مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۱ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۳۵-۱۲۰، (یادداشت فنی)

Research Note

بهینه‌سازی سیاست موجودی (R,Q) با رویکرد چندهدفه به‌کمک تکنیک بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی (مطالعه‌ی موردی: شرکت آریا گچ پلدختر)

جواد نصیری (دانشجوی کارشناسی ارشد)
برهام عظیمی* (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، ایران

در این مقاله کاربرد شبیه‌سازی در بهینه‌سازی دو هدفه‌ی یک مسئله‌ی موجودی تحت سیاست (R,Q) تشریح شده است. در این سیاست هرگاه سطح موجودی به R یا کمتر از آن برسد به اندازه‌ی Q سفارش صادر می‌شود. هدف این تحقیق، تعیین مقادیر نقطه‌ی سفارش مجدد و مقدار سفارش برای این سیاست در سیستم انبارداری شرکت آریاگچ است، به‌طوری که ضمن کاهش هزینه‌های نگه‌داری موجودی در انبارها، زمان انتظار مشتری در سیستم نیز کمینه شود. بدین منظور سیستم انبارداری شرکت که متشکل از سه انبار است، با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی در نرم‌افزار ED شبیه‌سازی شده است. پس از طراحی سناریوها و اجرای آنها در مدل شبیه‌سازی، مقادیر ممکن برای دو متغیر R و Q با کمک روش‌های سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک به دست آمده و نتایج با وضعیت فعلی شرکت آریاگچ مقایسه شده است.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی، سیاست کنترل موجودی، طراحی آزمایش، رگرسیون، هزینه‌ی نگه‌داری.

j.nasiri67@yahoo.com
p.azimi@yahoo.com

۱. مقدمه

سیاست‌های مدیریت موجودی از مباحث مهم و کلیدی برنامه‌ریزی و کنترل موجودی‌ها در سیستم‌های انبارداری شرکت‌ها و کارخانجات است. این سیاست‌ها عمدتاً در زمره‌ی سیستم‌های موجودی با خط‌مشی مرور دائم (FOS) قرار می‌گیرد. مابقی سیاست‌ها مربوط به سیستم‌هایی است که از خط‌مشی فاصله‌ی ثابت سفارش بهره می‌گیرند (FOI). دیگر سیاست‌های موجودی با تغییرات جزیی در این دو خط‌مشی به وجود می‌آیند. ویژگی‌های موجودی و ارتباط مستقیم آن با افزایش یا کاهش هزینه و سطح خدمت‌رسانی به مشتری کارشناسان را همواره به یافتن راه حلی برای کاهش هزینه‌ها واداشته است. لذا سیاست‌های بازپرسازی و بهینه‌سازی آنها بیش از سایر مباحث مورد توجه کارشناسان بوده و نیز علاقه‌مندی آنها به بهینه‌سازی این سیاست‌ها به‌صورت روزافزون در حال افزایش است. بر همین مبنا، شبیه‌سازی[1] همواره سهم قابل توجهی در این زمینه داشته است.

استفاده از شبیه‌سازی به‌منظور کاهش هزینه‌ها در سیستم‌های انبار ـ خرده فروش،[1] استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برای سیستم‌های موجودی (R,Q) به‌منظور مقایسه‌ی کارکرد شبیه‌سازی با دیگر روش‌های بهینه‌سازی،[2] ازجمله کاربردهای این ابزار است. در همین راستا می‌توان به کاربرد شبیه‌سازی در نظام انبارداری زنجیره‌ی تأمین به‌منظور تحلیل موجودی در زنجیره‌ی تأمین،[3] شبیه‌سازی مدل‌های صف به‌منظور ارزیابی رفتار مشتری در سیستم‌های موجودی،[4] استفاده از شبیه‌سازی و رویکرد سطح پاسخ به‌منظور تحلیل موجودی در زنجیره‌ی تأمین،[5] شناخت و ارزیابی سیاست‌های بازپرسازی انبار براساس ویژگی‌های سیاست‌های کنترل موجودی طبقه‌بندی سیستم‌ها و سیاست‌های موجودی براساس ویژگی‌های کنترل موجودی،[6] و نیز بررسی سیستم‌های موجودی چندمحصولی که از سیاست (R,Q) به‌منظور کاهش هزینه‌های نگه‌داری موجودی نظام بهره می‌گیرند[7] اشاره کرد.

