ورود یک رویداد خاص بستگی دارد. تعداد کل متناظر اقلام در تمامی رویدادهای مطلوب ترین مسیر، ظرفیت شبکه دارای دو ورودی را تشکیل می دهد. تصمیم مسیریابی در هر مرحله شبکه با توجه به اینکه کدام مسیر برای دستیابی به حداقل زمان پاسخ گویی انتخاب می شود، در آخرین رویداد گرفته می شود. معیارهای سنجش عملکرد مانند میانگین طول صف به دست آورده و ترسیم می شوند. معیارهای سنجش عملکرد نظیر متوسط زمان پاسخ گویی، میانگین زمان انتظار و احتمالات وضعیت پایدار نیز به دست آورده می شوند.

تجزیه و تحلیل گلوگاه ها با استفاده از مدل های شبکه صف، برای تجزیه و تحلیل عملکرد و برنامه ریزی ظرفیت کامپیوتر و سیستم ارتباطات مهم است. برای اینکه سرویس-دهندگان حالت اول و دوم همانند یک گلوگاه عمل کنند، بهره‌وری سرورها باید بیشتر و یا نزدیک به یک باشد. از آنجا که هیچ کدام از سرویس‌دهندگان دارای بهره‌وری نزدیک به یک برای نرخ‌های ورودی داده شده نیستند، مدل زنجیره با خصوصیات داده شده برای اجرا عملی می باشد. محدودیت بیان ریاضی داده‌هایمان فقط هنگامی که یکی یا بعضی از بهره‌وریها به یک نزدیک شوند یا بیشتر از یک گردند، رخ می دهد. این هنگامی اتفاق می افتد که:

الف) نرخ‌های ورودی، خیلی بیشتر از آنچه که در نظر گرفته شد، گرفته شوند، یا  
 ب) هنگامی که خصوصیات مانند احتمالات و نرخ‌های خدمت چنان ارزش گذاری شوند که بهره‌وری نزدیک به یک حاصل گردد.

**References**

- Abdulmalek, F. A., Rajgopal, J. (2017). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107, 223-236.
- Aitken J, (1998). *Supply Chain Integration within the Context of a Supplier Association*, Cranfield University, Ph.D. Thesis.
- Alaghe Band A., Razavi M., (2008). Modeling and control of the supply chain using Linear Control Systems, *International Management Conference*, the fifth year, P 360.
- Azar A., Mirghafoori A., (2004). Hierarchical model of the supply chain, *Islamic Encyclopedia of Human Sciences Portal*, P 32.
- Bhaskar V., (2010), Modeling a supply chain using a network of queues, *Applied mathematical modeling* 34(1): 2074-2088.
- Chang y. Harris M. (2001). Supply chain modeling using simulation, *Ijsst, info.* 2(1): 18-26.
- Chao L., (2006). Supply chain modeling using fuzzy sets and possibility in an uncertain environment, *Intelligent Control and Automation*, The sixth word congress, 3608-3612.
- Conner, K.R., Prahalad, C.K., A resource-based theory of the firm: knowledge versus opportunism. *Organizational science* 7 (5): 477-501, 1996.
- Cooper, M. C., Ellram, L. M., Gardner, J. T., Hanks, A. M., (1997). Meshing multiple alliances. *J. Bus. Logist.* 18, 67-89.
- Cousins P.D., Mengus B.;"The implications of socialization and integration in supply chain management"; *Journal of Operations Management*, September 2005.

- Daad A., Afshar Kazemi M., (2008). Improved layout East garment factory production line using simulation systems queue, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, MS Thesis, P. 24.
- Fleisch, E., Tellkamp, C. (2005). Inventory inaccuracy and supply chain performance: A Simulation study of a retail supply chain. *International Journal of Production Economics*, 95, 373–385.
- Handfield R.B. Nichols E.L., (1999). *Introduction to supply chain management*, New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Heskett L., (1977). Logistics: essential to strategy, *Harvard Business Review*. 85 (6):85–96.
- Hillier F. Lieberman G., (2005). *Introduction to Operation Research*, eighth ed., McGraw Hill, NY, USA.
- Hosseini Baharanchi S.R.; "Investigation of the impact of supply chain integration on product innovation and quality"; *Transaction: Industrial Engineering* , Vol.16, No. 1, Sharif University of Technology, June 2009.
- Hosseini S.M., Mohammadi A., Pishvae M.S.; "Production systems and supply chain strategy selection"; *Strategic Management Studies*, No. 2, Summer 1389.
- Hyun J.K., Jiyeon S.S., Wook K., (2016). Strategy for Improving Efficiency of Supply Chain Quality Management in Buyer-Supplier Dyads: The Suppliers' Perspective.
- Lambert, D. M., Cooper, M. C., (2000). Issues in supply chain management. *Ind. Market Manag.* 29, 65-83.
- Manish K. Govil M. Fu C., (1999). Queuing theory in manufacturing: a survey, *Journal of Manufacturing System*, 4(2):457-469.
- Miri Nejad M., Qadri S., (2009). Queuing systems and networks Petri use in modeling the supply chain, *International Conference on Industrial Engineering*, year VII.

