مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوره‌ی ۱ - ۲۹، شماره‌ی ۱، ص. ۲۳-۳۱

Original Article

ارائه‌ی یک چارچوب تصمیم‌گیری برای بهبود عملکرد بنگاه‌های زنجیره‌ی عرضه با به‌کارگیری رگرسیون ریج

شهریار غیبی (کارشناس ارشد)
سیدتقی اخوان‌نیاکی * (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

پیچیدگی تصمیم‌گیری در زنجیره‌های عرضه باعث نیاز روزافزون به روش‌هایی برای مدل‌سازی این سیستم‌ها شده است. بسیاری از بنگاه‌های تولیدی و بازرگانی به دنبال مدل‌هایی هستند که به شناسایی رفتار بنگاه‌های زنجیره در شرایط مختلف و تصمیم‌گیری برای بهبود عملکرد آن‌ها کمک کند. این نوشتار روشی آماری برای مدل‌سازی و ارزیابی عملکرد یک بنگاه زنجیره‌ی عرضه پیشنهاد می‌کند. هدف از به کارگیری این روش، شناخت عوامل کلیدی تأثیرگذار بر عملکرد سیستم و پیش‌بینی رفتار آن در شرایط مختلف است. در این نوشتار دو معیار عملکرد پیشنهاد و رابطه‌ی آماری هریک، با عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم تعیین می‌شود. روابط کمّی به دست آمده یک چارچوب تصمیم‌گیری برای بهبود عملکرد سیستم در راستای راهبردهای رقابتی کل زنجیره فراهم می‌کند. کاربرد روش پیشنهادی در دنیای واقعی با یک مطالعه‌ی موردی نشان داده می‌شود.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی عرضه، رگرسیون، رگرسیون ریج.

gheibi_sh@yahoo.com
niaki@sharif.edu

۱. مقدمه

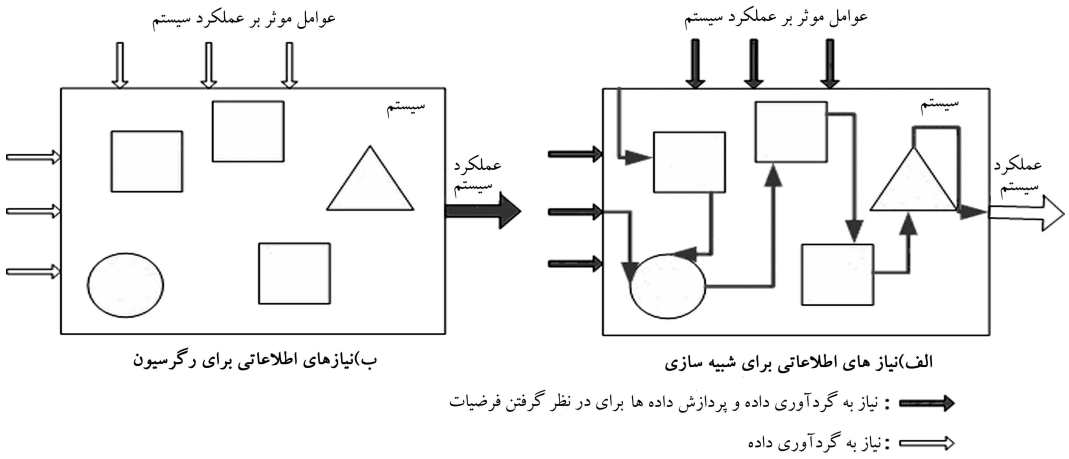
زنجیره‌ی عرضه سیستمی است پیچیده، متشکل از شبکه‌یی از بنگاه‌های مختلف که با هدف کسب سود از طریق برآوردن نیازی از مشتری، منابع و مواد اولیه را با ایجاد ارزش افزوده در هر مرحله از زنجیره، تبدیل به محصولی قابل تحویل به مشتری نهایی می‌کند. خصوصیات و پیچیدگی‌های این سیستم از زوایای گوناگون تحلیل و بررسی شده است. مکان‌یابی انبارها، کارخانه‌های تولید یا مراکز توزیع و فروش، تعیین ظرفیت آن‌ها، برنامه‌ریزی تولید و موجودی کالا، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کالا، انتخاب تأمین‌کننده، پیش‌بینی تقاضای مشتری، نحوه‌ی جریان اطلاعات و... تصمیماتی هستند که در این مبحث می‌گنجند، و گستردگی حوزه‌ی دانش زنجیره‌ی عرضه را نشان می‌دهند.

امروزه، جهانی‌شدن و رقابت شرکت‌های گوناگون برای دراختیارگرفتن بازارهای مختلف، تنوع کالاهای در دسترس مشتریان، و به‌تبع آن بالارفتن انتظار آن‌ها و کوتاه‌شدن دوره‌ی عمر محصولات، اهمیت هماهنگی راهبردهای تأمین با راهبردهای رقابتی کل زنجیره، در فضای عدم قطعیت را دوچندان ساخته است.[۱] این هماهنگی نیازمند نگرشی سیستمی به زنجیره‌ی عرضه برای هم‌راستایی عملکرد تمام اجزاء آن است. از این نظر، شناخت مجموعه‌یی از عوامل مؤثر که رفتار زنجیره‌ی عرضه و زیرسیستم‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن را تحت شرایط مختلف توضیح می‌دهند، اهمیت ویژه‌یی پیدا می‌کند.[۲] در زمینه‌ی مدل‌سازی عملکرد سیستم به‌کمک عوامل مؤثر در رفتار زنجیره‌ی عرضه، از تکنیک‌های شبیه‌سازی گسسته و پیوسته به‌صورت گسترده استفاده شده است. به کاربردن این تکنیک‌ها، علاوه بر هزینه‌بر بودن و نیازمندی آن به زمان کافی برای گردآوری اطلاعات از اجزای سیستم مورد مطالعه، به‌طور معمول نیازمند در نظرگرفتن پیش‌فرض‌هایی درمورد نحوه‌ی ارتباط سیستم با محیط بیرونی و همچنین عملکرد اجزای درونی سیستم است. هرچه سیستم مورد مطالعه پیچیده‌تر باشد به فرضیات بیشتری برای مدل‌سازی نیاز دارد که خود باعث فاصله‌گرفتن مدل از سیستم واقعی خواهد شد (شکل ۱الف).

در این مقاله برای رسیدن به یک چارچوب تصمیم‌گیری کمی، از تحلیل رگرسیون و مشخصاً رگرسیون ریج[۱][۳] در مدل‌سازی عملکرد بنگاه‌های تشکیل‌دهنده‌ی زنجیره‌ی عرضه، به‌عنوان یک سیستم استفاده شده است. به‌کارگیری روش پیشنهادی بر پایه‌ی تحلیل رگرسیون به‌عنوان یک ابزار آماری، نیاز به فرض خاصی در مورد ورودی‌های و عملکرد داخلی سیستم ندارد و تنها توزیع متغیرهای پاسخ، نرمال در نظر گرفته می‌شود که این فرض نیز با آزمون‌های رسمی آماری قابل بررسی و تأیید است (شکل ۱ب). همچنین نتایج کاملاً کمی و قابل فهم این روش، مقایسه‌ی ساده‌تر تصمیم‌های متفاوت را برای مدیران ممکن می‌سازد. پیچیدگی سیستم و به‌تبع آن همبستگی چندگانه میان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده از یک سو، و غیرخطی بودن روابط متغیرها از سوی دیگر، مدل‌سازی با رگرسیون خطی معمول را با مشکل مواجه می‌کند. در این مقاله توانایی رگرسیون ریج را در مدلسازی این گونه سیستم‌ها نشان می‌دهیم. یادآوری می‌شود شناخت رفتار

---

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۶/۶، اصلاحیه ۱۳۹۰/۲/۱۸، پذیرش ۱۳۹۰/۴/۸.



