

یک الگوریتم ساده و بهبود دهنده برای مدل مقدار تولید اقتصادی با تحویل سفارش به صورت گسسته

Research Note

امیرحسین نوبیل (دکتر)

استاد مدعو، دانشگاه غیرانتفاعی بوندک، دانشکده مدیریت و حسابداری، بوندک، مرکزی، ایران

در این مطالعه یک الگوریتم بهبود دهنده، اثربخش، و بسیار ساده برای حل یک مسئله‌ی برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح کنترل موجودی ارائه شده است. این مسئله برای یک سیستم موجودی، مقدار تولید اقتصادی شامل یک شرکت و یک پیمانکار با تحویل سفارش‌ها به صورت گسسته فرمول بندی شده است. در این مقاله، مدل قبلی چاپ شده بهبود داده شده و با متغیر کمتر و بدون محدودیت فرمول بندی شده است. سپس این مدل بهبود یافته با استفاده از یک الگوریتم بهبود دهنده، مؤثر، و ساده حل شده است که این الگوریتم پیشنهادی شامل چهار قدم است. سپس مثال عددی که در مدل چاپ شده قبلی بیان شده توسط این الگوریتم پیشنهادی حل و نشان داده می‌شود که جواب به دست آمده برای آن نسبت به الگوریتم قبلی مؤثرتر و بهتر است. در خاتمه با مقایسات بسیاری نشان داده می‌شود که این الگوریتم پیشنهادی جواب‌های الگوریتم چاپ شده قبلی را بهبود می‌دهد.

واژگان کلیدی: مقدار تولید اقتصادی، تحویل چندگانه، برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح، الگوریتم بهبود دهنده.

Amirhossein.nobil@yahoo.com

۱. مقدمه

به این دست آورد بسیار شگرف هریس، در سال ۲۰۱۴ میلادی چندین مقاله به مناسبت صد سالگی فرمول مقدار سفارش اقتصادی ارائه شدند که در آن مقالات اندازه انباشته انجام شده در این سده شرح و توضیح داده شدند و در نهایت در این مقالات زمینه‌هایی برای مطالعات آتی ارائه شد.^[۱,۲] هریس جواب بهینه‌ی مدل مقدار سفارش اقتصادی را با استفاده از مشتق گیری به دست آورد. به علاوه، در سال ۱۹۹۹، این جواب بهینه را گرابستروم و اردم با استفاده از روش جبری و بدون مشتق گیری اثبات کردند.^[۳] بعد از آن‌ها، در سال ۲۰۰۷ میلادی، مینیر این جواب بهینه را با استفاده از روش مقایسات هزینه‌ها به دست آورد.^[۴] در نهایت تنگ در سال ۲۰۰۹ میلادی این جواب بهینه را با استفاده از نابرابری میانگین هندسی و حسابی به دست آورد.^[۵] در سال ۱۹۱۸ میلادی، نفت مدل هریس را برای یک واحد تولیدی توسعه داد و مدل مقدار تولید اقتصادی را معرفی کرد.^[۶] نفت این مدل را با استفاده از روش مشتق گیری بهینه کرد. در سال ۲۰۰۱ میلادی، کاردناز - بارون بهینه بودن جواب نفت را با روش جبری و بدون مشتق گیری ثابت کرد.^[۷] این دو مدل مقدار سفارش اقتصادی و تولید اقتصادی دارای شرط پیوسته بودن مقدار سفارش و تولید هستند. یعنی در این مدل‌ها مقدارهای سفارش و تولید می‌توانند مقداری کسری باشند. اما در شرایط واقعی مقدار برخی کالاها نمی‌توانند عدد کسری باشند نظیر یک دستگاه خودرو، یخچال و غیره. از این رو، گارسیا - لاگوئنا و همکارانش در سال ۲۰۱۰ میلادی، روشی را پیشنهاد کردند که با استفاده از آن مقدار صحیح

تمرکز اصلی سازمان‌ها در دنیای کسب و کار کنونی روی شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین و مدیریت آن‌هاست. هدف اصلی مدیریت زنجیره‌ی تأمین کاهش هزینه‌هایی است که در طول جریان مواد از تأمین کنندگان تا مشتریان نهایی پیش می‌آید. اکثر سازمان‌ها سعی می‌کنند که هزینه‌های مرتبط با جریان مواد را کاهش دهند. روش‌های کنترل موجودی یکی از اجزای بسیار مهم در این فرآیند کاهش هزینه‌ها محسوب می‌شود. توجه به مسائل مدیریت بهینه‌ی موجودی در سطح علمی از اوایل قرن بیستم میلادی آغاز شد و با رقابتی شدن بازار کسب و کار اهمیت آن روز به روز افزایش بیشتری یافت.

در سال ۱۹۱۳ میلادی، فورد ویتمن هریس اولین مدل موجودی را با نام مدل مقدار سفارش اقتصادی ارائه کرد.^[۱] این نظریه تا سال‌ها با نام او شناخته نمی‌شد تا اینکه ارلنکو، مدل مقدار سفارش اقتصادی هریس را معرفی و تاریخچه‌ی از روند پیدایش آن بیان کرد.^[۲] بعد از آن، در سال ۲۰۱۴ میلادی، ارلنکو در مقاله‌ی زندگی‌نامه‌ی هریس و دستاوردهایش، به خصوص مدل مقدار سفارش اقتصادی را شرح داد.^[۳] هریس را می‌توان بنیان‌گذار نظریه‌ی موجودی دانست که بر اساس مدل ریاضی او مقالات بسیاری در زمینه‌ی موجودی ارائه شد.^[۴] باتوجه

تاریخ: دریافت ۲۵/۱۰/۱۳۹۵، اصلاحیه ۲۹/۲/۱۳۹۶، پذیرش ۲۸/۳/۱۳۹۶.

DOI:10.24200/J65.2018.20061

کنترل موجودی است. این موضوع از شرایط سیستم‌هایی که اقلام را در بسته‌ها یا پالت‌های با اندازه‌ی مشخص تولید و ارسال می‌کنند، پدید آمده است. یکی از اولین مطالعات در این زمینه توسط پسندیده انجام شد.^[۲۶] او مدل مقدار تولید اقتصادی را با در نظر گرفتن تحویل سفارش‌ها به صورت گسسته توسعه داد. در این مقاله، او شرکتی را در نظر گرفت که کالاهای مورد نظر خود را در پالت‌هایی با اندازه‌ی مشخص از یک تأمین‌کننده دریافت می‌کند و سپس به مشتریان تحویل می‌دهد. مقدار پالت‌ها و تعداد ارسال آن‌ها توسط شرکت تعیین می‌شود. پسندیده این مسئله را با روش سعی و خطا حل کرد. سپس، پسندیده و نیایکی در سال ۲۰۰۸ میلادی، مدل پسندیده^[۲۶] را توسعه دادند و مدل مقدار تولید اقتصادی چند محصولی با تحویل سفارش به صورت گسسته را پیشنهاد کردند.^[۲۷] آن‌ها فرض کردند تمام کالاهای تولیدی توسط یک تأمین‌کننده تولید و در پالت‌هایی با اندازه‌ی مشخص به شرکت ارسال می‌شود. در این مطالعه شرکت به عنوان یک مشتری در خصوص اندازه‌ی پالت‌ها و مقدار ارسال‌ها در دوره تصمیم‌گیری می‌کند. آن‌ها این مسئله را با مدل مقدار تولید اقتصادی چند محصولی با سفارش‌های گسسته را با استفاده از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک حل کردند. بعد از آن، در سال ۲۰۱۰ میلادی، پسندیده و همکاران با در نظر گرفتن کمبود به صورت عقب افتاده مدل پسندیده و نیایکی^[۲۷] را توسعه دادند. آن‌ها این مسئله را عدد صحیح غیر خطی موجودی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسعه یافته حل کردند. به علاوه، ویدادانا و ویی در سال ۲۰۰۹ میلادی، مدل پسندیده و نیایکی^[۲۷] را با در نظر گرفتن محدودیت بودجه و تحت سیاست تحویل به موقع توسعه دادند.^[۲۸] در این مطالعه، آن‌ها فرض کردند که سیستم تولیدی کالاهای را با نرخ ثابت تولید و به صورت گسسته به مشتریان ارسال می‌کند. از این رو، این مسئله جزء اولین مطالعات در زمینه‌ی مسائل مقدار تولید اقتصادی با ارسال سفارش‌ها به صورت گسسته محسوب می‌شود. آن‌ها این مسئله را با استفاده از روش شاخه و کران توسعه یافته با روش لاگرانژ حل کردند. اخیراً، کاردازن - بارون و همکاران دو الگوریتم ابتکاری را برای حل مدل ویدادانا و ویی پیشنهاد کردند. آن‌ها نشان دادند که زمان حل الگوریتم پیشنهادیشان به صورت خطی افزایش می‌یابد درحالی‌که رویه‌ی حل ویدادانا و ویی به صورت نمایی افزایش می‌یابد. همچنین، آن‌ها با انجام آزمایش‌های مختلف نشان دادند که این الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش شاخه و کران قبلی کارتر و مؤثرتر و سریع‌تر است.^[۲۹]

در سال ۲۰۱۰ میلادی، چیو و همکاران مدل ریاضی را برای تعیین اندازه‌ی انباشته اقتصادی و تعداد ارسال‌های بهینه با فرایند دوباره‌کاری و دور ریز ارائه کردند.^[۳۰] در این مدل کالاهای در ابتدا تولید می‌شوند و سپس فرایند دوباره‌کاری برای کالاهای معیوب صورت می‌گیرد و در نهایت تمام کالاهای در پایان فرایند دوباره‌کاری در دست‌هایی با اندازه‌ی مشخص برای مشتریان ارسال می‌شوند. آن‌ها اندازه‌ی بهینه‌ی تولید و تعداد ارسال‌ها را بر اساس اثبات محدب بودن مدل به دست آوردند. بعد از آن، چیو و همکاران مدل قبلی را با در نظر گرفتن تولید تصادفی کالاهای معیوب و خرابی در فرایند دوباره‌کاری توسعه دادند.^[۳۱] در این مدل نیز ارسال کالاهای در پایان فرایند دوباره‌کاری در نظر گرفته شده است. سپس در سال ۲۰۱۶ میلادی، طالعی زاده و همکاران مدل مقدار تولید اقتصادی چیو و همکاران را با سیاست قیمت گذاری و اندازه‌ی انباشته توسعه دادند. این مطالعه برای اقلام معیوب قابل دوباره‌کاری و سیاست ارسال کالا به صورت گسسته ارائه شده است. آن‌ها این مدل مقدار تولید اقتصادی تک کالایی را با توجه به سود کل سیستم پیشنهاد کردند.^[۳۲] به علاوه، طالعی زاده و همکاران مدل موجودی مدیریت فروشنده با چندین خرده فروش را برای ارسال سفارش‌ها به صورت گسسته بهینه کردند. در این مطالعه کالاهای به صورت

بهینه برای سفارش و تولید کالاها به دست می‌آید. آن‌ها این روش را با استفاده از جبر خطی و روابطی که در مسائل مقدار سفارش اقتصادی و تولید اقتصادی وجود دارد، ارائه کردند.^[۳۳]

مسائل مقدار سفارش اقتصادی و تولید اقتصادی به دو سؤال اساسی زیر پاسخ می‌دهند: ۱. چه مقدار کالا باید سفارش داد؟ و ۲. چه موقع باید سفارش داد؟. به طور مشابه برای تولید، ۱. چه مقدار باید تولید کرد؟ و ۲. چه موقع باید تولید کرد؟. پاسخ به این سؤالات برای سازمان‌ها بسیار حائز اهمیت است. اما در شرایط واقعی و کاربردی، محدودیت‌هایی نظیر تعداد محصولات، بیشینه‌ی مقدار بودجه، فضای انبار، تعداد ارسال‌ات، و غیره وجود دارد.^[۳۴] یک فرض غیر واقعی رایج در استفاده از مدل‌های مقدار تولید اقتصادی، در نظر گرفتن تولیدات با کیفیت کاملاً مطلوب است. در دنیای واقعی معمولاً کالاهای تولیدی به علت مستهلک شدن ماشین تولیدی، کیفیت نامطلوب مواد اولیه، خطای اپراتور، نگهداری اشتباه، و مواردی از این قبیل دارای کیفیت نامطلوبی می‌شوند. برای این منظور شرکت‌ها در ابتدا کالاهای تولید شده را بازرسی و برای جلب رضایت مشتریان کالاهای سالم و ناسالم را از یکدیگر جدا می‌کنند. یکی از اولین مطالعات روی سیستم‌های تولیدی با کالای معیوب، تحقیق سالامه و جابر است.^[۳۵] آن‌ها مدل مقدار تولید اقتصادی را برای کالاهای با کیفیت تولید شده معیوب ارائه کردند. در این سیستم کالاهای تولیدی یا سالم یا معیوب هستند، که معیوب‌ها پس از بازرسی دور ریز می‌شوند. یک نوع دیگر از کالاهای معیوب، اقلامی هستند که قابل دوباره‌کاری هستند و می‌توان از آنها رفع عیب کرد. در سال ۲۰۰۳ میلادی، چیو مدل مقدار تولید اقتصادی را با فرایند دوباره‌کاری ارائه کرد.^[۳۶] همچنین، پسندیده و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی، مطالعه‌ی روی مدل‌های مقدار تولید اقتصادی انجام دادند. آن‌ها کالاهای معیوب را به دو صورت دور ریزها و دوباره‌کاری‌ها در نظر گرفتند. در این مطالعه دوباره‌کاری‌ها بر اساس میزان خرابی به گروه‌های مختلفی دسته بندی می‌شوند که هر دسته فرایند دوباره‌کاری مخصوصی دارد.^[۳۷] یکی از شرایط واقعی دیگر در مسائل تولیدی در نظر گرفتن تولید چندین کالا است. اولین مطالعات روی سیستم‌های تولیدی با چندین محصول توسط ایلون^[۳۸] و راجرز^[۳۹] انجام شد. بعد از مطالعه‌ی آن‌ها، تحقیقات بسیار زیادی روی مسائل کنترل موجودی با در نظر گرفتن چندین محصول صورت گرفت. دسته‌ی از این مطالعات، مسائل تولیدی چندمحصولی تک ماشینه است. در این مسائل تمام کالاهای روی یک ماشین تولید می‌شوند که این امر موجب می‌شود طول دوره تولید تمام کالاهای برابر شود.^[۴۰] یکی از اولین مطالعات انجام شده در این زمینه، مقاله‌ی حجی و همکاران است.^[۴۱] در این مطالعه، آن‌ها مدل مقدار تولید اقتصادی تک ماشینه را با در نظر گرفتن فرایند دوباره‌کاری مدل کردند. در مطالعه‌ی دیگر، نوییل و همکاران الگوریتم حلی را که حجی و همکاران^[۴۱] پیشنهاد کردند، بهبود دادند و شرایطی را به وجود آوردند تا جواب مسئله‌ی حجی و همکاران همواره شدنی باشد.^[۴۲] همچنین، طالعی زاده و همکاران در سال ۲۰۱۰ میلادی، یک مدل مقدار تولید اقتصادی تک ماشینه را با در نظر گرفتن کالاهای معیوب و حالت کمبود پس افت جزئی بیان کردند.^[۴۳] در حالت کمبود پس افت جزئی، درصدی از کمبودها به صورت عقب افتاده و درصدی دیگر به صورت از دست رفته هستند. سپس در سال ۲۰۱۴ میلادی، طالعی زاده و همکاران مدل مقدار تولید اقتصادی را با در نظر گرفتن کالاهای معیوب، فرایند دوباره‌کاری، فرایند تعمیرات و نگهداری، و کمبود عقب افتاده توسعه دادند.^[۴۴] اخیراً، نوییل و همکاران مدل‌های مقدار تولید اقتصادی تک ماشینه را توسعه دادند و مسائل جدیدی به نام مسائل چند ماشینه‌ی چند کالایی با توجه به خاصیت مسائل تک ماشینه ارائه کردند.^[۴۵]

سفارش برای محصول، در قالب چند پالت به شرکت ارسال می‌شود. ۵. ظرفیت هر پالت و تعداد دفعات ارسال آن‌ها توسط شرکت تعیین می‌شود. ۶. کمبود جایز نیست.

نمادهایی که در تعریف مسئله‌ی مطالعه‌ی پسندیده^[۲۶] به کار رفته است، بدین قرار هستند:

Q مقدار سفارش محصول؛

P نرخ تولید محصول؛

D نرخ تقاضای محصول؛

k ظرفیت پالت محصول؛

m تعداد دفعات حمل محصول در هر دوره؛

b هزینه‌ی هر نوبت حمل پالت محصول؛

A هزینه‌ی ثابت سفارش دهی هر سفارش محصول؛

h هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در سال؛

c هزینه‌ی تهیه‌ی هر واحد محصول؛

TC هزینه‌ی کل سالیانه‌ی محصول.

مدل مقدار تولید اقتصادی با تحویل سفارش به صورت گسسته که پسندیده^[۲۶] ارائه کرد، به صورت رابطه‌ی (۱) است.

$$MinTC = \left\{ b \frac{D}{k} + A \frac{D}{Q} + \frac{h}{r} \left(Q - (Q - k) \frac{D}{P} \right) + Dc \right\}$$

$$s.t. : Q = mk$$

$$m \geq 1$$

$$m, k, Q \text{ integer} \quad (1)$$

که مدل (۱) شامل سه متغیر تصمیم و دو محدودیت ساختاری است. این مدل را با جاگذاری mk در متغیر Q ، می‌توان مطابق رابطه‌ی (۲) توسعه داد. مدل رابطه‌ی (۲) شامل دو متغیر تصمیم و بدون محدودیت است، از این رو این مدل را می‌توان بسیار ساده‌تر از مدل (۱) حل کرد.

$$MinTC = \left\{ b \frac{D}{k} + A \frac{D}{mk} + \frac{hmk}{r} \left(1 - \frac{D}{P} \right) + \frac{hDk}{rP} + Dc \right\}$$

$$s.t. :$$

$$m, k > 0, \text{ integer} \quad (2)$$

در ادامه، الگوریتم بهبود دهنده، ساده، و بسیار سریعی برای حل مدل (۲) ارائه می‌شود.

۳. الگوریتم حل

کاردنار - بارون و همکاران در مطالعه‌ی یک روش ابتکاری برای حل مسئله‌ی مقدار تولید اقتصادی با ارسال کالاهای تولید شده به صورت گسسته به مشتریان ارائه کردند.^[۳۰] در این سیستم تولیدی با سیاست تحویل به موقع، کالاها با نرخ ثابت و پیوسته تولید می‌شوند و در نهایت در دسته‌هایی با اندازه‌ی مشخص به مشتریان تحویل داده می‌شوند. در این مسئله محدودیت بودجه برای تولید کالاها

فاسد شدنی در نظر گرفته شده‌اند. هدف این مدل پیشنهادی بهینه کردن قیمت خرده فروش، دوره‌ی سفارش مواد اولیه، و طول دوره‌ی تولید با توجه به بیشینه کردن سود کل زنجیره است.^[۳۱]

در سال ۲۰۱۱ میلادی، ویی و همکاران مدل مقدار تولید اقتصادی چند محصولی تک ماشینه را با در نظر گرفتن ارسال سفارش‌ها به صورت گسسته توسعه دادند. در این مقاله هدف پیدا کردن مقدار اندازه‌ی انباشته و تعداد ارسال‌ها با توجه به کمینه کردن هزینه‌های تولید، راه اندازی، نگهداری، و حمل و نقل است. آن‌ها برای حل این مدل از سه روش الگوریتم جستجوی هماهنگ، روش بهینه‌سازی اجتماع ذرات، و صفحه‌ی برش توسعه یافته استفاده کردند.^[۳۵] اخیراً، نوییل و همکاران یک مدل موجودی سه سطحی شامل تأمین کننده، تولید کننده، و توزیع کننده را با ارسال و دریافت سفارش‌ها به صورت گسسته پیشنهاد کردند. در این مطالعه واحد تولیدی برای تولید تمام کالاها از یک ماشین استفاده می‌کند. در نهایت آن‌ها برای حل این مسئله از الگوریتم ژنتیک توسعه یافته استفاده کردند.^[۳۶]

در این مقاله، مدل مقدار تولید اقتصادی با تحویل سفارش به صورت گسسته، که توسط پسندیده^[۲۶] ارائه شد، مورد بازنگری قرار گرفته است. در این مسئله یک شرکت با یک پیمانکار قرارداد دارد که کالاهای مورد نیازش را تأمین کند. این پیمانکار کالاهای تولید شده را به صورت پالت‌هایی به شرکت ارسال می‌کند. در این مسئله شرکت به عنوان یک مشتری حق دارد اندازه‌ی هر پالت و تعداد ارسال آن‌ها را در هر دوره تعیین کند. در این مدل محدودیتی برای انجام سفارش و فضای انبار وجود ندارد. پسندیده این مدل را با یک روش سعی و خطا حل کرده و جوابی قابل قبول برای آن به دست آورده است. مدل پسندیده شامل سه متغیر تصمیم و دو محدودیت ساختاری است. در این مطالعه، در ابتدا مدل پسندیده بهبود داده می‌شود که در این مدل بهبود یافته یک متغیر تصمیم و دو محدودیت نسبت به مدل قبلی کمتر می‌شود. در نتیجه این مدل بهبود یافته شامل دو متغیر تصمیم و بدون محدودیت است. سپس این مدل بهبود یافته با یک الگوریتم بهبود دهنده‌ی بسیار سریع و مؤثر که شامل چهار قدم است حل می‌شود. در نتیجه با آزمایش‌های مختلف نشان داده می‌شود که جواب‌های حاصل شده از این الگوریتم بهبود دهنده کاراتر از روش پسندیده است و جواب آن را بهبود می‌دهد.

بقیه‌ی بخش‌های این مقاله به صورت زیر مرتب شده‌اند. در بخش دوم مدل بهبود یافته بیان شده است. الگوریتم حل بهبود دهنده برای این مدل پیشنهادی در بخش سوم آمده است. در بخش چهارم مثال عددی که در مطالعه‌ی پسندیده^[۲۶] بیان شده است با استفاده از این الگوریتم بهبود دهنده حل می‌شود. همچنین در این بخش برای نشان دادن اعتبار سنجی و کارایی این الگوریتم بهبود دهنده نسبت به روش حل پسندیده از ۲۰ آزمایش مختلف استفاده شده است. در خاتمه نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی در بخش پنجم آمده است.

۲. مدل بهبود یافته

در این مسئله مقدار تولید اقتصادی، شرکتی برای تولید یکی از محصولات خود با یک پیمانکار ارتباط دارد. چارچوب مسئله‌ی بیان شده توسط پسندیده^[۲۶] به شرح زیر است: ۱. تقاضا برای محصول ثابت و مشخص است. ۲. پیمانکار محصول را با نرخ ثابت تولید می‌کند. ۳. هزینه‌ی حمل هر پالت بر عهده‌ی شرکت است. ۴. هر

$$TC = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{k} \left(bD + \frac{DA}{m} \right) \\ + k \left(\frac{hD}{rP} + \frac{hm}{r} \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right) + Dc \end{array} \right\} \quad (9)$$

در نتیجه مقدار k نهایی برابر می‌شود با:

$$k = \left[-\frac{0}{5} + \sqrt{\frac{0}{25} + \frac{2D \left(b + \frac{A}{m} \right)}{h \left(\frac{D}{P} + m \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right)}} \right] \quad (10)$$

بنابراین قدم‌های الگوریتم حل برای این مدل مقدار تولید اقتصادی با تحویل سفارش‌ها به صورت گسسته به قرار زیر هستند: قدم اول - مقدار عدد صحیح اولیه‌ی k از رابطه‌ی شماره (7) محاسبه می‌شود. قدم دوم - مقدار عدد صحیح m از رابطه‌ی شماره (8) محاسبه می‌شود. قدم سوم - مقدار عدد صحیح نهایی k از رابطه‌ی شماره (10) محاسبه می‌شود. قدم چهارم - با توجه به مقادیر k و $Q = mk, m$ و مقدار تابع هدف (TC) از رابطه‌ی شماره (2) محاسبه می‌شود.

4. آزمایش‌های عددی

پسندیده^[26] در مقاله‌ی خود برای تشریح حل مسئله از یک مثال عددی فرضی استفاده کرد که اطلاعات این مسئله در جدول (1) آمده است. از آنجایی که مقدار Dc در محاسبات TC همواره مقداری ثابت است، او از مقدار Dc در محاسبات صرف نظر کرد. در مطالعه‌ی پسندیده جواب‌های مسئله $k = 45$ و $Q = 630$ به دست آمدند. در مطالعه‌ی پسندیده برای محاسبه‌ی مقدار تابع هدف یک اشتباه تایپی رخ داده است. مقدار تابع هدف TC با توجه به مقادیر $k = 45$ و $Q = 630$ ، مطابق رابطه‌ی (11) برابر با $37146/825$ می‌شود نه $6771/576$.

$$TC = b \frac{D}{k} + A \frac{D}{Q} + \frac{h}{r} \left(Q - (Q - k) \frac{D}{P} \right) \\ = \left\{ \begin{array}{l} \frac{10 \times 1000}{45} + \frac{2000 \times 1000}{630} \\ + \frac{200}{r} \left(630 - (630 - 45) \frac{1000}{1000} \right) \end{array} \right\} \\ = 37146/825 \quad (11)$$

حال این مسئله بر اساس مدل توسعه یافته (2) و الگوریتم حلی که در بخش 3 بیان شد، به صورت زیر حل می‌شود:

قدم اول - محاسبه‌ی مقدار عدد صحیح اولیه‌ی k

$$k = \left[-\frac{0}{5} + \sqrt{\frac{0}{25} + \frac{2bP}{h}} \right] \\ = \left[-\frac{0}{5} + \sqrt{\frac{0}{25} + \frac{2 \times 10 \times 2000}{1000}} \right] = [13/65] = 14$$

جدول 1. اطلاعات عددی مثال پسندیده^[26].

پارامتر	A	D	h	P	b
مقدار عددی	2000	1000	200	2000	10

وجود دارد. هدف این مسئله پیدا کردن اندازه‌ی هر دسته و تعداد ارسال آن‌ها در هر دوره با توجه به کمینه کردن هزینه‌های کل سیستم موجودی است. آن‌ها نشان دادند که این روش ابتکاری برای این مسئله‌ی غیرخطی عدد صحیح بسیار کارا و مؤثر است و می‌تواند جواب بسیار مناسبی را در زمان بسیار کمی پیدا کند. به علاوه آن‌ها نشان دادند که این روش ابتکاری برای مسائل با اندازه‌ی کوچک (تک کالا و بدون محدودیت) می‌تواند جواب بسیار مناسب و نزدیک به بهینه را به دست آورد. به همین علت، در این مطالعه از خاصیت روش ابتکاری کاردناز - بارون و همکاران^[20] استفاده شده است و یک الگوریتم بهبود دهنده‌ی بسیار سریع و ساده با توجه به شرایط و ضوابط این مسئله‌ی مقدار تولید اقتصادی با دریافت سفارش‌ها از تأمین کننده به صورت گسسته پیشنهاد شده است. از آنجایی که این مدل بهبود یافته بدون محدودیت و برای یک کالا است، این الگوریتم پیشنهادی می‌تواند جواب نزدیک بهینه یا بهینه را پیدا کند. در این مدل بهبود یافته کالاها توسط پالت‌هایی از تأمین کننده به شرکت ارسال می‌شود و شرکت آن‌ها را به طور پیوسته و ثابت به مشتریان تحویل می‌دهد. در این مدل بهبود یافته هدف پیدا کردن اندازه‌ی هر پالت و تعداد ارسال پالت‌ها در هر دوره با توجه به کمینه کردن هزینه‌های حمل، سفارش دهی، تهیه و نگهداری است. با توجه به توضیحات فوق، تابع هدف مدل (2) را می‌توان به صورت رابطه‌ی (3) بازنویسی کرد:

$$TC = X + Y + DC \quad (3)$$

که

$$X = b \frac{D}{k} + \frac{hDk}{rP} \quad (4)$$

$$Y = A \frac{D}{mk} + \frac{hmk}{r} \left(1 - \frac{D}{P} \right) \quad (5)$$

که هر دو عبارت X و Y ساختار ریاضی یکسانی دارند که عبارت است از $\frac{s_1}{z} + s_2 z$. در مدل‌های ساده‌ی مقدار سفارش اقتصادی و مقدار تولید اقتصادی نشان داده شد که کمترین مقدار برای تابع از نوع $\frac{s_1}{z} + s_2 z$ با $s_1, s_2 > 0$ برابر $\frac{s_1}{s_2}$ است.^[13] در نتیجه کمترین مقدار برای این تابع برابر $z = 2\sqrt{s_1 s_2}$ است. بنابراین بهینه‌ترین مقدار برای تابع X مطابق رابطه‌ی (6) به دست می‌آید:

$$k = \sqrt{\frac{2bP}{h}} \quad (6)$$

چنانچه فرض عدد صحیح بودن برای جواب وجود داشته باشد، بر اساس مطالعه‌ی گارسیا - لاگوئتا و همکاران^[13] می‌توان جواب بهینه را از رابطه‌ی (7) به دست آورد:

$$k = \left[-\frac{0}{5} + \sqrt{\frac{0}{25} + \frac{2bP}{h}} \right] \quad (7)$$

که [r] کوچک‌ترین عدد صحیح بزرگتر از r (با مساوی با آن) است. به علاوه بهینه‌ترین مقدار عدد صحیح برای تابع Y مطابق رابطه‌ی (8) به دست می‌آید:

$$m = \left[-\frac{0}{5} + \sqrt{\frac{0}{25} + \frac{2DA}{k^2 h \left(1 - \frac{D}{P} \right)}} \right] \quad (8)$$

در نهایت می‌توان تابع هدف (2) را مطابق رابطه‌ی (9) بازنویسی کرد:

جدول ۲. بازه‌ی پارامترها برای تعیین عدد تصادفی.

$b \sim U(10, 50)$	$D \sim U(1000, 3000)$	$A \sim U(500, 3000)$	پارامتر
	$h \sim U(100, 500)$	$P \sim U(3000, 7000)$	

جدول ۳. اطلاعات عددی ۲۰ آزمایش.

ب	P	h	D	A	آزمایش
۲۵	۴۳۱۷	۴۰۱	۲۳۱۲	۲۵۳۷	۱
۴۴	۴۱۴۵	۲۰۳	۱۰۷۲	۲۷۶۵	۲
۳۴	۵۲۹۷	۳۰۳	۲۶۹۹	۸۱۸	۳
۳۱	۵۹۸۶	۱۵۰	۱۰۱۰	۲۹۱۲	۴
۴۷	۳۵۶۱	۴۵۷	۲۳۵۸	۲۰۸۱	۵
۲۲	۴۴۷۰	۴۸۴	۲۵۱۶	۷۴۴	۶
۴۱	۴۳۳۷	۳۱۹	۲۴۳۷	۱۱۹۷	۷
۴۱	۴۹۳۹	۱۵۶	۱۷۵۸	۱۸۶۸	۸
۲۶	۵۱۲۹	۱۶۰	۲۳۱۱	۲۸۹۴	۹
۳۳	۵۲۶۵	۲۰۴	۱۳۴۳	۲۹۱۳	۱۰
۳۳	۵۲۵۳	۲۱۰	۱۲۵۶	۲۷۸۵	۱۱
۱۳	۵۰۴۰	۲۰۲	۱۰۶۴	۲۹۲۷	۱۲
۳۲	۴۹۶۶	۴۲۶	۱۵۵۴	۲۸۹۳	۱۳
۴۲	۳۴۸۸	۱۹۸	۱۰۹۳	۱۷۱۴	۱۴
۴۸	۳۳۵۷	۴۷۲	۱۱۹۵	۲۵۰۱	۱۵
۱۶	۴۴۹۶	۲۴۰	۲۶۴۷	۸۵۵	۱۶
۳۳	۵۸۸۰	۱۷۹	۲۳۹۰	۱۵۵۵	۱۷
۲۹	۴۰۲۲	۲۰۱	۱۶۳۵	۲۷۹۰	۱۸
۴۲	۶۷۵۸	۱۲۳	۱۲۱۵	۲۸۹۴	۱۹
۲۹	۵۲۱۴	۲۱۴	۱۲۰۰	۲۴۱۵	۲۰

جدول ۴. آزمایش‌های عددی.

درصد بهبود	الگوریتم پیشنهادی		روش پسنندیده [۲۶]		آزمایش
	TC	Q	TC	Q	
۰	۵۱۷۲۶,۲۹	۲۵۳	۵۱۷۲۶,۲۹	۲۵۳	۱
۰,۱۳	۳۲۰۹۹,۵۳	۲۰۰	۳۲۱۴۲,۶۴	۲۱۰	۲
۰	۳۰۹۴۲,۶۴	۱۷۰	۳۰۹۴۲,۶۴	۱۷۰	۳
۰,۳۱	۲۸۳۴۶,۰۷	۲۱۶	۲۸۴۳۳,۶۲	۲۰۰	۴
۰	۴۷۱۱۹,۵۹	۲۵۲	۴۷۱۱۹,۵۹	۲۵۲	۵
۰,۰۸	۳۳۶۴۵,۴۵	۱۳۳	۳۳۶۷۲,۷۸	۱۴۰	۶
۰	۳۴۵۴۰,۰۲	۲۰۴	۳۴۵۴۰,۰۲	۲۰۴	۷
۰	۲۸۵۱۷,۷۴	۲۵۵	۲۸۵۱۷,۷۴	۲۵۵	۸
۰,۰۲	۳۷۲۳۷,۳۲	۳۹۰	۳۷۲۴۵,۶۷	۴۰۰	۹
۰,۲۶	۳۶۶۳۷,۴۱	۲۲۸	۳۶۷۳۳,۴۷	۲۱۰	۱۰
۰,۰۱	۳۵۴۷۶,۰۵	۲۱۰	۳۵۴۸۱,۸۱	۲۰۵	۱۱
۰	۳۲۵۹۳,۵۳	۲۰۰	۳۲۵۹۳,۵۳	۲۰۰	۱۲
۰,۰۵	۵۴۹۵۵,۹۱	۱۷۵	۵۴۹۸۸,۷۳	۱۶۸	۱۳
۰,۱۵	۲۴۹۶۳,۰۵	۱۶۴	۲۵۰۰۰,۴۱	۱۵۶	۱۴
۰,۰۵	۴۷۰۲۷,۳۲	۱۴۰	۴۷۰۴۹,۸۹	۱۳۵	۱۵
۰	۲۴۵۹۷,۶۷	۲۱۶	۲۴۵۹۷,۶۷	۲۱۶	۱۶
۰,۰۶	۳۱۴۹۴,۷۱	۲۶۴	۳۱۵۱۴,۹۳	۲۷۶	۱۷
۰	۳۵۷۷۶,۹۲	۲۸۰	۳۵۷۷۶,۹۲	۲۸۰	۱۸
۰,۰۰۹	۲۸۱۳۸,۸۹	۲۶۴	۲۸۱۴۱,۳۹	۲۶۸	۱۹
۰,۰۰۱	۳۲۷۵۵,۲۶	۱۹۰	۳۲۷۵۵,۷۵	۱۸۵	۲۰

قدم دوم - محاسبه‌ی مقدار عدد صحیح m

$$m = \left\lceil -0/5 + \sqrt{0/25 + \frac{2DA}{k^2 h \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \right\rceil$$

$$= \left\lceil -0/5 + \sqrt{0/25 + \frac{2 \times 1000 \times 2000}{14^2 \times 200 \left(1 - \frac{1000}{7000}\right)}} \right\rceil = 14$$

قدم سوم - محاسبه‌ی مقدار عدد صحیح نهایی k

$$k = \left\lceil -0/5 + \sqrt{0/25 + \frac{2D \left(b + \frac{A}{m}\right)}{h \left(\frac{D}{P} + m \left(1 - \frac{D}{P}\right)\right)}} \right\rceil$$

$$= \left\lceil -0/5 + \sqrt{0/25 + \frac{2 \times 1000 \left(10 + \frac{2000}{14}\right)}{200 \left(\frac{1000}{7000} + 14 \left(1 - \frac{1000}{7000}\right)\right)}} \right\rceil = 14$$

قدم چهارم - با توجه به مقادیر $k=14$ و $m=14$ و $Q = mk = 14 \times 14 = 196$ ، محاسبه مقدار تابع هدف TC

$$TC = \left\{ b \frac{D}{k} + A \frac{D}{mk} + \frac{hmk}{r} \left(1 - \frac{D}{P}\right) + \frac{hdk}{rP} \right\}$$

$$= \left\{ \frac{10 \times 1000}{14} + \frac{2000 \times 1000}{14 \times 14} + \frac{200 \times 14 \times 14}{r} \left(1 - \frac{1000}{7000}\right) + \frac{200 \times 1000 \times 14}{r \times 7000} \right\}$$

$$= 21418/367$$

هزینه‌ی بهینه کل با استفاده از این الگوریتم بهبود دهنده برابر $21418/367$ شد و جواب به دست آمده در مطالعه‌ی پسنندیده [۲۶] برابر $37146/825$ است. بنابراین، این الگوریتم بهبود دهنده‌ی ارائه شده جوابی با مقدار $15728/458$ (حدود ۴۲ درصد بهتر) واحد پولی کمتر نسبت به روش حل پسنندیده برای این مدل با تابع هدف هزینه کل پیدا کرده است.

همچنین در این مطالعه برای اعتبارسنجی و کارایی مدل بهبود یافته و الگوریتم پیشنهادی از ۲۰ آزمایش مختلف استفاده شده است. مقدار پارامترهای این ۲۰ آزمایش به صورت تصادفی از جدول ۲ به دست می‌آید. در این جدول U نشان دهنده‌ی توزیع یکنواخت است. با توجه به جدول ۲ و با استفاده از نرم افزار متلب، ۲۰ آزمایش تصادفی مختلف به صورت جدول ۳ به دست آمد. این ۲۰ آزمایش توسط هر دو روش الگوریتم پیشنهادی و روش سعی و خطای پسنندیده [۲۶] در محیط نرم افزار متلب حل و نتایج آن‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی جواب‌های بهتر و کارا تری را نسبت به روش سعی و خطا به دست آورده است. در نتیجه این الگوریتم پیشنهادی جواب‌های روش سعی و خطای قبلی را بهبود داده است. به همین علت می‌توان گفت که الگوریتم پیشنهادی بیان شده در این مطالعه کارا تر از روش پسنندیده است.

۵. نتیجه‌گیری

شد که این الگوریتم پیشنهادی حدود ۴۷ درصد جواب روش قبلی را بهبود داده است. در خاتمه برای اعتبارسنجی و کارایی مدل و الگوریتم پیشنهادی، ۲۰ آزمایش تصادفی مختلف با هر دو روش الگوریتم پیشنهادی و روش سعی و خطای قبلی حل شدند. در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده از آن‌ها نشان داده شد که این الگوریتم پیشنهادی، جواب‌های روش سعی و خطای قبلی را بهبود داده است. محققان می‌توانند برای تحقیقات آتی موارد زیر را در مسئله در نظر بگیرند:

- در نظرگیری یک سیستم تولیدی با چند کالا
- در نظرگیری کالاهای معیوب شامل دور ریز و قابل دوباره کاری
- در نظرگیری تولید کالاها توسط یک ماشین
- در نظرگیری سیاست قیمت گذاری و بازاریابی
- در نظرگیری محدودیت‌های بودجه، فضای انبار، و سطح خدمت
- در نظرگیری کمبود به صورت‌های پس‌افت یا پس‌افت جزئی
- در نظرگیری ارسال کالاها به صورت گسسته به مشتریان
- در نظرگیری فساد پذیری برای کالاها

در این مطالعه مسئله‌ی مقدار تولید اقتصادی تک محصولی با تحویل سفارش به صورت گسسته توسعه داده شد. در این مسئله یک شرکت کالاهای مورد نیاز مشتریان را از یک تأمین کننده تهیه و به مشتریان تحویل می‌دهد. این شرکت کالاهای سفارش داده شده به تأمین کننده را به صورت گسسته و در پالت‌هایی که ظرفیت آن‌ها را خودش تعیین کرده است، دریافت می‌کند. این شرکت برای سفارش کالاها هیچ محدودیتی نظیر فضای انبار و بودجه ندارد. هدف این مسئله پیدا کردن مقدار ظرفیت هر پالت و تعداد دفعات ارسال در هر دوره با توجه به کمینه کردن هزینه‌های سالیانه‌ی کل - شامل هزینه‌ی تهیه‌ی سالیانه، هزینه‌ی نگهداری سالیانه، هزینه‌ی سفارش دهی سالیانه، و هزینه‌ی حمل سالیانه - است. این مدل پیشنهادی یک مسئله‌ی برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح است. در این مطالعه، مدل چاپ شده‌ی قبلی توسعه و با متغیرهای تصمیم و محدودیت‌های کمتر بهبود یافت. سپس یک الگوریتم بهبود دهنده برای پیدا کردن جواب این مسئله پیشنهاد شد. این الگوریتم پیشنهادی کیفیت جواب بهتری را نسبت به روش حل چاپ شده‌ی قبلی ارائه می‌دهد. از این رو، مثال عددی که در مقاله‌ی قبلی ارائه شده بود دوباره حل و جواب آن نسبت به روش حل قبلی بازننگری شد و نشان داده

منابع (References)

1. Harris, F.W. "How many parts to make at once", *Factory: The Magazine of Management*, **10** (2), pp. 135-136 and 152 (1913).
2. Erlenkotter, D. "Note—an early classic misplaced: Ford W. Harris's economic order quantity model of 1915." *Management Science*, **35** (7), pp. 898-900 (1989).
3. Erlenkotter, D. "Ford whitman harris and the economic order quantity model." *Operations Research*, **38** (6), pp. 937-946 (1990).
4. Erlenkotter, D. "Ford Whitman Harris's economical lot size model." *International Journal of Production Economics*, **155**, pp. 12-15 (2014).
5. Cárdenas-Barrón, L.E., Chung, K.J. and Treviño-Garza, G. "Celebrating a century of the economic order quantity model in honor of Ford whitman harris." *International Journal of Production Economics*, **155**, pp. 1-7 (2014).
6. Andriolo, A., Battini, D., Grubbström, R.W. andetal. "A century of evolution from Harris's basic lot size model: survey and research agenda." *International Journal of Production Economics*, **155**, pp. 16-38 (2014).
7. Glock, C.H., Grosse, E.H. and Ries, J.M. "The lot sizing problem: A tertiary study." *International Journal of Production Economics*, **155**, pp. 39-51 (2014).
8. Grubbström, R.W. and Erdem, A. "The EOQ with backlogging derived without derivatives." *International Journal of Production Economics*, **59** (1), pp. 529-530 (1999).
9. Minner, S. "A note on how to compute economic order quantities without derivatives by cost comparisons." *International Journal of Production Economics*, **105**(1), pp. 293-296 (2007).
10. Teng, J.T. "A simple method to compute economic order quantities." *European Journal of Operational Research*, **198**(1), pp. 351-353 (2009).
11. Taft, E.W. "The most economical production lot", *Iron Age*, **101**(18), pp. 1410-1412 (1918).
12. Cárdenas-Barrón, L.E. "The economic production quantity (EPQ) with shortage derived algebraically." *International Journal of Production Economics*, **70**(3), pp. 289-292 (2001).
13. Garcia-Laguna, J., San-José, L.A., Cárdenas-Barrón, L.E. andetal. "The integrality of the lot size in the basic EOQ and EPQ models: applications to other production-inventory models." *Applied Mathematics and Computation*, **216** (5), pp. 1660-1672 (2010).
14. Nabil, A.H. and Taleizadeh, A.A. "A single machine EPQ inventory model for a multi-product imperfect production system with rework process and auction." *International Journal of Advanced Logistics*, **5**, pp. 1-12 (2016).
15. Salameh, M.K. and Jaber, M.Y. "Economic production quantity model for items with imperfect quality." *International journal of production economics*, **64**(1), pp. 59-64 (200).
16. Chiu, Y.P. "Determining the optimal lot size for the finite production model with random defective rate, the

- rework process, and backlogging." *Engineering Optimization*, **35**(4), pp. 427-437 (2003).
17. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A., Nobil, A.H. and et al. "A multiproduct single machine economic production quantity model for an imperfect production system under warehouse construction cost." *International Journal of Production Economics*, **169**(1), pp. 203-214 (2015).
 18. Eilon, S. "Scheduling for batch production." *Institution of Production Engineers Journal*, **36**(9), pp. 549-570 (1957).
 19. Rogers, J. "A computational approach to the economic lot scheduling problem." *Management science*, **4**(3), pp. 264-291 (1958).
 20. Nobil, A.H., Sedigh, A.H.A. and Cárdenas-Barrón, L.E. "Multi-machine economic production quantity for items with scrapped and rework with shortages and allocation decisions." *Scientia Iranica. Transaction E, Industrial Engineering*, **25**(4), pp. 2331-2346 (2018).
 21. Haji, R., Haji, A., Sajadifar, M. and et al. "Lot sizing with non-zero setup times for rework." *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, **17**(2), pp. 230-240 (2008).
 22. Nobil, A.H., Nobil, E. and Cárdenas-Barrón, L.E. "Some observation to: lot sizing with non-zero setup times for rework." *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, **3** pp. 1-7 (2017).
 23. Taleizadeh, A.A., Niaki, S.T.A. and Najafi, A.A. "Multi-product single-machine production system with stochastic scrapped production rate, partial backordering and service level constraint." *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **233**(8), pp. 1834-1849 (2010).
 24. Taleizadeh, A.A., Leop Cárdenas-Barrón, L.E., and Mohammadi, B. "A deterministic multi product single machine EPQ model with backordering, scraped products, rework and interruption in manufacturing process." *International Journal of Production Economics*, **150**, pp. 9-27 (2014).
 25. Nobil, A.H., Sedigh, A.H.A. and Cárdenas-Barrón, L.E. "A multi-product EPQ problem for an imperfect manufacturing system considering utilization and allocation decisions." *Expert Systems with Applications*, **56**, pp. 310-319 (2016).
 26. Pasandideh, S.H.R. "Optimizing the EPQ model with discrete delivery orders." *Industrial Engineering & Management*, **49** (25), pp. 101-105 (2009).
 27. Pasandideh, S.H.R. and Niaki, S.T.A. "A genetic algorithm approach to optimize a multi-products EPQ model with discrete delivery orders and constrained space." *Applied Mathematics and Computation*, **195**(2), pp. 506-514 (2008).
 28. Pasandideh, S.H.A., Niaki, S.T.A. and Yeganeh, J.A. "A parameter-tuned genetic algorithm for multi-product economic production quantity model with space constraint, discrete delivery orders and shortages." *Advances in Engineering Software*, **41**(2), pp. 306-314 (2010).
 29. Widyadanaa, G.A. and Wee, H.M. *A Multi-Product EPQ Model with Discrete Delivery Order: a Langrangean Solution Approach*. Global perspective for competitive enterprise, economy and ecology. springer london, pp. 601-608 (2009).
 30. Cárdenas-Barr'on, L.E., Treviño-Garza, G., Widyadana., G.A. and et al. "A constrained multi-products EPQ inventory model with discrete delivery order and lot size." *Applied Mathematics and Computation*, **230**, pp. 359-370 (2014).
 31. Chiu, Y.S. P., Lin, C.A.K., Chang, H.H. and et al. "Mathematical modelling for determining economic batch size and optimal number of deliveries for EPQ model with quality assurance." *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, **16**(4), pp. 373-388 (2010).
 32. Chiu, S.W., Lin, H.D., Wu, M.F. and et al. "Determining replenishment lot size and shipment policy for an extended EPQ model with delivery and quality assurance issues." *Scientia Iranica*, **18**(6), pp. 1537-1544 (2011).
 33. Taleizadeh, A.A., Kalantari, S.S. and Cárdenas-Barrón, L.E. "Pricing and lot sizing for an EPQ inventory model with rework and multiple shipments." *Top*, **24**(1), pp. 143-155 (2016).
 34. Taleizadeh, A. A., Noori-daryan, M. and Cárdenase-Barrón L.E. "Joint optimization of price, replenishment frequency, replenishment cycle and production rate in vendor managed inventory system with deteriorating items." *International Journal of Production Economics*, **159**, pp. 285-295 (2015).
 35. Wee, H., Widyadana, G., Taleizadeh, A. and et al. "Multi products single machine economic production quantity model with multiple batch size." *International Journal of Industrial Engineering Computations*, **2**(2), pp. 213-224 (2011).
 36. Nobil, A.H., Seifbarghy, M., Sedigh, A.H.A. and et al. "Considering discrete delivery ordering and shipment consolidation in a three-echelon supply chain with failure." *Int. J. Advanced Operations Management*, **8**(4), pp. 247-275 (2016).