هدف این تحقیق، تعیین نقطه‌ی سفارش مجدد (Q) و مقدار سفارش موجود در هر انبار (Q) است به‌گونه‌یی که ضمن کاهش هزینه‌های نگه‌داری موجودی، زمان انتظار مشتری در سیستم نیز کمینه شود. منظور از سیستم، مجموعه‌یی است متشکل از سه انبار، که مشتریان به‌منظور تأمین نیازهاشان و تقاضای احتمالی به هر انبار مراجعه می‌کنند. مدیریت انبارها نیز به‌منظور پاسخ‌گویی به نیاز مشتریان، اقلام مورد نیاز را تحت یک سیاست بازپرسازی انبار، سفارش داده و در انبار نگه‌داری می‌کنند. در این سیاست موجودی هرگاه سطح موجودی به R یا کم‌تر از آن برسد به اندازه‌ی Q سفارش صادر می‌شود.

به‌منظور بهینه‌سازی این سیاست، سیستم انبارداری شرکت تحت یک مدل سرمایه‌گذاری پویا (ED)[2] شبیه‌سازی شده و پس از انجام مراحل شبیه‌سازی، با تخمین مدل‌های رگرسیونی برای زمان انتظار مشتری و هزینه‌ی نگه‌داری و حل آنها توسط الگوریتم ژنتیک، جواب‌های ممکن برای $(R_i,Q_i),\ i=1,2,3$ به دست

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۱/۲۶، اصلاحیه ۱۳۹۲/۵/۲۰، پذیرش ۱۳۹۲/۶/۲۳.

آمده است و نتایج با وضعیت فعلی سیستم انبارداری شرکت آریاگچ مقایسه شده است.

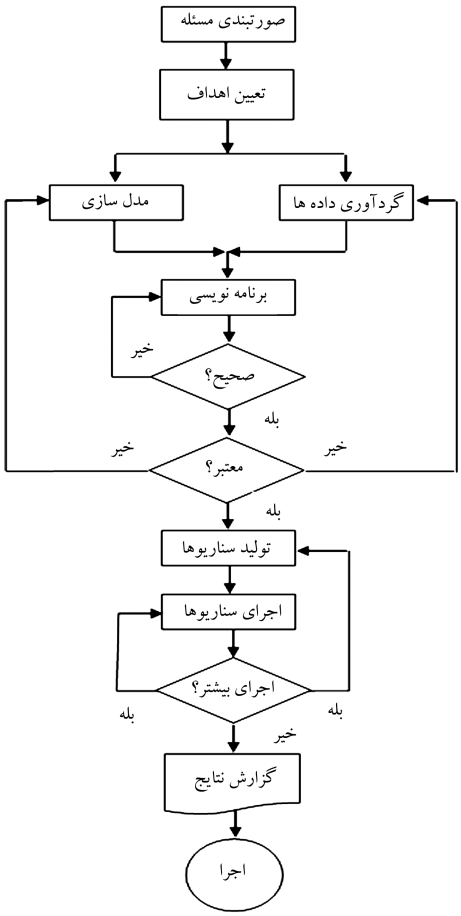
۲. رویکرد بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی

۱.۲. شبیه‌سازی

از آنجا که فرایندهای این سیستم شامل تقاضا و ورود مشتریان احتمالی است و باید زمان انتظار مشتری را تخمین زد، برای اجتناب از تخمین‌های غیرواقعی از شبیه‌سازی استفاده شده است و به‌همین منظور، انجام مراحل شبیه‌سازی لازم و ضروری است. مراحل شبیه‌سازی شامل یک سری عملیات است که هرکدام پیشنیاز عملیات بعد از خود است. این مراحل با تعریف مسئله آغاز و با تحلیل نتایج و اجرا پایان می‌پذیرد. بنکس و کارسن[۸] برای مراحل شبیه‌سازی و نحوه‌ی اجرای آنها به‌منظور ارزیابی یک سیستم، گام‌هایی طراحی کرده‌اند که در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲.۲. صورت‌بندی مسئله

منظور از صورت‌بندی مسئله شناخت و آگاهی از مشکل و درک ماهیت آن است.[۸] با مطالعه‌ی سیستم انبارداری شرکت، عدم برنامه‌ریزی و مدیریت موجودی باعث بالا رفتن هزینه‌های نگه‌داری و نیز بالا رفتن مدت زمان انتظار مشتری در سیستم می‌شود. از آنجا که تعداد مشتریان بیش از خدمت‌دهندگان است، در این سیستم



شکل ۱. گام‌های اساسی در بررسی مبتنی بر شبیه‌سازی.

صف تشکیل می‌شود. اجزای این سیستم صف عبارت‌اند از مشتری (همان تقاضای کالا)، خدمت‌دهنده (انبار) و خدمت (دریافت کالا). گاهی برای کاهش زمان انتظار مشتری، موجودی زیادی نگه‌داری می‌شود که موجب بالارفتن هزینه‌های نگه‌داری می‌شود؛ گاهی نیز به‌منظور پایین آوردن هزینه‌های نگه‌داری، موجودی کمی نگه‌داری می‌شود که باعث بالا رفتن مدت زمان انتظار مشتری می‌شود. در اینجا مسئله‌ی مدیریت و برنامه‌ریزی سیاست موجودی انبارها مطرح می‌شود.

۳.۲. اهداف

در اینجا هدف تعیین مقادیر R و Q برای سیاست موجودی هر انبار است به‌گونه‌یی که هزینه‌ی نگه‌داری موجودی و مدت زمان انتظار مشتری در سیستم کمینه شود.

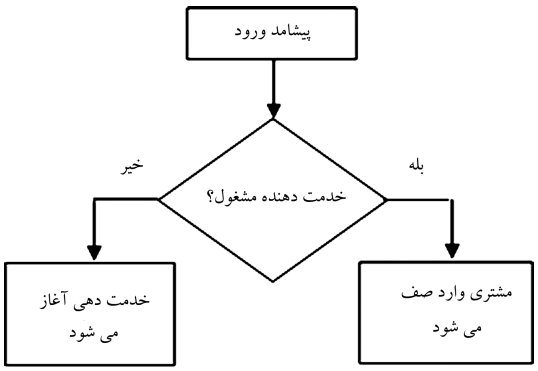
۴.۲. گردآوری داده‌ها و مدل‌سازی

گردآوری داده‌ها از مهم‌ترین مراحل شبیه‌سازی است زیرا داده‌های غلط موجب به دست آمدن نتایج غلط و بروز تصمیمات اشتباه می‌شود. برای گردآوری داده‌ها در این مطالعه از منابعی نظیر سیستم ثبت سفارش انبارها، مشاهده، مصاحبه با مدیران و سیستم ثبت ورود و خروج مشتریان استفاده شده است که به موجب این گردآوری، اطلاعاتی نظیر توزیع احتمال ورود مشتریان به هر انبار، توزیع احتمال تقاضای مشتریان از هر انبار، ظرفیت هر انبار و دیگر اطلاعات لازم درمورد وضعیت فعلی سیستم به دست آمد. در جدول ۱ برخی از مهم‌ترین این اطلاعات ارائه شده است. چنان که مشاهده می‌شود، این توزیع‌ها همگی در نرم‌افزار minitab با خطای نوع اول ۵٪ آزموده شده و در همگی موارد p-value بیشتر از ۵٪ است. این در حالی است که بارگیری هرکیسه گچ در هر انبار مدت ۵ ثانیه به طول می‌کشد، به‌طور مثال ۳۰۰ کیسه تقاضا در ۲۵ دقیقه بارگیری می‌شود. مدت زمان اعلام تقاضا، وزن‌گیری (تناژ) و پرداخت وجه نیز درکل ۵ دقیقه است که در مدل شبیه‌سازی به‌عنوان زمان خدمت‌دهی در نظر گرفته می‌شود.

با جمع‌آوری اطلاعات لازم، مدل فعلی سیستم که شامل سه انبار است در نرم‌افزار شبیه‌سازی تحت سرمایه‌گذاری پویا (ED) تدوین شد. در این سیستم مشتریان برای ورود و دریافت خدمت مطابق الگویی رفتار می‌کنند که پیشامد آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

۵.۲. برنامه‌نویسی

برنامه‌نویسی مرحله‌یی از شبیه‌سازی است که در آن به مدل، رفتار مطابق با سیستم مورد نظر آموخته می‌شود. در مدل شبیه‌سازی ED برای این منظور از زبان برنامه‌نویسی



شکل ۲. نمودار جریان ورود به سیستم.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به وضعیت فعلی سیستم.

	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳
توزیع ورود (ثانیه)	Gama (۳۶۵۲, ۰/۷۵)	Beta (۳۵۳۸/۵, ۰/۵, ۲/۶)	Negexp (۳۱۰۴/۵)
	P-Value = ۰/۰۹۲	P-Value = ۰/۰۸۸	P-Value = ۰/۰۸۱
توزیع تقاضا (کیسه)	Normal (۳۶۵/۷۱, ۱۴۵/۳۳)	Normal (۳۵۷/۱۶, ۱۶۰/۱۶)	Normal (۳۶۶/۲۱, ۱۷۳/۹)
	P-Value = ۰/۰۸	P-Value = ۰/۰۹۱	P-Value = ۰/۰۸۷
ظرفیت (کیسه)	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰

4D-Script استفاده شده است. بنابراین، در مدل مورد نظر مطابق با سیستم واقعی، مشتریان با توزیع احتمال مشخصی به هر انبار وارد شده و پس از تحقق تقاضایشان از سیستم خارج می‌شوند. انبارها نیز تحت سیاست ذکر شده موجودی خود را کنترل و به مشتریان خدمت ارائه می‌کنند.

۶.۲. اعتبارسنجی مدل

در مرحله‌ی اعتبارسنجی باید مدل را آزمود تا مشخص شود مطابق با سیستم واقعی رفتار می‌کند یا خیر. بدین‌منظور جامعه‌ی تعداد مشتریان خارج شده از سیستم با جامعه‌ی تعداد مشتریان خارج شده از مدل شبیه‌سازی مقایسه شده است. از آنجا که توزیع هر دو جامعه نرمال نیست برای این مقایسه از آزمون ناپارامتریک[۸] استفاده شده است.

اگر میانگین تعداد مشتریان خارج شده از سیستم واقعی را با μ_1 و میانگین تعداد مشتریان خارج شده از مدل شبیه‌سازی را با μ_2 نشان دهیم، فرضیه‌ی آزمون عبارت خواهد بود از:

$$\begin{cases} \mathrm{H}_0: & \mu_1 = \mu_2 \\ \mathrm{H}_1: & \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$$

پس از انجام آزمون در نرم‌افزار Minitab، از آنجا که p-value از ۰/۰۵ کم‌تر نیست، پس نمی‌توان فرض صفر را رد کرد؛ بنابراین میانگین دو جامعه برابر و درنتیجه مدل معتبر است. به عبارت دیگر مدل مطابق با سیستم واقعی رفتار می‌کند.

۷.۲. طراحی آزمایش

در این مرحله گزینه‌هایی که قرار است به‌منظور بهبود سیستم شبیه‌سازی شوند تعیین می‌شود. برای این کار از طراحی آزمایشات به‌کمک طرح عاملی 2^k استفاده شده است. این طرح‌ها شامل k عامل است که هریک از عوامل تنها دو سطح دارد، این عوامل می‌توانند کمی یا کیفی باشند. تکرار کامل چنین طرحی نیاز به $2 \times 2 \times \ldots \times 2$ مشاهده دارد که یک طرح عاملی 2^k نامیده می‌شود.[۹] از آنجا که هرکدام از متغیرهای R و Q برای هر انبار دارای یک سطح بالا و یک سطح پایین است، طرح عاملی گزینه‌ی مناسبی برای تولید آزمایش (سناریو) است. سطوح متغیرها در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به این که در هر انبار ۲ متغیر وجود دارد بنابراین $k = 6$ و تعداد کل آزمایشات برابر است با ۹۰ آزمایش که از حاصل جمع ۶۴ نقطه‌ی گوشه، ۱۲ نقطه‌ی محوری و ۱۴ تکرار نقطه‌ی مرکزی در فضای طراحی آزمایشات به دست آمده است. تعداد نقاط گوشه برابر با 2^k و تعداد نقاط محوری برابر با $2k$ است.[۹و۱۰]

جدول ۲. سطوح مختلف برای متغیرهای سیاست موجودی.

	R	Q
محوری بالا	۲۳۰۰	۸۳۰۰
سطح بالا (+)	۲۰۰۰	۸۰۰۰
مرکزی	۱۲۵۰	۵۲۵۰
سطح پایین (-)	۵۰۰	۲۵۰۰
محوری پایین	۲۰۰	۲۲۰۰

۸.۲. اجرای آزمایشات

به‌منظور کسب نتایج از آزمایشات تولید شده و این که بدانیم هزینه‌ی نگه‌داری و مدت زمان انتظار مشتری در هرکدام از آزمایشات چه میزان است، باید آزمایشات در مدل شبیه‌سازی اجرا شوند. تعداد اجرای هر مدل از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید:

$$R_i \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} S_{0i}}{\varepsilon}\right)^2 \qquad (۱)$$

که در آن، S_{0i} انحراف معیار خروجی آزمایش i در ۵ بار اجرا؛ ε میزان خطا؛ R_i کمترین تعداد اجرای آزمایش i.

پس از به دست آمدن تعداد اجرای هر آزمایش، در هر بار مدل برای ۹۰ روز اجرا می‌شود چرا که بیشترین بارکاری سیستم در ۹۰ روز است و داده‌های اولیه در این مدت گردآوری شده‌اند.

۹.۲. نتایج محاسباتی

بعد از اجرای آزمایش‌های مختلف، باید نتایج گزارش و تحلیل شوند که این امر به‌تفصیل در بخش ۳.۳ ارائه شده است.

۱۰.۲. اجرا

منظور از اجرا، استفاده و به‌کارگیری بهترین جوابی است که از سوی تحلیل‌گر به مدیران پیشنهاد می‌شود. برای این مطالعه، بهترین جواب‌ها در بخش ۴ پیشنهاد شده است.

۳. حل مسئله

۱.۳. مدل‌های رگرسیونی

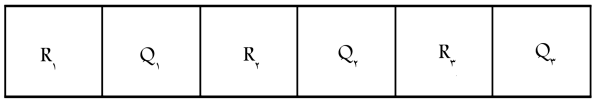
به‌منظور برآورد متغیرهای R و Q در هر انبار لازم است بدانیم هرکدام از متغیرها به

چه میزان بر هزینه‌ی نگه‌داری و مدت زمان انتظار مشتری تأثیر می‌گذارند. بدین‌منظور از نتایج ۹۰ آزمایش اجرا شده استفاده شده است و مدل‌های رگرسیون برای هزینه‌ی نگه‌داری موجودی و مدت زمان انتظار مشتری در سیستم تخمین زده شده است. بدیهی است که متغیرهای R و Q به‌عنوان متغیرهای مستقل و هزینه‌ی نگه‌داری و زمان انتظار مشتری به‌عنوان متغیرهای وابسته در مدل‌های رگرسیونی نمایان می‌شوند. ارائه‌ی مدل‌های رگرسیونی و تحلیل آن به‌دلیل وجود ۶۹ متغیر مستقل در هر مدل رگرسیون در این مقال نمی‌گنجد، فقط یادآور می‌شود که میزان R^2 برای هرکدام از مدل‌های رگرسیون به‌ترتیب برای هزینه‌ی نگه‌داری و زمان انتظار مشتری ۹۸٪ و ۹۶٪ است که بیانگر بالا بودن درجه‌ی اعتبار مدل‌های رگرسیون است.

در جدول ۳ خلاصه‌یی از اطلاعات به دست آمده از شبیه‌سازی، به‌منظور تخمین مدل‌های رگرسیون ارائه شده است.

۲.۳. الگوریتم ژنتیک

در این مطالعه به‌منظور بهینه‌سازی از یک الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که در آن، مدل‌های رگرسیون برای مدت زمان انتظار مشتری و هزینه‌ی نگه‌داری به‌عنوان توابع تناسب، بردار متغیرها به‌عنوان ساختار کروموزمی در شکل ۳ نشان داده شده است. اندازه‌ی جمعیت ۳۰۰ است که به‌صورت تصادفی تولید و ۱۰ سناریوی برتر شبیه‌سازی بر این مقدار افزوده شده است. این الگوریتم با تقاطع[3] دو نقطه و با شرط توقف ۱۰۰ تکرار اجرا شد. این الگوریتم با استفاده از طراحی آزمایشات و رویه‌ی سطح پاسخ پارامترها تنظیم شده که مقدار ۰٫۸۵ برای نرخ تقاطع و ۰٫۰۴ برای احتمال جهش[4] به دست آمده است.

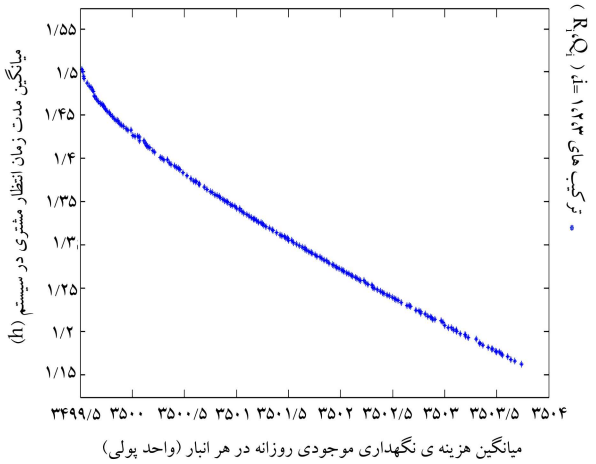


شکل ۳. ساختار کروموزم.

۳.۳. بهینه‌سازی مسئله‌ی دوهدفه[5]

یافتن پاسخ‌های ممکن برای متغیرهای $(R_i, Q_i)\ i = ۱, ۲, ۳$ مستلزم حل مدل‌های رگرسیون است. بدین‌منظور مدل‌های رگرسیون با دو هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی نگه‌داری موجودی و کمینه‌سازی مدت زمان انتظار مشتری در سیستم، در الگوریتم ژنتیک[6] حل شده‌اند. در این الگوریتم جواب یا به‌اصطلاح کروموزم، ساختار سیاست موجودی یعنی (R, Q) در نظرگرفته شده است. آنچه در این مسئله و دیگر مسائل مشابه اهمیت دارد، در نظرگرفتن محدودیت‌های ذاتی مسئله است. ازجمله این که مجموع نقطه‌ی سفارش مجدد و مقدار سفارش نباید بیشتر از ظرفیت هر انبار یعنی ۱۰۰۰۰ کیسه باشد.

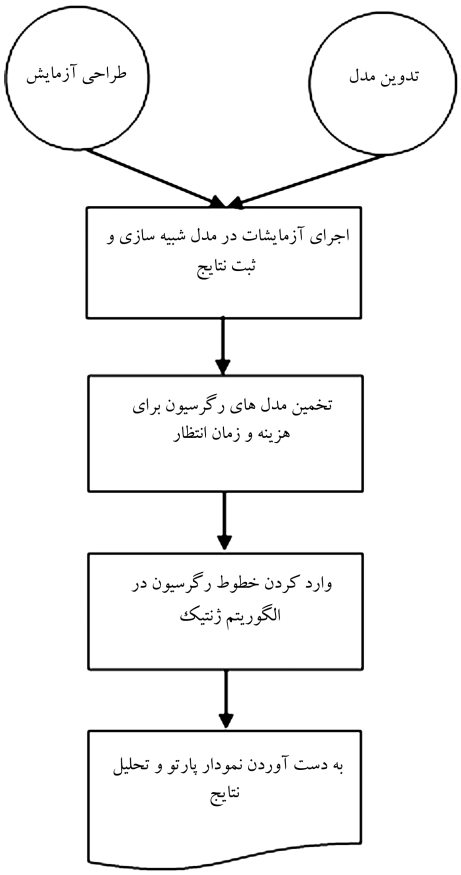
حاصل حل مدل‌های رگرسیون با الگوریتم ژنتیک نمودار پارتو[7] است که در شکل ۴ نشان داده شده است و به موجب آن دامنه‌ی توابع هدف بهبود یافته است.



شکل ۴. نمودار پارتو برای نتایج الگوریتم ژنتیک برای سیستم موجودی(R, Q).

جدول ۳. نتایج حاصل از اجرای آزمایشات در مدل شبیه‌سازی.

آزمایش	متغیر						هزینه‌ی نگه‌داری	زمان انتظار
	$R_۱$	$Q_۱$	$R_۲$	$Q_۲$	$R_۳$	$Q_۳$	(واحد)	مشتری (ساعت)
۱	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۳۵۶	۲٫۷
۲	۵۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۷۵۳	۲٫۲
۳	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۳۳۰	۲٫۸
۴	۵۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۷۴۳	۲٫۱
۵	۵۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۲۳۴۶	۲٫۶
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۸۷	۵۰۰	۸۰۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	۸۰۰۰	۴۱۶۰	۱٫۸
۸۸	۵۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۸۰۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۴۱۳۰	۱٫۸
۸۹	۲۰۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۴۱۷۷	۱٫۹
۹۰	۵۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۸۰۰۰	۴۱۸۵	۱٫۹



شکل ۵. جریان بهینه‌سازی مسئله.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله به‌منظور کاهش هزینه‌های نگه‌داری موجودی و مدت زمان انتظار مشتری در یک سیستم موجودی (R, Q)، سعی در بهینه‌سازی آن سیستم شده است. در این مطالعه و درمورد رابطه‌ی بین شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک، ابتدا به جمع‌آوری داده‌ها از شرکت پرداخته شد و مدل وضعیت فعلی سیستم انبارداری شرکت در نرم‌افزار شبیه‌سازی تدوین شد. در این خصوص، چون فرایندها احتمالی‌اند و نیاز به تخمین زمان انتظار مشتری است. با استفاده از زبان برنامه‌نویسی 4D-Script رفتار سیستم در مدل کدنویسی شد. با داشتن مدل، مدل اعتبارسنجی شد و سپس به‌کمک طرح عاملی 2^k سطوح هر متغیر مشخص و پس از افزودن نقاط محوری و

جدول ۴. مقایسه‌ی هزینه‌ی نگه‌داری موجودی (واحد پولی).

	از	تا
سیستم فعلی	۱٫۵	۳٫۵
نتایج شبیه‌سازی	۱٫۱۵	۱٫۵۵

جدول ۵. مقایسه‌ی زمان انتظار مشتری (ساعت).

	از	تا
سیستم فعلی	۳۵۰۰	۴۵۰۰
نتایج شبیه‌سازی	۳۴۹۹	۳۵۰۴

مرکزی فضای آزمایشات طراحی شد. سپس آزمایشات در محیط شبیه‌سازی شده‌ی سیستم موجودی تحت ED اجرا شدند و در هر ترکیب از R و Q نتایج برای هزینه‌ی نگه‌داری و مدت زمان انتظار مشتری برای هر آزمایش ثبت شد. با داشتن نتایج حاصل از تکرار آزمایشات در مدل شبیه‌سازی، مدل‌های رگرسیون برای هزینه‌ی کل و مدت زمان انتظار مشتری در سیستم تخمین زده شد و در الگوریتم ژنتیک وارد شد و جواب‌ها در نمودار پارتو توسط الگوریتم ژنتیک نشان داده شد. این جریان به‌طور خلاصه در شکل ۵ آمده است.

در جداول ۴ و ۵ نتایج حاصل از مقایسه‌ی وضعیت فعلی با نتایج حاصل از حل مدل‌های رگرسیون در نمودار پارتو ارائه شده است.

مقایسه‌ی وضعیت فعلی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نمودار پارتو نشان می‌دهد که هزینه و مدت زمان انتظار نشان داده شده در نمودار پارتو کمتر از وضعیت فعلی سیستم است. به‌عبارتی با مقایسه‌ی کران بازه‌های دو تابع هدف در وضعیت فعلی و نتایج حاصله، هزینه‌ی نگه‌داری این بازه کوچک‌تر شده و مدت زمان انتظار مشتری کاهش یافته است.

جواب‌های نشان داده شده در نمودار پارتو دارای توابع هدف بهتری نسبت به وضعیت فعلی‌اند. این جواب‌ها به‌منظور برنامه‌ریزی و کنترل موجودی به مدیران سیستم انبارداری پیشنهاد شده است. بنابراین مدیران سیستم انبارداری، از بین این ترکیب‌های R و Q سیاست موجودی خود را تعیین می‌کنند.

تقدیر و تشکر

از همکاری مدیریت محترم شرکت آریاگچ پلدختر در استان لرستان و نمایندگی‌های فروش شرکت در کویت، کرمانشاه و بندر خرمشهر برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های صنعت در استان مذکور تشکر و قدردانی می‌شود.

پانوشت‌ها

1. simulation
2. enterprise dynamic (ED)
3. crossover
4. mutation
5. bi-objective problem optimization
6. NSGA-II
7. Pareto char

منابع (References)

1. Chew, E.P. and Tang, L.C. "Warehouse-retailer system with stochastic demands - Non-identical retailer case", *European Journal of Operational Research*, **82**, pp. 98-110 (1996).

2. Forsberg, R. "Exact evaluation of (R,Q)-policies for two level inventory systems with poisson demand", *European*

Journal of Operational Research, **96**, pp. 130-138 (1996).

3. Ganeshan, R. "Managing supply chain inventories:A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model", *Int. J. Production Economics,* **59**, pp. 341-354 (1999).
4. Jang, J. and et. al "Estimation of the mean waiting time of a customer subject to balking: A simulation study", *Industrial and Manufacturing Engineering*, **18**, pp. 121-144 (2007).
5. Shukla, S.K. and Tiwari, M.K. "Optimization of the supply chain network: Simulation, Taguchi, and Psychoclonal algorithm embedded approach", *Computers & Industrial Engineering*, **58**(1), pp. 29-39 (2010).
6. Bijvank, M. "Lost-sales inventory theory", *European Journal of Operational Research,* **215**, pp. 1-13 (2011).
7. Topan, E. "Heuristics for multi-item two-echelon spare parts inventory control problem with batch ordering in the central warehouse", *Research School for Operations Management and Logistics*, **321**, pp. 90-328 (2011).
8. banks, J. and Carson, J.S., *Discrete-Event System Simulation*, Sharif, pp. 28-611 (2010).
9. Amiri, M. "Design of experiment by response surface methodology approach", Farhikhtegan, pp. 134-196 (2009).
10. Zakerifar, M. and et. al "Kriging meta modeling in multiple objective simulation optimization", *Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, **87**, pp. 843-856 (2011).