شکل ۱. مقایسه‌ی نیازهای اطلاعاتی شبیه‌سازی و رگرسیون.

نهاده‌های زنجیره‌ی عرضه[۲] به‌عنوان زیرسیستم‌های آن، نه‌تنها با مفهوم نگرش سیستمی به کل زنجیره منافاتی ندارد، بلکه می‌توان از نتایج به دست آمده برای هم‌سوکردن عملکرد تمام نهاده‌ها در راستای اهداف و راهبردهای کلی زنجیره استفاده کرد.

در بخش‌های بعدی این مقاله ابتدا مروری خواهیم داشت بر ادبیات بحث مرتبط، و پس از تشریح روش پیشنهادی، نتایج محاسباتی و چارچوب تصمیم‌گیری ارائه می‌شود. در ادامه تصدیق[۳] و اعتبارسنجی[۴] مدل، و نهایتاً نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

۲. مرور ادبیات

در این نوشتار زنجیره‌ی عرضه و مدیریت آن از زوایای گوناگون مورد پژوهش قرار گرفته است. در همین راستا پژوهش‌هایی مورد بررسی قرارگرفته‌اند که هدف از آن‌ها مدل‌سازی عملکرد زنجیره‌ی عرضه و نهاده‌های آن به‌عنوان یک سیستم و نحوه‌ی تصمیم‌گیری در این سیستم پیچیده بوده است.

بیشتر مطالعات اخیر در این خصوص به شبیه‌سازی گسسته و پیوسته‌ی رفتار زنجیره بازمی‌گردد. طبیعت پویای زنجیره‌ی عرضه عامل مهمی در سوق‌دادن پژوهش‌های مختلف به سمت استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم[۵] بوده است. شاید شناخته‌شده‌ترین مدل‌سازی پویا، «بازی نوشیدنی» در دهه‌ی ۱۹۶۰ باشد. محققین کاربرد این مدل‌سازی را با جزئیات بیشتری در فضای کسب و کار مورد بررسی قرار داده،[۴] و مشخصات یک سیستم شبیه‌سازی زنجیره‌ی عرضه را برای پشتیبانی مدیریت زنجیره تعیین کرده‌اند.[۵] آنان روشی تجربی برای طراحی ساختار یک زنجیره‌ی عرضه بر پایه‌ی مدل‌سازی پویا برای بازارهای محصولات با دوره‌ی عمر کوتاه ارائه کرده‌اند.[۶] چارچوبی که پژوهش‌گران برای مدل‌سازی پویای زنجیره‌ی عرضه پیشنهاد کرده‌اند[۷] نشان‌گر تأثیر پایایی برنامه‌ریزی تقاضا بر شاخص‌های مالی بنگاه است. مدل ارائه‌شده نیازمند تعیین توزیع آماری برای تمام عوامل مؤثر بر عملکرد ــ به‌عنوان ورودی سیستم ــ مانند تقاضای مشتریان، حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی موجودی و تأمین‌کنندگان است. علاوه‌بر مدل‌سازی پویا، در طول نیم قرن گذشته به‌سبب تشابه زنجیره‌ی عرضه با سیستم‌های پویای مهندسی، «نظریه‌ی کنترل[۶]» فراهم‌آورنده‌ی ابزارهای ریاضیاتی فراوانی برای مدل‌سازی و تحلیل زنجیره‌ی عرضه بوده است.[۸] بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه بر تعیین سیاست‌های سفارش‌گذاری برای بهینه‌کردن عملکرد سیستم متمرکز شده‌اند. برای نمونه، سیستم کنترل تولید براساس سفارش و موجودی[۷] که اولین‌بار به‌طور مفصل با درنظرگرفتن زمان پیوسته مورد مطالعه قرار گرفت،[۹] بعدها به مدل‌های مشابه دیگری توسط دیگر محققین بسط داده شد و منجر به ایجاد یک خانواده مدل به‌همین نام شد. در بررسی سیستم کنترل تولید براساس سفارش و موجودی[۱۰] از تصمیم‌گیری چندمعیاره[۸] در مدل‌سازیِ یک مورد واقعی استفاده شده است.

در دیگر پژوهش‌های اخیر که در آن‌ها شبیه‌سازی گسسته برای مدل‌سازی زنجیره‌ی عرضه مورد استفاده قرار گرفته، می‌توان به مرور مشکلات سهیم‌شدن بنگاه‌های یک زنجیره‌ی عرضه در جزئیات اطلاعاتی عملکرد خود[۱۱] و ارائه‌ی تکنیکی برای شبیه‌سازی کل زنجیره، بدون ورود به جزئیات اطلاعاتی هر نهاده اشاره کرد. در ادامه، به‌کمک الگوریتم ژنتیک روشی برای بهینه‌سازی چندمنظوره‌ی[۹] تصمیمات مربوط به سفارش‌دهی در یک زنجیره‌ی عرضه ارائه شد.[۱۲] در پایان می‌توان به مقاله‌یی اشاره کرد که در آن، دو معیار عملکرد «متوسط سطح موجودی» و «متوسط سطح خدمت» برای حلقه‌های مختلف زنجیره‌ی عرضه در نظر گرفته شده و به‌کمک نرم‌افزار اینا[۱۰] عملکرد زنجیره‌ی عرضه، به‌ویژه اثر شلاقی، با آزمون سناریوهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است.[۱۳]

نکته‌یی که در روش‌های مطرح‌شده باید به آن اشاره کرد این است که فرضیات متعددی که در این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود عموماً با واقعیت سازگاری ندارد و این امر کاربرد این مدل‌ها در دنیای واقعی را کاهش می‌دهد؛ فرض‌هایی مانند ثابت‌بودن زمان تحویل یا تولید و توزیع تک‌محصولی از این دسته‌اند.[۸]

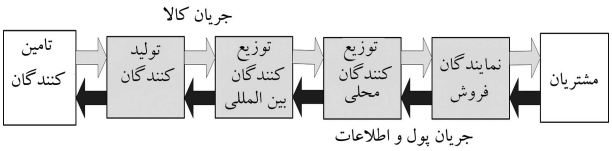
از ابزارهای مورد استفاده در اندازه‌گیری عملکرد زنجیره‌ی عرضه، می‌توان به کارت امتیازی لجستیک[۱۱] اشاره کرد. این روش برای ارزیابی و بهبود عملکرد زنجیره‌ی عرضه به کار می‌رود و معادل روش کارت امتیازی متوازن[۱۲] است. با وجود کاربرد نسبتاً گسترده‌ی این ابزار در بنگاه‌های تجاری، این ابزار نگرشی یک‌پارچه از عملکرد سیستم و توصیه‌یی برای بهبود عملکرد ارائه نمی‌کند، بلکه تنها فهرستی از معیارهای عملکرد است.[۱۴] با این وجود، از این ابزار می‌توان به‌عنوان یک مرجع در راستای تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد زنجیره استفاده کرد، هرچند این ابزار روابط و اثرات متقابل معیارهای در نظر گرفته شده را مشخص نمی‌کند. برای نمونه، میزان

تأثیر دقت پیش‌بینی[13] بر نرخ تحویل به هنگام[14] درکارت امتیازی لجستیک معلوم نیست و برای بهبود هریک از این معیارها ممکن است اقدامات مستقلی صورت گیرد.

تحلیل رگرسیون و دیگر ابزارهای آماری مانند «تحلیل عوامل[15]» در حوزه‌ی زنجیره‌ی عرضه،[15] بیشتر برای تحلیل داده‌های گردآوری شده از مطالعات و نظرسنجی‌های آماری و استنتاج قاعده‌های کلی کاربرد داشته است. مثلاً در تحقیقی،[16] طی یک نظرسنجی از ۶۰۰ شرکت در انگلستان و با استفاده از تحلیل عوامل و رگرسیون، عوامل مهم درکسب مزایای رقابتی ــ به‌ویژه اهمیت یک زنجیره‌ی عرضه‌ی چالاک[16] ــ مورد بررسی قرارگرفته است. همچنین با استفاده از همین روش و نظرسنجی از ۱۹۶ شرکت، تأثیر ابعاد مختلف یک زنجیره‌ی عرضه بر مزیت رقابتی و عملکرد سازمانی و رابطه‌ی آن‌ها نشان داده شده است.[17] اما براساس اطلاعات نگارندگان، هیچ‌یک از پژوهش‌های صورت‌گرفته تا پیش از نگارش این نوشتار، روشی برای استفاده از تحلیل رگرسیون با هدف شناخت رفتار و مدل‌سازی عملکرد یک زنجیره‌ی عرضه‌ی مشخص، یا سیستم‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن، ارائه نداده‌اند. این روش، یک چارچوب تصمیم‌گیری کمّی و قابل فهم برای مدیران ارائه می‌کند و فرضیات آن نسبت به دیگر تکنیک‌های مدل‌سازی، به دنیای واقعی نزدیک‌تر است. علاوه بر این، اجرای این روش ــ در مقایسه با شبیه‌سازی ــ نیازمند زمان و هزینه‌ی به‌مراتب کم‌تری برای گردآوری اطلاعات است. همین نکته موجب می‌شود که زنجیره‌ی عرضه در دوره‌های زمانی متعدد قابلیت مدل‌سازی مجدد و بازنگری در نتایج به دست آمده را داشته باشد.

۳. شرح روش پیشنهادی

در این بخش گام‌های روش پیشنهادی این مقاله به همراه نتایج به دست آمده از اجرای آن‌ها بر داده‌های بنگاه مورد مطالعه، به‌تفکیک شرح داده می‌شود. بنگاه مورد مطالعه یکی از شرکت‌های وابسته به یک شرکت بین‌المللی تولید و توزیع محصولات برقی است که عهده‌دار وظیفه‌ی توزیع این محصولات در ایران است. این بنگاه در زنجیره‌ی عرضه، یک توزیع‌کننده‌ی محلی[17] به‌شمار می‌آید که در سطح چهارمِ یک زنجیره‌ی شش‌سطحی قرار می‌گیرد. در شکل ۲ سطوح زنجیره و موقعیت بنگاه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۲. موقعیت بنگاه مورد مطالعه در زنجیره، به‌عنوان توزیع‌کننده‌ی محلی.

۱.۳. تعیین شاخص‌ها و عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم

پیش ازگردآوری داده و مدل‌سازی عملکرد سیستم، باید شاخص‌های عملکرد سیستم ــ به‌عنوان متغیر پاسخ (وابسته) ــ و نیز عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم ــ به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی (مستقل) رگرسیون ــ مشخص شوند. درمورد نقش مهم این عوامل و شاخص‌ها در عملکرد موفق یک سیستم نمی‌توان اغراق کرد، زیرا تأثیر آن‌ها بر برنامه‌ریزی و کنترل راهبردی و عملیاتی یک سیستم انکارناپذیر است.[18] تعیین این متغیرها با استفاده از منابع علمی در زمینه‌ی زنجیره‌ی عرضه، و نیز با مشاوره‌ی خبرگان این رشته صورت گرفت.

درمورد شاخص‌های عملکرد، با توجه به تمرکز بنگاه‌های تجاری بر رضایت مشتری، سطح خدمت[18] از مهم‌ترین شاخص‌های عملکرد آن‌ها به شمار می‌آید. این شاخص به‌صورت درصد، و با نسبت‌گیری تحویل به هنگام سفارش‌های مشتریان بر کل سفارش‌ها محاسبه می‌شود. سطح خدمت عموماً به‌عنوان معیاری از اثربخشی عملکرد سیستم‌های عرضه مطرح شده است. شاخص بعدی، نسبت هزینه‌ی تأمین به کل فروش[19] است که به‌عنوان معیاری از کارایی عملکرد سیستم در نظر گرفته می‌شود. این شاخص نیز به‌صورت درصد محاسبه می‌شود و روشن است که هرچه مقدار آن کم‌تر باشد نشانه‌ی کارایی بیشتر است.

عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم، پس از چندین بار بازنگری، در نهایت به‌صورت مجموعه‌ی ارائه‌شده در جدول ۱ در نظر گرفته شد. مواردی چون اهمیت عوامل از نظر علمی و تجربی، وجود یا عدم وجود داده‌های مربوطه، میزان دسترسی و زمان مورد نیاز برای گردآوری آن‌ها، قابل کنترل‌بودن و میزان تنوع داده‌های مرتبط، در تعیین مجموعه عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم نقش داشته‌اند. لازم به توضیح است که این مجموعه در واقع مجموعه‌یی از عواملی است که می‌توانند بالقوه در مدل رگرسیون حضور داشته باشند و به‌طور رسمی به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر شناسایی شوند.

جدول ۱. عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم و تعریف آن‌ها.

عوامل مؤثر بر عملکرد	تعریف
مدت زمان تحویل (LT)	میانگین مدت زمان دریافت کالا از تأمین‌کنندگان (روز): Lead Time
میزان پراکندگی مدت زمان تحویل (LT_Dev)	انحراف استاندارد مدت زمان‌های تحویل (روز): LT Deviation
خطای پیش‌بینی (FE)	نسبت میزان اختلاف (منفی یا مثبت) پیش‌بینی با تقاضای واقعی (نسبت): Forecast Error
سطح خدمت تأمین‌کنندگان (SSR)	میانگین سطح خدمت تأمین‌کنندگان (درصد): Supplier Service Rate
تأخیر در تحویل کالا از طرف تأمین‌کنندگان (SuDel)	میانگین تأخیر تأمین‌کنندگان در هر سفارش (روز): Supplier Delay
پوشش موجودی (Stk.Cov.)	نسبت موجودی در دست و در راه به میانگین تقاضا (روز): Stock Coverage
عمق تقاضای انباشته (Bklg_Dp)	نسبت تقاضای انباشته به فروش (ماه): Backlog Depth
تعداد کل محصولات قابل تحویل به مشتری (Items)	تعداد کل محصولات قابل تحویل به مشتری (Items)
نسبت استفاده از حمل و نقل سریع (ExTr)	نسبت سفارش‌های تأمین‌شده با حمل سریع به کل سفارش‌ها: Express Transportation Rate
تعداد سفارش‌های مشتری در ماه (NTO)	Number of Total Orders

۲.۳. گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها

پس از مشخص‌شدن متغیرهای پاسخ و پیش‌بینی‌کننده‌ی مدل رگرسیون، گردآوری مشاهدات از متغیرهای پاسخ و مقدار متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی متناظر آن‌ها مطرح می‌شود. داده‌های مربوط به متغیرهای مدل از سه سال میلادی ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ ــ یعنی ۳۶ مشاهده از ۳۶ ماه ــ برای مدل‌سازی و از سال ۲۰۰۷ برای اعتبارسنجی مدل گردآوری شد. البته به‌دلیل پاره‌یی تغییرات مدیریتی و مشکلاتی که منجر به طولانی‌شدن استقرار مدیر جدید بازرگانی در اواخر سال ۲۰۰۷ شد، مشاهدات متغیرهای پاسخ که شاخص‌های عملکرد به‌شمار می‌آیند، به‌طور رسمی در چند ماه از این سال در دسترس نبود. از این منظر اعتبارسنجی مدل با داده‌های مربوط به کم‌تر از ۱۲ ماه سال ۲۰۰۷ صورت گرفت که در بخش خود به‌تفصیل شرح داده می‌شود.

آماده‌سازی داده‌ها شامل بررسی پلات‌های روابط متغیرها و همچنین روند آن‌ها در طول زمان به‌منظورکشف داده‌های پرت یا اشتباه به‌صورت کیفی و همچنین روابط میان متغیرهاست. در این مرحله داده‌ی پرتی مشاهده نشد، اما متغیرهای پاسخ، انحراف زیادی از فرض نرمال‌بودن مشاهدات نشان می‌دادند. در نهایت با تبدیل لاجیت[۲۰] روی مشاهدات SL و تبدیل لگاریتم روی مشاهدات LCS، برای این دو متغیر فرض نرمال‌بودن پذیرفتنی شد. بنابراین در بخش مدل‌سازی به جای این دو متغیر به‌ترتیب $\ln(SL/(1-SL))$ و $\log(LCS)$ روی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برازش یافت. از ابتدا نیز انتظار می‌رفت که رابطه‌ی خطی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پاسخ نتواند به‌درستی پیچیدگی‌های سیستم را مدل کند. بنابراین رابطه‌ی خطی بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و تبدیل متغیرهای پاسخ (و نه خود متغیرهای پاسخ) به دست خواهد آمد.

نکته‌ی مهم دیگری که در این بخش مورد توجه قرار گرفت، تأخیر اثر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر متغیرهای پاسخ است. برای نمونه، از آنجا که پیش‌بینی تقاضا در هر ماه برای ماه‌های پیشِ رو صورت می‌گیرد، مقدار خطای تقاضای پیش‌بینی شده (FE) مربوط به کم‌ترین افقی از پیش‌بینی است که در همین ماه بتوان برای آن برنامه‌ریزی کرد و آن را تغییر داد. با توجه به نحوه‌ی فرایند پیش‌بینی در این بنگاه، این عامل سه ماه دیگر بر سطح خدمت اثرگذار خواهد بود. یعنی برای FE یک تأخیر اثر سه‌ماهه باید در نظر گرفت. این تأخیر اثرها، با مشورت با خبرگان کار و همچنین مشاهده‌ی پلات‌های روابط و روند، برای سایر متغیرهای مدل نیز تعیین شد.

۳.۳. مدل‌سازی

پس از گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها، مدل‌سازی قابل انجام است. در این بخش به تفکیک به مراحل انجام مدل‌سازی خواهیم پرداخت. نخست باید اشاره کرد که با توجه به پیچیدگی‌های روابط سیستم و برای در دست داشتن اثرات متقابل احتمالی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل، تمام زوج‌های ممکن از ۱۰ عامل اصلی نیز به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در نظر گرفته شدند. برای نمونه LT*LT_Dev، یکی از این زوج‌ها و نشان‌گر اثر متقابل میان LT و LT_Dev است؛ بنابراین ۵۵=۴۵+۱۰ متغیر پیش‌بینی‌کننده برای مدل‌سازی به کار رفته است. در ادامه، مدل‌سازی SL تشریح خواهد شد، مدل‌سازی LCS به‌طور مشابه انجام شده و فقط نتایج آن آمده است. گام‌های مدل‌سازی با کمک نرم‌افزار MINITAB ۱۴ صورت گرفته است.

۱.۳.۳. تشخیص همبستگی خطی چندگانه

همبستگی میان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، یکی از عوامل مهمی است که اعتبار مدل را دچار خدشه می‌کند. از این نظر با توجه به این که سیستم مورد مطالعه یک سیستم پیچیده است و استقلال متغیرهای پیش‌بینی‌کننده محرز نیست، آزمون همبستگی چندگانه میان این متغیرها ضروری است. یکی از راه‌های تشخیص این مسئله که در این پژوهش به کار رفته، بررسی عوامل تورم واریانس (VIF)[۲۱] است. برای این منظور نخست با به کار بردن رگرسیون گام به گام[۲۲] روی همه‌ی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، مجموعه‌ی اولیه‌یی از متغیرهای اصلی به دست آمد. سپس با برازش این متغیرها روی متغیر پاسخ SL، مشاهده شد که VIFها میانگینی بیش از ۴ دارند و این نشان‌گر جدی‌بودن عوامل تورم واریانس است. یکی از راه‌های مقابله با اثر این مسئله بر نتایج مدل، به کاربردن تبدیل همبستگی است که ضمن بی‌واحدکردن مقادیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، موجب کاهش عوامل تورم واریانس می‌شود. این تبدیل روی تمام این متغیرها انجام شد.

۲.۳.۳. رگرسیون گام به گام برای پیدا کردن بهترین‌ترکیب از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده

با انجام تبدیل همبستگی و امید به کاهش عوامل تورم واریانس و رسیدن به مقادیر مناسب، روی همه‌ی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد. پارامترهای این رگرسیون، شامل F_{in} و F_{out}، به‌ترتیب ۴ و ۳٫۹ در نظر گرفته شد که مقادیری معمول برای این نوع رگرسیون است و نسبت به ورود متغیرها به‌ترکیب، آسان‌گیری می‌کند.

با برازش متغیر پاسخ روی متغیرهای اصلی مشخص‌شده توسط رگرسیون گام به گام، باز هم عوامل تورم واریانس با میانگینی در حدود ۴ جدی نشان دادند. بدین‌ترتیب با توجه به این که در مدل‌سازی آماری چنین سیستمی امکان افزودن مشاهدات یا طراحی آزمایش‌ها برای بهبود مدل وجود نداشت،[۱۹] از رگرسیون ریج برای مقابله با همبستگی شدید چندگانه‌ی موجود استفاده شد. در ادامه‌ی این مقاله، اثربخشی این نوع رگرسیون در مدل‌سازی چنین سیستم‌هایی نشان داده می‌شود.

۳.۳.۳. رگرسیون ریج

برای یافتن مناسب‌ترین ترکیب از متغیرهای مستقل در رگرسیون ریج گام‌های زیر انجام شد. با تشریح دو شرط اساسی مد نظر در زیر و گام‌های مزبور عبارت «مناسب» روشن‌تر خواهد شد. دو شرط زیر، درواقع برای تصدیق مدل در نظر گرفته شده‌اند.

شرط ۱: از بین تمام اثرات متقابل، تنها اثرات معنادار برای اجرای گام ۱ در نظر گرفته می‌شوند. منظور از «معنادار» آن است که دو متغیر حاضر در اثر متقابل از نظر منطقی نباید اثر غیرهمسو بر متغیر پاسخ داشته باشند.

برای نمونه، LT و Stk.Cov. به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش سطح خدمت می‌شوند و بنابراین تأثیری غیرهمسو بر سطح خدمت، به‌عنوان متغیر پاسخ، دارند. از این نظر اثرات متقابلی همچون LT*Stk.Cov. که باعث پیچیدگی مدل می‌شوند و در بسیاری از موارد غیر قابل تفسیر به نظر می‌رسند، «معنادار» تلقی نشده و از مجموعه‌ی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده حذف شدند. یادآور می‌شود که برای برخی متغیرها نمی‌توان اثر از قبل پیش‌بینی شده‌یی در نظر گرفت و بسته به شرایط ممکن است اثرات متفاوتی داشته باشند؛ در این صورت اثرات متقابل آن‌ها از مدل حذف نمی‌شوند. برای نمونه، تعداد محصولات قابل تحویل به مشتری (Items) را، اگرچه معیاری از گستردگی فعالیت‌های بنگاه است نمی‌توان مطمئناً

اثر منفی بر سطح خدمت در نظر گرفت، زیرا درصورت رشد هماهنگ منابع و امکانات بنگاه، رشد فعالیت‌های آن حتی می‌تواند اثر مثبت بر عملکرد داشته باشد.

شرط ۲: ترکیب‌هایی از متغیرهای مستقل «پذیرفتنی» هستند که اثر هر متغیر حاضر در ترکیب، در انطباق با واقعیت قابل توجیه باشد.

برای نمونه، مطابق انتظار هرچه خطای پیش‌بینی مثبت‌تر باشد ــ یعنی بنگاه تقاضای بیشتری از مشتریان انتظار داشته باشد ــ سطح خدمت افزایش می‌یابد، در عین حال موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش کارایی سیستم می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود خطای پیش‌بینی (FE) در SL و نیز در LCS اثر مثبت داشته باشد.

گام‌های انجام شده برای مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون ریج و با توجه به دو شرط اساسی بالا عبارت است از:

۱. نخست به‌کمک نرم‌افزار MINITAB ۱۴ برای هریک از مجموعه ترکیب‌های با تعداد متغیر مستقل یکسان، پنج ترکیب بهتر از لحاظ معیار ضریب تعیین تنظیم‌شده[۲۳]، از بین تمام ترکیب‌های ممکن شامل متغیرهای مستقل «معنادار» مشخص شد.

۲. سپس همه‌ی ترکیب‌های با R-sq(adj) بیشتر از ۸۰٪ به‌عنوان ترکیب‌های قابل بررسی برگزیده شدند.

۳. با اولویت‌دادن به ترکیب‌های با تعداد متغیر کم‌تر، شرط «پذیرفتنی‌بودن» برای ترکیب‌های گزینش شده بررسی شد و اولین ترکیب واجد شرایط به‌عنوان مناسب‌ترین ترکیب برای مدل‌سازی با رگرسیون ریج مشخص شد.

۴. پارامتر رگرسیون ریج به‌طور معمول و رایج به‌صورت کیفی و با دنبال‌کردن همگرایی ضرایب مدل رگرسیون روی نمودار تعیین شد.

نکته‌یی که در اینجا لازم است به آن اشاره شود این است که برای آزمون شرط پذیرفتنی‌بودن، با توجه به این که ضرایب مدل رگرسیون با اعمال رگرسیون ریج دچار تغییر خواهد شد، باید پس از انجام رگرسیون ریج روی ترکیب مورد نظر، اثر متغیرهای آن روی متغیر پاسخ بررسی شود. گرچه این فرایند در نگاه نخست به نظر زمان‌بر می‌رسد، ساختار رگرسیون ریج را می‌توان به‌آسانی روی چند برگه از نرم‌افزار EXCEL پیاده‌سازی و با جایگزینی ترکیب‌های مختلف، محاسبات لازم را انجام داد.

۴. نتایج محاسباتی، ارائه‌ی چارچوب تصمیم‌گیری

۱.۴. نتایج محاسباتی

مناسب‌ترین ترکیب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای دو متغیر پاسخ و ضریب هر متغیر تا ۸ رقم اعشار در جداول ۲ آمده است. باید یادآور شد که این ضرایب، ضرایب مدل برازش شده روی تبدیل متغیرهای پاسخ اصلی است.

پارامترهای رگرسیون ریج (C) برای مدل مربوط به دو متغیر پاسخ SL و LCS به‌ترتیب ۰٫۰۰۸ و ۰٫۰۳۸ در نظر گرفته شده که نتایج بالا از تعیین این مقادیر به دست آمده‌اند.

از آنجا که با افزایش مقدار پارامتر ریج، اریبی ضرایب رگرسیون نسبت به برآورد نقطه‌یی آن‌ها افزایش و از طرف دیگر واریانس این ضرایب کاهش می‌یابد، برای تعیین بهترین مقدار پارامتر ریج روش‌های مختلفی مورد پژوهش قرار گرفته است. اما چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، در این نوشتار روش مرسوم کیفی، که همگرایی ضرایب مدل رگرسیون را برای تعیین پارامتر مورد توجه قرار می‌دهد، به کار رفته است. در تعیین پارامتر ریج به‌طور کیفی سعی بر آن بوده تا بین اریبی ضرایب و واریانس آن‌ها توازن برقرار باشد. البته با تحلیل حساسیت می‌توان نشان داد تغییرات معقول مقدار پارامتر، نتایج مدل را دچار خدشه نخواهد کرد. نمودارهای ۱ و ۲ همگرایی ضرایب مدل رگرسیون ریج و نحوه‌ی انتخاب این پارامترها را نشان می‌دهد. در این نمودارها Biها نماینده‌ی ضرایب مدل رگرسیون ریج‌اند. معیار R-sq(adj) برای مدل‌های برازش شده با استفاده از رگرسیون ریج برای LCS و SL به‌ترتیب ۸۳٫۵۹٪ و ۷۰٫۲۰٪ است در حالی که این معیار بدون کاربرد

جدول ۲الف. رابطه‌ی رگرسیونی تبدیل لاجیت SL با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده.

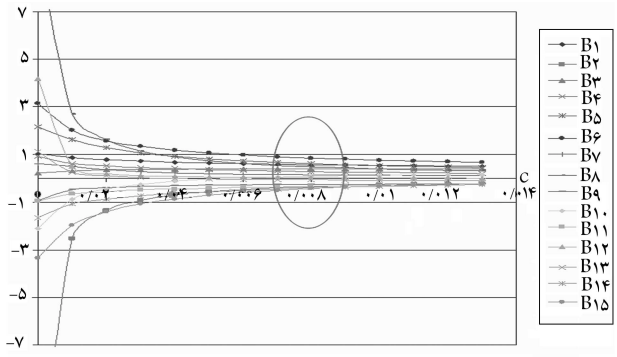
ln(SL/(۱-SL))=	Intercept	FE	SuDel	Stk. Cov.	Bklg_Dp	Itms
	−۲٫۴۶۸۰۲۶۶۵	۳٫۰۶۴۴۸۴۲۶	−۰٫۰۳۴۶۸۱۰۹	۰٫۰۰۷۸۸۸۵۵	۱٫۱۰۰۳۲۲۲۸	۰٫۰۰۰۶۰۷۸۹

NTO	LT*LT_Dev	LT*SuDel	LT*NTO	LT_Dev*SuDel
۰٫۰۰۱۲۱۵۷۷	۰٫۰۰۰۰۵۴۹۷	۰٫۰۰۰۲۹۰۱۶	−۰٫۰۰۰۰۰۷۴۵	۰٫۰۰۰۱۳۰۱۶

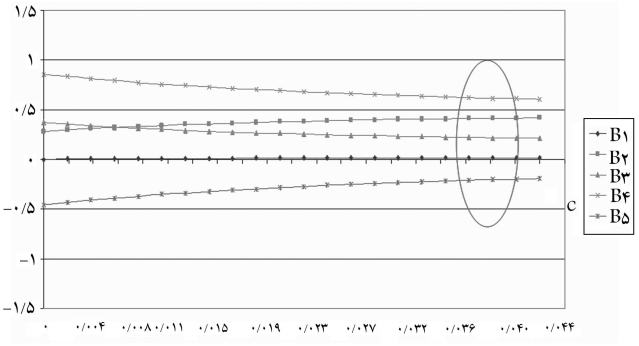
FE*Stk. Cov.	SuDel*Itms	SuDel*NTO	Bklg_Dp*Itms	Itms*NTO
−۰٫۰۱۱۲۶۱۴۱	۰٫۰۰۰۰۰۱۱۱	−۰٫۰۰۰۰۰۶۱۸	−۰٫۰۰۰۲۲۰۹۸	−۰٫۰۰۰۰۰۰۰۹

جدول ۲ب. رابطه رگرسیونی لگاریتم LCS با متغیرهای پیش‌بینی‌کننده.

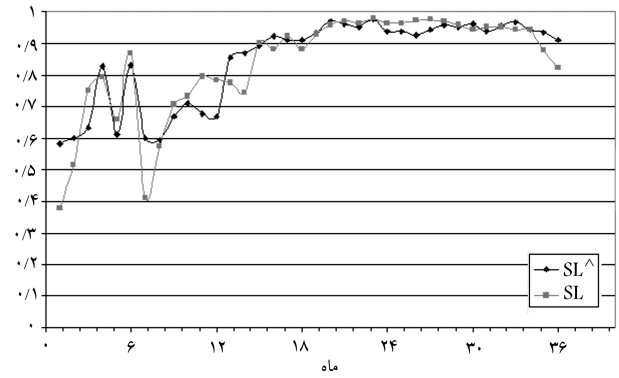
log(LCS)=	Intercept	Su Del	Stk Cov.	StkCov*Bklg_Dp	LT* FE	FE* Bklg_Dp
	۰٫۶۱۸۹۶۰۷۵	۰٫۰۰۰۲۷۸۸۶	۰٫۰۰۱۵۳۰۴۷	۰٫۰۰۰۷۰۹۴۱	۰٫۰۰۶۲۶۵۲۱	−۰٫۱۴۲۰۰۴۷۴



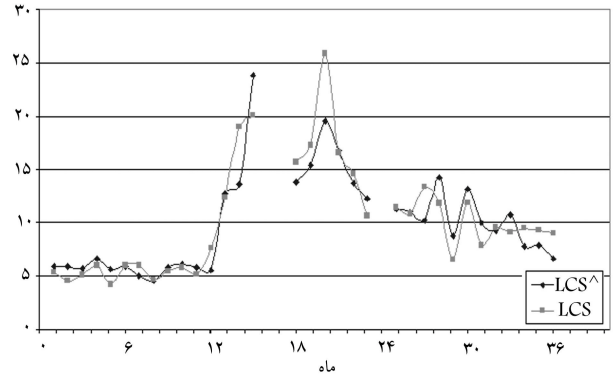
نمودار ۱. همگرایی ضرایب رگرسیون ریج و انتخاب پارامتر ریج برای مدل مربوط به SL.



نمودار ۲. همگرایی ضرایب رگرسیون ریج و انتخاب پارامتر ریج برای مدل مربوط به LCS.



نمودار ۳. برآورد SL توسط مدل (SL^) در برابر مقدار مشاهده‌شده‌ی (SL).



نمودار ۴. برآورد LCS توسط مدل (LCS^) در برابر مقدار مشاهده‌شده‌ی (LCS).

رگرسیون ریج به‌ترتیب ۸۴٫۴۰٪ و ۹۰٫۳۸٪ است. چنان که مشاهده می‌شود، کاربرد رگرسیون ریج با هدف مقابله با اثرات منفیِ همبستگی چندگانه میان متغیرهای مستقل بر مدل، و پایداری ضرایب مدل رگرسیون و به‌تبع آن منسجم[۲۴] شدن مدل، باعث کاهش تناظر خطی مدل ــ به‌ویژه برای مدل‌سازی SL ــ می‌شود. گرچه این امر با توجه به شرط‌های قرار داده شده برای تضمین درستی مدل اجتناب‌ناپذیر است، اعتبارسنجی مدل در ادامه نشان خواهد داد که نتایج مدل به‌خوبی با واقعیت سازگار است. نمودارهای ۳ و ۴ نشان‌گر برآورد متغیرهای پاسخ در مقایسه با مقادیر مشاهده‌شده‌ی آن‌ها طی ۳۶ ماه است. گسستگی نمودار ۴ به‌سبب حذف نقاط پرت تشخیص داده‌شده توسط نرم‌افزار از مدل است.

چنان که مشاهده می‌شود، مدل رگرسیون ریج به‌خوبی عملکرد واقعی را برآورد می‌کند. حتی درمورد مدل SL با وجود کاهش تناسب مدل به‌خاطر به‌کاربردن رگرسیون ریج، به نظر می‌آید تنها هنگامی که یک شوک عملکردی غالباً منفی به سیستم وارد شده، برآورد مدل از میزان واقعی کمی دور است. در این‌گونه مواقع، نشان دادن این شوک‌ها توسط مدل کافی به نظر می‌رسد زیرا اختلال و ضعف عملکرد به‌قدری است که پیش‌بینی میزان دقیق آن‌ها مطلوبیت چندانی ندارد. به‌بیان بهتر با کمک رگرسیون ریج مدل‌هایی ساخته شده که در دامنه‌ی مناسبی از شرایط سیستم، قابلیت پیش‌بینی مطلوبی دارد و در شرایط خاص به‌طور مناسب تغییرات ناگهانی را نشان می‌دهد. این مدل‌ها به‌اندازه‌ی مدل رگرسیونی معمولی در این‌گونه شرایط دقیق نیستند، اما این امر در برابر مزایای معنادارشدن ضرایب مدل و انسجام بیشتر آن اهمیت چندانی به لحاظ کاربردی ندارد.

۲.۴. چارچوب تصمیم‌گیری

با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل‌سازی سیستم مورد مطالعه، می‌توان یک چارچوب تصمیم‌گیری ایجاد کرد. این چارچوب اثر هریک از متغیرهای مستقل بر عملکرد سیستم را نشان می‌دهد و از آنجا که روش مطرح شده در این مقاله این اثرات را به‌صورت کمّی محاسبه می‌کند، می‌توان اثر هر تصمیم را که متناظر با تغییر متغیرهای مستقل است، بر عملکرد سیستم مشخص و تصمیمی اتخاذ کرد که بیشترین بهبود را بر عملکرد سیستم یا هماهنگی با راهبردهای رقابتی زنجیره دارد.

در جدول ۳ اثر هر متغیر مستقل که علاوه بر ضریب آن در مدل رگرسیون، به ضریب اثرات متقابلی که این متغیر در آن‌ها حضور دارد و نیز مقدار دیگر متغیرِ تشکیل‌دهنده‌ی اثر متقابل، بستگی دارد آمده است. این اثرات با در نظرگرفتن مقادیرِ میانگین متغیرهای مستقل و ضرایب تخمینی آن‌ها به دست آمده‌اند. متغیرهای مستقلی (متغیرهای ۱-۵) که قابلیت کنترل و تصمیم‌گیری به‌مراتب بیشتری دارند. اثرات به دست آمده در دامنه‌ی تجربی[۲۵] مقادیر متغیرهای مستقل به‌کاررفته در مدل، با اثر مورد انتظار کاملاً مطابقت دارد. از بین تمام اثرات، تنها اثری که نیاز به توضیح دارد اثر LT_Dev بر SL است که مثبت به دست آمده و البته قابل توجیه است. از آنجا که LT_Dev همبستگی زیادی با مقدار LT دارد و با زیاد یا کم‌شدن آن، به‌طور همسو افزایش و کاهش می‌یابد، می‌توان آن را متغیری متأثر از متغیر قابل کنترل

جدول ۳. اثرات متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بر متغیرهای پاسخ.

	اثر بر SL		اثر بر LCS	
۱	۱٫۷۱۳۱۱۵	FE	۰٫۳۳۰۸۱۱	FE
۲	−۰٫۰۲۱۷۳	SuDel	۰٫۰۰۰۲۷۹	SuDel
۳	۰٫۰۰۶۷۶۲	StkCov	۰٫۰۰۲۳۸۲	StkCov
۴	−۰٫۷۷۸۰۵	Bklg_Dp	۰٫۰۷۰۹۲۹	Bklg_Dp
۵	−۰٫۰۲۳۸۱	LT	۰٫۰۰۰۶۲۷	LT
۶	۰٫۰۰۵۰۴۸	LT_Dev		
۷	۰٫۰۰۰۰۳۳	Itmes		
۸	−۰٫۰۰۰۱۸	NTO		

LT دانست. اثر LT بر SL منفی با اندازه‌یی به‌مراتب بیشتر است. به بیان دیگر اثر LT_Dev به‌نوعی تعدیل‌کننده‌ی اثر منفی LT در مدل است.

در جدول ۳ تأثیرگذاری بیشتر خطای پیش‌بینی (FE) بر هر دو شاخص عملکرد آشکار است. بنابراین پیش‌بینی مهم‌ترین حوزه برای بهبود متوازن سیستم به لحاظ کارایی و اثربخشی به شمار می‌آید.

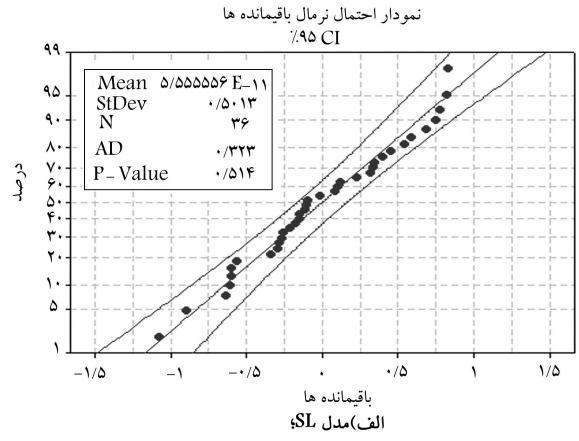
۵. تصدیق و اعتبارسنجی مدل

۱.۵. تصدیق مدل

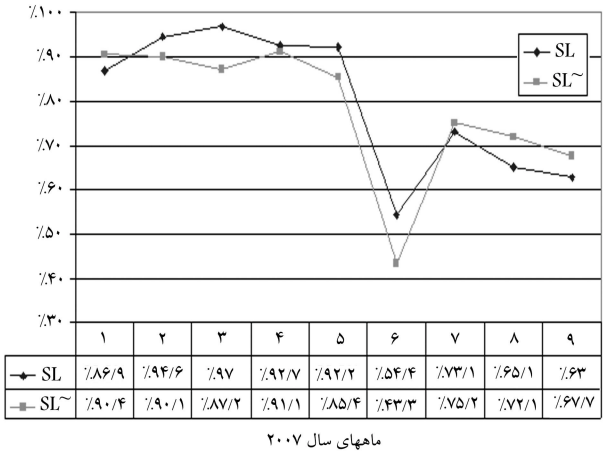
برای تصدیق مدل، علاوه بر رعایت شرط‌های «معنادار بودن» و «پذیرفتنی‌بودن» که متضمن درستی مدل به‌لحاظ منطقی‌اند، دو فرض اساسی باید روی باقی‌مانده‌ها[۲۶] آزموده شود. این دو فرض عبارت است از: ۱. نرمال‌بودن عناصر خطا؛ ۲. ثابت‌بودن واریانس آن‌ها، که دومی به‌مراتب اهمیت بیشتری دارد. برای آزمون ثابت‌بودن واریانس عناصر خطا از آزمون اصلاح‌شده‌ی لیوین[۲۷] استفاده شده است. مقادیر آماره‌ی آزمون برای SL و LCS به‌ترتیب ۰٫۵۰ و ۱٫۳۰ به دست آمد که در سطح معناداربودن ۰٫۰۵ به‌ترتیب از مقادیر بحرانی $t_{0,975;31} \approx 2,04$ و $t_{0,975;34} \approx 2,03$ کم‌تر است، و درنتیجه فرض صفر که برابری واریانس‌هاست قابل ردکردن نیست. برای آزمون نرمال‌بودن عناصر خطا، از آماره‌ی اندرسون ـ دارلینگ[۲۸] استفاده شده که در نمودارهای ۵ می‌توان مقادیر آزمون و p-value مربوطه را مشاهده کرد. مقادیر بزرگ p-value نشان‌دهنده‌ی پذیرش فرض صفر، و درنتیجه نرمال‌بودن عناصر خطاست. خطی‌بودن تقریبی عناصر خطا روی کاغذ نرمال نیز این فرض را قابل قبول نشان می‌دهد. خطوط طرفین خط راست، بازه‌ی اطمینان ۹۵ درصدی را نشان می‌دهند.

۲.۵. اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل، داده‌های سال ۲۰۰۷ میلادی گردآوری شد. چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، به‌دلیل پاره‌یی مسائل، برای SL داده‌های مربوط به ۹ ماه، و برای LCS داده‌ها مربوط به ۶ ماه قابل گردآوری بودند. از آنجا که این داده‌ها در مدل‌سازی نقش نداشتند، می‌توان برای بررسی انطباق مدل با واقعیت، پیش‌بینی مدل را با این مشاهده‌ها مقایسه کرد. نمودارهای ۶ و ۷ به‌خوبی نزدیکی پیش‌بینی مدل از عملکرد سیستم با مقادیر واقعی آن‌ها را نشان می‌دهد.



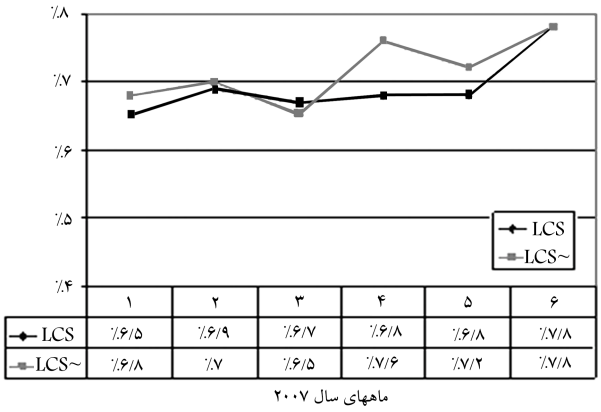
نمودار ۵. آزمون نرمال‌بودن عناصر خطای مدل SL و LCS.



	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
SL	٪۸۶/۹	٪۹۴/۶	٪۹۷	٪۹۲/۷	٪۹۲/۲	٪۵۴/۴	٪۷۳/۱	٪۶۵/۱	٪۶۳
SL~	٪۹۰/۴	٪۹۰/۱	٪۸۷/۲	٪۹۱/۱	٪۸۵/۴	٪۴۳/۳	٪۷۵/۲	٪۷۲/۱	٪۶۷/۷

نمودار ۶. پیش‌بینی مدل در مقایسه با عملکرد واقعی (SL).

در نمودار ۶ و جدول ضمیمه‌ی آن مشخص است که به‌جز دو مورد ــ که در یکی از آن‌ها عملکرد سیستم با افتی ناگهانی مواجه شده و درکم‌ترین سطح عملکرد سیستم است و در دیگری بیش‌ترین سطح عملکرد را شاهد هستیم ــ خطای پیش‌بینی (مقدار اختلاف پیش‌بینی با مقدار واقعی) حدود ۱۰ درصد است. در سایر موارد خطای پیش‌بینی به‌طور میانگین ۴ درصد است و از ۷ درصد فراتر نمی‌رود. درکل نیز میانگین خطای پیش‌بینی کمی بیشتر از ۵ درصد است. با توجه به



	۱	۲	۳	۴	۵	۶
LCS	٪۶/۵	٪۶/۹	٪۶/۷	٪۶/۸	٪۶/۸	٪۷/۸
LCS~	٪۶/۸	٪۷	٪۶/۵	٪۷/۶	٪۷/۲	٪۷/۸

نمودار ۷. پیش‌بینی مدل در مقایسه با عملکرد واقعی (LCS).

ازدیاد عوامل مختلف درونی و بیرونی که به‌طور تصادفی بر چنین سیستم پیچیده‌یی تأثیرگذارند، این نتایج اعتبار مدل و قابلیت روش ارائه‌شده در مدل‌سازی سیستم را نشان می‌دهد. همچنین این نمودار نشان‌دهنده‌ی قابلیت مدل در پیش‌بینی عملکرد سیستم تحت شرایط متفاوت است، زیرا مدل حتی هنگام افت ناگهانی و پس از آن بهبود تدریجی وضعیت نیز، که شرایطی غیرعادی به شمار می‌آید، به‌طور مناسبی مقادیر واقعی را پیش‌بینی می‌کند.

در نمودار ۷ که مربوط به شاخص LCS است، سازگاری مدل با واقعیت به‌خوبی آشکار است. در مدل LCS به‌دلیل کم‌تربودن متغیرهای مورد نیاز برای توضیح رفتار سیستم نسبت به مدل SL و درنتیجه کاهش همبستگی چندگانه میان متغیرها، پیش‌بینی‌ها انطباق بیشتری با مشاهدات واقعی دارند، به‌طوری که میانگین خطای پیش‌بینی ۳/۰ درصد است که البته با توجه به اندازه و دامنه‌ی متغیر پاسخ، مطلوب است.

۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار روشی گام‌به‌گام برای مدل‌سازی عملکرد یک سیستم عرضه از دو دیدگاه کارایی و اثربخشی، با استفاده از تحلیل رگرسیون -- و مشخصاً رگرسیون ریج -- ارائه شد. قابلیت این روش در شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد و پیش‌بینی رفتار سیستم تحت شرایط متفاوت مورد بررسی و تصدیق قرارگرفت. پیچیدگی سیستم و همبستگی چندگانه‌ی شدید بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، که البته مورد انتظار بود، موجب شد اثربخشی کاربرد رگرسیون ریج در مدل‌سازی این‌گونه سیستم‌ها نشان داده شود. سادگی و زمان‌بری کم‌تر این روش نسبت به شبیه‌سازی پیوسته و گسسته و همچنین نتایج روشن و قابل فهم از میزان تأثیرگذاری عوامل مؤثر بر سیستم برای مدیریت یک بنگاه، مزایای اصلی این روش نسبت به دیگر روش‌های مدل‌سازی عملکرد است. در نظرگرفتن دو متغیر پاسخ به‌عنوان شاخص‌های اثربخشی و کارایی عملکرد سیستم، قابلیت ایجاد چارچوبی برای تصمیم‌گیری درمورد عوامل مؤثر بر سیستم در راستای راهبردهای رقابتی و اولویت‌های سازمان فراهم می‌کند. نتایج عددی به دست آمده در این مقاله صرفاً رفتار بنگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. روش ارائه‌شده در این مقاله برای هر سیستم منحصر به‌فردی قابل اجراست و نتایج خاص خود را در پی خواهد داشت.

برای پژوهش‌های آینده می‌توان روی متغیرهای مستقل انتخاب شده برای مدل‌سازی عملکرد سیستم، چگونگی انتخاب پارامتر ریج در مدل‌سازی این‌گونه سیستم‌ها (که در این مقاله به‌طور معمول به‌صورت کیفی انجام شد)، و نیز تعریف و روش‌های یافتن «مناسب‌ترین» ترکیب متغیرهای مستقل برای انجام رگرسیون ریج مطالعات بیشتری انجام داد. علاوه بر این تأخیر اثرگذاری متغیرهای مستقل مدل بر عملکرد سیستم و نحوه‌ی اندازه‌گیری این تأخیر و در نظرگرفتن آن در مدل، از دیگر زمینه‌هایی است که نیاز به پژوهش بیشتری دارد.

پانوشت‌ها

1. Ridge Regression
2. supply chain entity
3. verification
4. validation
5. system dynamics modeling
6. control theory
7. inventory and order based production control system (IOBPCS)
8. multi-criteria decision making (MCDM)
9. multi-objective optimization
10. Arena
11. Logistics scorecard
12. balanced scorecard
13. forecast accuracy
14. on-time delivery rate
15. factor analysis
16. agile supply chain
17. local distribution center (LDC)
18. service level (SL)
19. logistics cost on sales (LCS)
20. logit (Logistic) transformation
21. variance inflation factors (VIF)
22. stepwise Regression
23. adjusted R^2 (R-sq(adj))
24. robust

۲۵. دامنه‌یی که با توجه به داده‌های مدل، متغیرها به‌صورت تجربی و نه منطقی در آن قرار می‌گیرند.

26. residuals
27. modified-Levene test
28. Anderson-Darling statistic (AD)

منابع (References)

1. Chopra, S. and Meindl, P., *Supply Chain Management*, Third Edition, New Jersey, Prentice Hall 2004.

2. Towil, D.R., Li, Z. and Stephen, M.D. "Reducing the bullwhip effect: Looking through the appropriate lens",

Int. J. of Production Economics, **108**, pp. 444-453 (2007).

3. Neter, J., Kutner, M., Nachtsheim, C. and Wasserman, W., *Applied Linear Regression Models*, Third Edition, Chicago, The McGraw-Hill Companies (1996).
4. Sterman, J.D., *Business Dynamics*, Boston, The McGraw-Hill Companies (2000).
5. Umeda, S. and Lee, Y.T. "Design specification of a generic supply chain simulator", Ingalls RG, Rosseti M.D., Smith J.S., Peters B.A., editors, *Proc. of the 2004 Winter Simulation Conference*, Washington (2004).
6. Narasimha, K.B. and Roy, R. "Supply chain structure design for a short lifecycle product: A loop dominance based analysis", *Proc. of the 38th Annual Hawaii Int. Conference on System Sciences*, Big Island, Hawaii, pp. 3-6 (January 2005).
7. Ashayeri, J. and Lemmes L. "Economic value added of supply chain demand planning: A system dynamics simulation", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **22**, pp. 550-556 (2006).
8. Sarimveisa, H., Patrinos, P., Tarantilis, C.D. and Kiranoudis, C.T. "Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review", *Computer & Operations Research,* **35**, pp. 3530-3561 (2008).
9. Towill, D.R. "Dynamic analysis of an inventory and order based production control system", *Int. J. of Production Research*, **20**, pp. 671-87 (1982).
10. Agrell, P.J. and Wikner, J. "An MCDM framework for dynamic systems", *Int. J. of Production Economics,* **45**, pp. 279-92 (1996).
11. Gan, B.P., Liu, L., Jain, S., Turner, S.J., Cai, W. and Hsu, W.J. "Distributed supply chain simulation across enterprise boundaries", Joines J.A., Barton R.R., Kang K., Fishwick P.A., editors, *Proc. of the 2000 Winter Simulation Conference,* Oralndo (2000).
12. Joines, J.A., Gupta, D., Gokce, M.A., King, R.E. and Kay, M.G. "Supply Chain multi-objective simulation optimization", Yucesan E., Chen C.-H., Snowdon J.L., Charnes J.M, editors, *Proc. of 2002 Winter Simulation Conference,* San Diego (2002).
13. Viera, G.E. "Ideas for modeling and simulation of supply chains with Arena", Ingalls R.G., Rosseti M.D., Smith J.S., Peters B.A., editors, *Proc. of the 2004 Winter Simulation Conference*, Washington (2004).
14. Andriof, J., Waddock, S., Hustad, B. and Rahman, S.S."Unfolding stakeholder thinking:Theotey, responsibility and engagement", Greenleaf Publishing, Sheffield, Uk(2002).
15. Rencher, A., *Methods of Multivariate Analysis*, Second Edition, New York, John Wiley & sons (2002).
16. Yusuf, Y.Y., Gunasekaran, A., Adeleye, E.O. and Sivayoganathan, K., "Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives", *European J. of Operational Research*, **159**, pp. 379-392 (2004).
17. Li, S., Bhanu R.N., Ragu-Nathan T.S. and Subba Rao, S. "The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance", *Omega*, **34**, pp. 107-124 (2006).
18. Gunasekaran, A., Patel, C. and McGaughey, R.E. "A framework for supply chain performance measurement", *Int. J. of Production Economics*, **87**, pp. 333-347 (2004).
19. Montgomery, D., *Design and Analysis of Experiments*, Forth Edition, New York, John Wiley & sons (1997).