- Mosleh Shirazi A., Farhadi P., (2011). Gasoline supply chain modeling Oil Refining and Distribution Company using system dynamics, MA dissertation, School of Management, University of Shiraz.
- Papoulis A., (1991). Probability, Random Variables and Stochastic Processes, Third ed, NewYork: McGraw Hill.
- Rohatgi V.K., (1976). An introduction to probability theory, Mathematical Statistics, NewYork: Wiley.
- Sadeghi Moghadam M.R., Momeni M., Nalchygr S.; "Integrated planning, supply, manufacturing and distribution supply chains using genetic algorithms"; Industrial Management, Vol. 1, No. 2, Summer 1388.
- Sadeghimoghadam M., (2006) .Modeling of supply chain with genetic algorithm approach, the journal Science Teacher, 46(1): 226-211.
- Shafiee M., Rezaee Z., Ebrahimi A.; "Strategic supply chain management"; Termeh Publication, Tehran, 1388.
- Soleimani G., Timurid A., Makooye A., (2011). Dynamic system modeling natural gas supply chain, National Conference on Energy, the eighth year.
- Tajima, M. (2016). Strategic value of RFID in supply chain management. Journal of Purchasing and Supply Management, 13, 261–273.
- Teimoory, A., Ahmady, M., (1388). Supply Chain Management, Iran University of Science and Technology.(Persian)
- Timuri A., Ahmad M.; "Supply chain management"; Tehran: Iranian Center for Science and Technology Press, 1388.
- Trivedi K., (1982). Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications, New Jersey: Prentice Hall.

- Tyndall G.; "The global supply chain challenge"; Supply Chain Management Review ,Vol. 3, No. 4, 2000.
- Viswandham N., (2001). Performance modeling of supply chain using queueing networks, Robotics and automation, conference publication, Singapore, 529-534.
- Vladislav Koksharov, (2016). Supply Chain Modelling, A Practical Approach, Applied Mathematical Modeling, 8(2):120-132.
- Youngsu L., Suk-Chul R., (2017). Quantitative Model for Supply Chain Visibility: Process Capability Perspective, 2(1) - 14-25.
- Zhu, J., (2014). Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, Third Edition. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. ISBN 978-3-319-06647-9.

## Supply Chain Analysis via the Queuing Theory Approach

Morteza Shafiee (Ph.D.)\*<sup>1</sup>

Mahsa Rafatmah <sup>2</sup>

-----  
Date of receipt: 2017.10.12

Date of acceptance:2018.05.19  
-----

### Abstract

An important issue in the supply chain concerns minimizing response time for the delivery of goods to the final destination, which can be achieved through selecting the correct route. The optimal path connecting the origin and destination nodes through the least intermediate nodes is called the shortest path. The shortest path in supply chain networks considered in this paper concerns the problem of sending an order from an original node to a destination node on a network which lacks a perfect and permanent fixed structure. The queuing theory measures were employed in the present enquiry to find out the shortest path. Initially, the supply chain and queuing network were concisely introduced and then, the two-input and three-stage supply chain of Balan Sanaat Company was displayed. Each input order to the supply chain is represented by two stochastic variables including the occurrence time and the number of commodities to be delivered. Further, the measures of the performance and productivity measures were extracted via the queuing network approach to serve the purpose of the study which was to compute the minimum response time for the delivery of items to the final destination along the three-stage network. The average number of items that can be delivered during this minimum response time constitutes the optimum capacity of the queuing network. At each stage of the queuing network, decisions regarding the most appropriate delivery route to the next node in the shortest possible time is made right at the preceding delivery node.

**Key Words:** Average Queue Length, Average Response Time, Average Waiting Time, Productivity, Supply Chain

---

1-Associate professor, Department of Industrial Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran  
shafiee@iaushiraz.ac.ir

2-Ph.D. Student, Department of Industrial Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran