



## The Effect of Inflation and Time Value of Money on Lot Sizing By Considering of Rework in an Inventory Control Model

G. Moslehi\*, M. Rasti Barzoki & M. Fathollah Bayati

\* G. Moslehi, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology  
M. Rasti Barzoki, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology  
M. Fathollah Bayati, Department of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology

### Keywords

Lot sizing, rework, inflation,  
time value of money

### ABSTRACT

*One of the assumptions in Economic Production Quantity is that there is no imperfect production. Also the effect of inflation and time value of money is not considered with this model. But the studies show that the consideration of imperfect products in lot sizing or inflation and time value of money is varying the optimal lot size, therefore consideration of these two factors in lot sizing is essential. This paper studies the effect of inflation and time value of money on the EPQ model with rework. Since the total cost relation involves a complicated exponential function, evaluating the optimal point is not a trivial task. The effect of inflation and time value of money was investigated under given sets of values of inflation and discount rates. Computational results indicate that this effect on the model is very important.*

© 2011 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 22, No. 2, All Rights Reserved

\*  
**Corresponding author. G. Moslehi**  
Email: [moslehi@cc.iut.ac.ir](mailto:moslehi@cc.iut.ac.ir)

## بررسی اثر تورم و ارزش زمانی پول بر روی اندازه‌ی دسته‌ی تولید با وجود دوباره کاری در یک مدل کنترل موجودی

قاسم مصلحی\*، مرتضی راستی برزکی و محسن فتح اله بیاتی

### کلمات کلیدی

تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید، دوباره کاری، تورم، ارزش زمانی پول

### چکیده:

از جمله فرض‌های مدل مقدار اقتصادی تولید<sup>۱</sup>، عدم تولید قطعات معیوب در حین عملیات تولیدی و نیز عدم توجه به تورم<sup>۲</sup> و ارزش زمانی پول<sup>۳</sup> می‌باشد. اما مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که در نظر گرفتن تولید قطعات معیوب در مدل‌های تعیین اندازه دسته تولید و یا وارد کردن موضوع تورم و ارزش زمانی پول در آنها، منجر به تغییر مقدار بهینه دسته تولید می‌شود. بنابراین، در سیستم‌های تولیدی با تولید قطعات معیوب، توجه به این دو عامل به منظور تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید لازم می‌باشد. این مقاله به بررسی اثر ارزش زمانی پول در مدل مقدار تولید اقتصادی با وجود دوباره کاری پرداخته است. به دلیل پیچیدگی تابع هزینه، یافتن جواب بهینه به سادگی امکان پذیر نیست؛ لذا در این مقاله از الگوریتمی مبتنی بر ترکیب دو روش جستجوی شتابدار و دیکوتوماس به منظور حل مسئله استفاده شده و اثر تورم و ارزش زمانی پول با استفاده از مقادیر عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت تحلیل حساسیت بر اساس پارامترهای نرخ بهره، نرخ تورم و نرخ توأم انجام شده است. محاسبات عددی نشان می‌دهد که عدم توجه به تورم و ارزش زمانی پول باعث خطای نسبتاً زیادی در هزینه می‌شود.

### ۱. مقدمه

از جمله موضوعاتی مهمی که انواع سازمان‌ها با آن روبرو هستند، مسائلی در زمینه‌ی برنامه ریزی تولید و کنترل موجودی<sup>۴</sup> می‌باشد. مسائلی از قبیل میزان و زمان سفارشات مواد اولیه یا قطعات نیمه ساخته، تعیین نوع سیستم کنترل موجودی، تعیین ظرفیت انواع انبارها و برنامه ریزی برای تحویل به موقع و اقتصادی سفارشات در این بحث قرار دارند. موضوع اصلی مسائل کنترل موجودی و برنامه ریزی تولید، تعیین مقدار بهینه سفارش اقتصادی یا تعیین اندازه‌ی

تاریخ وصول: ۱۳۸۹/۴/۹

تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱/۲۰

\*نویسنده مسئول مقاله: دکتر قاسم مصلحی استاد دانشکده مهندسی صنایع و

سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان [moslehi@cc.iut.ac.ir](mailto:moslehi@cc.iut.ac.ir)

مرتضی راستی برزکی، دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها،

دانشگاه صنعتی اصفهان

محسن فتح اله بیاتی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع،

دانشگاه علم و صنعت ایران

دسته‌ی<sup>۵</sup> تولید می‌باشد. این مقدار با توجه به ظرفیت‌ها و محدودیت‌ها و به منظور کمینه کردن کل هزینه‌های مرتبط با سفارش، خرید، نگهداری و تحویل و یا بیشینه کردن کل سود مرتبط با سیستم کنترل موجودی تعیین می‌شود [۱]. در همین راستا مدل مقدار اقتصادی سفارش به طور وسیعی برای تعیین اندازه‌ی دسته‌ی سفارش و یا خرید قطعات در سیستم‌های تولیدی به کار می‌رود. این مدل با در نظر گرفتن نرخ تولید به صورت ثابت، به مدل مقدار اقتصادی تولید تعمیم یافته است. دو مورد از مهمترین تعمیم‌های انجام شده در مدل‌های کنترل موجودی، افزودن مباحث کنترل کیفی و ارزش زمانی پول به آن مدل‌ها می‌باشد. در ادامه به برخی از کارهای انجام شده در زمینه تلفیق مباحث کنترل کیفی و کنترل موجودی و نیز در نظر گرفتن ارزش زمانی پول در مدل‌های موجودی اشاره می‌شود.

فرد پیشگام در زمینه تلفیق مسائل کنترل کیفیت و کنترل موجودی پرتوس می‌باشد [۲]. وی در سال ۱۹۸۶ مفهوم کنترل

محصولات معیوب را در یک حالت خاص مسئله روزنامه فروش که پیش از این توسط بیجاری و حجی تحت عنوان "مدل احتمالی یک دوره ای با موجودی تصادفی در ابتدای دوره" ارائه شده بود در نظر گرفتند [۱۵ و ۱۶].

فلاپر و جنسن مروری مفید بر انواع کاری های انجام شده در زمینه دوباره کاری انجام داده اند [۱۷]. سو در همین راستا مدل اقتصادی سفارش را با در نظر گرفتن هزینه تاگوچی برای قطعات معیوب مورد بررسی قرار داده است [۱۸]. از جمله مفروضات سو این است که توزیع مشخصه کیفی کالا نرمال باشد. راستی و همکارانش نیز مدل سو را برای حالتی که توزیع مشخصه کیفی قطعات، دارای توزیع عمومی باشد، مورد بررسی قرار داده اند و چنین نتیجه گرفته اند که مقدار سفارش اقتصادی برای آن مسئله به توزیع مشخصه کیفی بستگی ندارد [۱۹]. فتح اله بیاتی و دیگران، یک مدل یکپارچه محاسبه مقدار اقتصادی سفارش و بازاریابی توسعه داده اند که در آن محصولات از نظر کیفیت به چهار دسته محصولات با کیفیت مرغوب، محصولات ناتمام، محصولات معیوب قابل دوباره کاری و محصولات معیوب غیر قابل دوباره کاری تقسیم شده اند [۲۰].

ارزش زمانی پول برای اولین بار توسط هادلی در سال ۱۹۶۴ مورد بررسی قرار گرفت [۲۱]. وی مقادیر سفارش محاسبه شده با استفاده از متوسط هزینه سالیانه و هزینه تنزیل یافته<sup>۶</sup> را با یکدیگر مقایسه کرد و با مثال های عددی که پارامترهای آن مقادیری مطابق با دنیای واقعی باشند، نتیجه گرفته است که تفاوت هزینه در دو مدل قابل چشم پوشی است.

با وجود این وی نشان داده است که در حالت های حدی، اختلاف غیر قابل اغمازی ممکن است بدست آید. شخص پیشگام در زمینه در نظر گرفتن تورم در مدل های کنترل موجودی بازاکت می باشد که وی در سال ۱۹۷۵ برای اولین بار مدل مقدار سفارش اقتصادی را با در نظر گرفتن تورم مورد بررسی قرار داد [۲۲]. وی در پایان با جمع بندی مطالب نتیجه گرفته است که مدل مقدار سفارش اقتصادی با در نظر گرفتن تورم<sup>۷</sup> باید اصلاح شود. پس از آنها مقالات زیادی به منظور گسترش انواع مدل های موجودی با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و نرخ های تورم چند گانه داخلی و خارجی<sup>۸</sup> ارائه شده است. بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه کنترل موجودی و ارزش زمانی پول در سال های بین ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۰ مربوط به مدل های ایستا و اغلب کارهای انجام شده بعد از آن مربوط به مدل های پویا و احتمالی می باشد. به عنوان مثال، بیرمن و توماس در سال ۱۹۷۷ مدل مقدار سفارش اقتصادی را با در نظر گرفتن همزمان ارزش زمانی پول و تورم و با فرض گسسته بودن جریان نقدی کلیه هزینه ها بدون توجه به کارهای هادلی و بازاکت مورد بررسی قرار داده و آنرا با مدل مقدار سفارش اقتصادی مقایسه کردند. جیز و همکارانش نیز مدل مقدار سفارش اقتصادی را با

کیفیت را در یک سیستم تولیدی وارد کرد. در نظر گرفتن کیفیت محصول در مسائل کنترل موجودی با ارائه این مقاله، مورد توجه محققین واقع شد. روزنلات و لی با بررسی مدل تولید و در نظر گرفتن محصولات معیوب چنین نتیجه گرفتند که در نظر گرفتن محصولات معیوب باعث کاهش اندازه دسته تولید می شود [۳]. روزنلات و لی در مقاله دیگری بحث بازرسی قطعات را با این فرض که قطعات می توانند به وضعیت خارج از محدوده کنترلی وارد شوند، بررسی نمودند [۴].

فاین یک مدل برنامه ریزی پویای احتمالی در یافتن سیاست بهینه با در نظر گرفتن بازرسی ارائه کرد [۵]. هنگ و همکارانش بین کیفیت فرایند و سرمایه گذاری (کاهش زمان راه اندازی) در مسئله تعیین اندازه دسته تولید در حالت پویا ارتباط برقرار کردند [۶]. سالامه و جابر در سال ۲۰۰۰ مدل مقدار سفارش اقتصادی را با این فرض که برخی از کالاهای دریافتی ممکن است کیفیت لازم را نداشته باشند توسعه دادند [۷]. آنها در ارائه فرمول نهایی دچار اشتباهی شده اند که کاردناس آن را اصلاح کرده است [۸]. سالامه و جابر همچنین در مقاله خود به زمان فروش کالاهای معیوب اشاره ی واضحی نکردند. پاپچریستوس و کنتنتراس با اشاره به این مطلب، به اصلاح برخی مطالب آنها پرداختند [۹]. همچنین، گوپال و کاردناس در مقاله خود یک فرمول ساده تر برای مدل سالامه و جابر ارائه کردند [۱۰].

مدل ارائه شده توسط آنها جواب نزدیک به بهینه ارایه می دهد. هایک و سالامه با این فرض که در مدل مقدار تولید اقتصادی تمامی قطعات معیوب تولید شده دارای قابلیت دوباره کاری هستند یک نقطه بهینه برای آن معرفی کردند [۱۱]. چو در سال ۲۰۰۳ در مسئله می نیمم هزینه در مدل تولید با در نظر گرفتن نرخ تصادفی برای تعداد قطعات معیوب، ضایعات و دوباره کاری قطعات معیوب با قابلیت دوباره کاری و تقاضای عقب افتاده جواب بهینه را ارائه کرد [۱۲]. چان و همکارانش مدل مقدار تولید اقتصادی را با در نظر گرفتن فروش بخشی از قطعات معیوب با قیمت کمتر، بخشی به صورت دوباره کاری و بخشی به صورت ضایعات گسترش دادند [۱۳]. آنها برای زمان فروش قطعات معیوب با قیمت کمتر سه حالت شامل فروش به محض شناسایی توسط عملیات بازرسی، در پایان زمان تولید به صورت یک دسته و نیز در پایان زمان سیکل به صورت یک جا در نظر گرفتند. جمال و همکارانش در مدل تولید مقدار تولید اقتصادی فرض کردند که تمامی قطعات معیوب تولید شده دارای قابلیت دوباره کاری هستند [۱۴].

آنها فرایند دوباره کاری را مشابه فرایند تولید در نظر گرفتند؛ با این تفاوت که فرایند دوباره کاری هیچ گونه خروجی معیوبی نخواهد داشت. همچنین آنها برای زمان انجام فرایند دوباره کاری دو سیاست شامل دوباره کاری در هر سیکل و دوباره کاری در پایان افق برنامه ریزی، در نظر گرفتند. حجی و همکارانش تولید

است. همچنین تقاضا وابسته به زمان و مجاز بودن کسری در نظر گرفته شده است. در نهایت مدل حاصل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است [۳۴]. اخیراً میرزازاده یک مدل موجودی برای محصولات زوال پذیر توسعه داده است که در آن تورم وابسته به زمان و تقاضا وابسته به تورم در نظر گرفته شده است. این مدل با فرض مجاز بودن کسری و نرخ تورم داخلی و خارجی توسعه داده شده است [۳۵]. همچنین در سال ۲۰۱۰، چيو و سو ضمن در نظر گرفتن کیفیت های متفاوت محصولات و ارزش زمانی پول، فرض کرده اند که کیفیت پروسه تولید به صورت یک تابع نمایی قابل بهبود است؛ یعنی با سرمایه گذاری لازم می توان نوسانات کیفیت محصولات را کاهش داد [۳۶].

یکی از مدل های تعمیم یافته مقدار تولید اقتصادی با وجود قطعات معیوب، مدل ارائه شده توسط جمال و همکارانش می باشد. [۱۴] از آنجا که این مدل تطابق زیادی با دنیای واقعی دارد، مورد توجه نویسندگان مقاله حاضر قرار گرفته و به منظور کامل تر کردن آن از جهت سازگاری بیشتر با واقعیت ها، موضوع ارزش زمانی پول به آن اضافه شده است.

جمال و همکارانش دو نوع سیاست برای زمان انجام عملیات دوباره کاری در نظر گرفته اند؛ در سیاست نوع اول فرض شده است که عملیات دوباره کاری، در هر سیکل و بلافاصله بعد از کامل شدن عملیات تولیدی یک دسته شروع می شود. در سیاست دوم زمان فرض شده است که تمامی قطعات معیوب تولید شده در هر سیکل جمع آوری و در پایان افق برنامه ریزی به صورت یک جا مورد پردازش قرار می گیرند. این مقاله اثر ارزش زمانی پول را در مسئله تعیین اندازه دسته تولید با در نظر گرفتن دوباره کاری در هر سیکل (سیاست نوع اول) مورد بررسی قرار داده است.

بخش دوم این مقاله شامل تعریف مسئله، بیان فرض ها و معرفی نمادهای به کاررفته در مقاله می باشد. پس از آن در بخش سوم، مسئله‌ی بیان شده با توجه به ارزش زمانی پول ارائه و مدل سازی می شود. مدل ارائه شده یک تابع هزینه بر حسب متغیر تصمیم اندازه‌ی دسته‌ی تولید می‌باشد که به دلیل پیچیده بودن این تابع یافتن نقطه‌ی بهینه با استفاده از تکنیک مشتق گیری امکان پذیر نیست. در بخش چهارم الگوریتمی مبتنی بر ترکیب روش‌های جستجوی شتابدار و دیکوتوماس به منظور یافتن جواب نزدیک به بهینه پیشنهاد شده است و در بخش پنجم با ارائه یک مثال و انجام تحلیل حساسیت و محاسبات عددی اهمیت در نظر گرفتن ارزش زمانی پول در مدل مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. بخش نهایی به نتیجه گیری، همراه با ارائه‌ی پیشنهادات اختصاص داده شده است.

## ۲. تعریف مسئله

یک سیستم تولیدی تک محصولی را در نظر بگیرید که در آن در هر دوره، دسته ای به اندازه  $Q$  واحد محصول تولید می شود. مشاهدات

ارزش زمانی پول و تورم و با فرض پیوسته بودن جریان نقدی هزینه نگهداری بررسی کرده و نتیجه گرفتند که مقدار سفارش اقتصادی با و بدون در نظر گرفتن تورم تقریباً نتیجه یکسانی دارد [۲۳]. مهرا و همکارانش در سال ۱۹۹۱ نشان دادند که نتیجه بیان شده توسط جیز و همکارانش همیشه درست نیست.

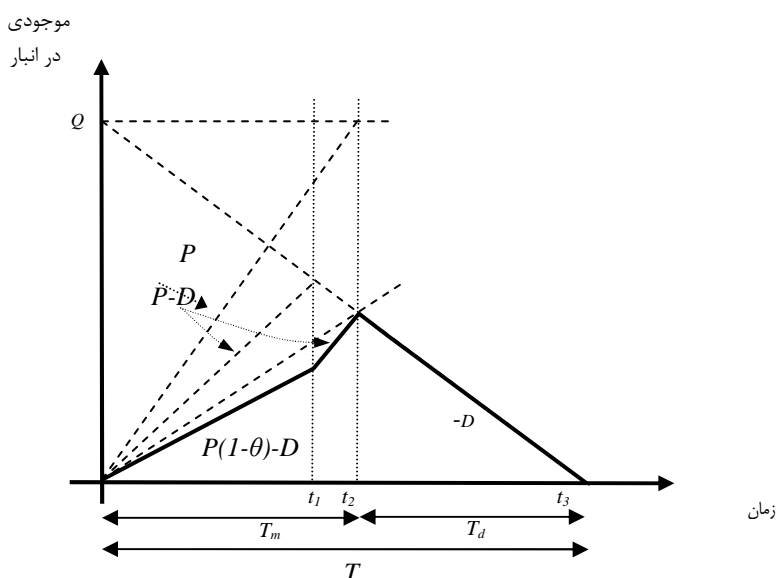
چاندارا و بانر در سال ۱۹۸۵ اثر تورم و ارزش زمانی پول را در دو مدل مقدار سفارش اقتصادی در حالت مجاز بودن کسری و مقدار تولید اقتصادی بدون کسری با دو نرخ تورم برای هزینه های داخلی و خارجی بررسی کرده اند و به منظور یافتن جوابی نزدیک جواب بهینه استفاده از روش های جستجو را برای هر دو مدل پیشنهاد کردند [۲۴]. سارکر و پن اثر تورم و ارزش زمانی پول را در مدل اقتصادی تولید در حالت مجاز بودن کمبود بررسی کرده و به دلیل پیچیدگی برای به دست آوردن جواب بهینه، تابع هدف، روش جستجوی هوک و جیوز را معرفی کردند [۲۵ و ۲۶]. در زمینه مدل های پویا، در سال ۲۰۰۱ مفهوم ارزش زمانی پول و تورم در مدلی که در آن تقاضا وابسته به قیمت و کسری نیز مجاز باشد مورد استفاده قرار گرفت [۲۷].

سان و کورانس در سال ۲۰۰۲، تولید در حالت چند محصولی و چند مرحله ای با به کارگیری ارزش زمانی پول به منظور می نیم کردن مجموع هزینه‌ها مورد بررسی قرار دادند [۲۸]. در سال ۲۰۰۳ یک مدل احتمالی برای سیستم موجودی چند محصولی و چند مرحله ای با محدودیت ظرفیت و با تابع هدف امید ریاضی ارزش فعلی هزینه ها ارائه و برای یافتن جواب مسئله از تکنیک برنامه ریزی پویا استفاده شد [۲۹]. یانگ و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۵ مدل های موجودی را با در نظر گرفتن زمان تحویل متغیر (با فرض تابع چگالی نرمال) و با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول توسعه دادند [۳۰].

مون و همکارانش در سال ۲۰۰۵ مدل هایی را برای کالاهایی که با مرور زمان از ارزش آنها کاسته می‌شود و یا به ارزش آنها افزوده می‌شود با الگوی تقاضای وابسته به زمان و با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و تورم برای یک افق برنامه ریزی مشخص بررسی و روش جستجوی ساده ای برای یافتن جواب نزدیک بهینه ارائه کردند [۳۱]. در سال ۲۰۰۶ مصلحی و راستی اثر ارزش زمانی پول را در مدل اندازه دسته تولید با تکنولوژی گروهی<sup>۹</sup> که توسط بوچر و به منظور تعیین اندازه دسته تولید بر پایه ایده تکنولوژی گروهی معرفی شده بود، مورد بررسی قرار دادند و چنین نتیجه گرفتند که خطای ناشی از عدم توجه به ارزش زمانی پول در مدل بوچر غیر قابل چشم پوشی می باشد [۳۲ و ۳۳]. در سال ۲۰۰۸، کومار دی و همکاران، یک مدل موجودی با در نظر گرفتن افق زمانی محدود را برای محصولات زوال پذیر توسعه دادند که در آن تورم و ارزش زمانی پول در نظر گرفته شده است. در این مدل فرض بر این است که دو انبار مجزا موجود بوده و هزینه نگهداری کالا در دو انبار متفاوت

پاسخ گوی نیاز مشتریان باشند. تقاضا پیوسته و با نرخ  $D$  واحد کالا در واحد زمان است. قطعاتی که معیوب هستند، پس از انجام عملیات بازرسی، در کنار دستگاه در سبد موجودی قطعات معیوب نگهداری می‌شوند تا پس از پایان تولید  $Q$  واحد وارد فرایند دوباره کاری شوند. پس از عملیات دوباره کاری، همه قطعات معیوب به قطعات سالم تبدیل می‌شوند. بنابراین قطعات معیوب پس از دوباره کاری، به عنوان قطعات سالم به انبار برای جواب دادن به تقاضا فرستاده می‌شوند. در شکل (۱)، رفتار موجودی در انبار بر حسب زمان نشان داده شده است.

گذشته نشان می‌دهد که  $\theta$  درصد از این قطعات تولیدی معیوب و قابل دوباره کاری هستند. بنابراین فرض می‌شود که همواره به طور ثابت و مشخص،  $\theta$  درصد از محصولات تولید شده معیوب هستند. عملیات بازرسی، بدون زمان و هزینه و به صورت صد در صد انجام می‌گیرد. به عبارت دقیق‌تر، به منظور پی بردن به کیفیت قطعات و شناسایی قطعات معیوب، هر قطعه بلافاصله بعد از تولید تحت عملیات بازرسی قرار می‌گیرد. همچنین در اینجا فرض می‌شود هر قطعه تولیدی یا سالم است و یا معیوب. قطعاتی که بوسیله عملیات بازرسی سالم تشخیص داده می‌شوند بلافاصله به انبار می‌روند تا



شکل ۱. رفتار موجودی محصول در انبار بر حسب زمان

- یک دستگاه وجود دارد و پس از انجام عملیات لازم، قطعات سالم به انبار جهت برآوردن تقاضا فرستاده می‌شوند.
- انقطاع در حین انجام عملیات تولیدی یک دسته وجود ندارد.
- کلیه پارامترها مانند نرخ تقاضا، زمان ماشین‌کاری هر قطعه، زمان راه اندازی، درصد قطعات معیوب و ... (به جزء هزینه‌ها که متورم می‌شوند) مشخص و ثابت (غیر تصادفی) هستند.
- ارزش افزوده در حین عملیات تولیدی صورت می‌گیرد و پرداخت‌ها به صورت پیوسته و لحظه‌ای فرض می‌شود.
- طول افق برنامه ریزی بی‌نهایت می‌باشد.

## ۲-۲- نمادها

نمادهای مورد استفاده در این مقاله به شرح زیر است:

لازم به ذکر است که فرایند دوباره کاری از نظر زمان و هزینه مشابه فرایند تولید فرض می‌شود. هدف، تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید می‌باشد به نحوی که مجموع هزینه‌های تنزیل یافته مرتبط با سیستم موجودی، شامل ارزش فعلی هزینه‌های راه اندازی، تولید (شامل هزینه تولید اولیه و هزینه دوباره کاری) و نگهداری کالا در انبار می‌نیمم شود. همانند جمال و همکارانش هزینه نگهداری قطعات معیوب در کنار دستگاه ناچیز فرض می‌شود.

## ۱-۲- فرضیات

فرضیات مدل مورد بررسی در این مقاله عبارتند از:

- یک محصول وجود دارد.
- کمبود مجاز نیست.
- هزینه زمان بازرسی ناچیز فرض می‌شود.
- عملیات راه اندازی نیاز به زمان ندارند ولی به ازای هر بار راه اندازی هزینه‌ای ثابت منظور می‌شود.

|               |  |
|---------------|--|
| $A$           | هزینه هر بار راه اندازی دستگاه در ابتدای افق برنامه ریزی (واحد پول به دفعه سفارش)                            |
| $c$           | هزینه پردازش هر واحد کالا در ابتدای افق برنامه ریزی (واحد پول به واحد کالا)                                  |
| $h$           | واحد هزینه نگهداری هر واحد محصول در واحد زمان در ابتدای افق برنامه ریزی (واحد پول به واحد کالا به واحد زمان) |
| $D$           | نرخ تقاضا در واحد زمان (واحد کالا به واحد زمان)  |
| $P$           | نرخ تولید در واحد زمان (واحد کالا به واحد زمان)  |
| $\theta$      | نسبت محصول معیوب به کل   |
| $\alpha$      | نرخ بهره مرکب به صورت پیوسته   |
| $\beta$       | نرخ تورم مرکب به صورت پیوسته   |
| $t_1$         | انتهای دوره تولید در هر سیکل (واحد زمان)   |
| $t_2$         | انتهای دوره دوباره کاری در هر سیکل (واحد زمان)   |
| $T_m$         | کل زمان پردازش در هر سیکل (واحد زمان)  |
| $T_d$         | طول بازه مصرف بدون تولید (واحد زمان)   |
| $T$           | طول هر دوره (واحد زمان)  |
| $Q$           | اندازه دسته تولید متغیر تصمیم (واحد کالا)  |
| $Q_{Jamal}^*$ | اندازه دسته تولید بهینه مدل جمال و همکارانش (واحد کالا)  |
| $Q^*$         | اندازه نزدیک به بهینه دسته تولید با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول (واحد کالا)                                  |
| $H(t)$        | واحد هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار در زمان $t$ (واحد پول به واحد کالا در واحد زمان)                    |
| $I(t)$        | تابع سطح موجودی انبار بر حسب زمان (واحد کالا)  |
| $C_s$         | ارزش فعلی هزینه راه اندازی در هر دوره (واحد پول)   |
| $C_m$         | ارزش فعلی هزینه تولید در هر دوره (واحد پول)  |
| $C_h$         | ارزش فعلی هزینه نگهداری موجودی انبار در هر دوره (واحد پول)   |
| $C$           | ارزش فعلی کل هزینه‌های مرتبط با موجودی برای هر دوره (واحد پول)   |
| $TC(Q)$       | ارزش فعلی کل هزینه‌های مرتبط با موجودی برای افق برنامه ریزی بی نهایت (واحد پول)                              |

### ۳. تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید با در نظر گرفتن ارزش

#### زمانی پول

بررسی رفتار موقعیت موجودی کالای ساخته شده در سلول تولیدی و محصول نهایی در انبار در طی زمان به منظور محاسبه انواع هزینه‌های موجودی لازم است.

از آنجایی که تقاضا قطعی است، رفتار موجودی کالای ساخته شده در انبار تقریباً مشابه مدل مقدار تولید اقتصادی می‌باشد. علت عدم یکسان بودن رفتار مدل بیان شده با مدل مقدار تولید اقتصادی فرایند دوباره کاری می‌باشد.

رفتار سطح موجودی محصول در انبار در شکل (۱) نشان داده شده است به علت لزوم بیان نکاتی در حین محاسبات مربوط به یافتن انواع هزینه‌ها و نیز به دلیل محاسبه خطای ناشی از عدم توجه به ارزش زمانی پول در بخش محاسبات عددی در زیر روابط بدست آمده توسط جمال و همکارانش آورده شده است. روابط (۱) و (۲) به ترتیب، تابع هزینه و نقطه بهینه مدل جمال و همکارانش را نشان می‌دهند.

$$TC = A \frac{D}{Q} + cD(I + \theta) + \frac{HQD}{2P^2} [(P(I - \theta) - D)(I + 2\theta) + \theta^2 (P - D)] \quad (1)$$

$$+ \frac{HQ}{2P} \left( I - \frac{D}{P} - \frac{\theta D}{P} \right)^2$$

$$Q_{Jamal}^* = \sqrt{\frac{2AD}{h \left[ I - \frac{D}{P} (I + \theta + \theta^2) \right]}} \quad (2)$$

روابطی که توسط جمال و همکارانش در مورد هزینه‌های تولید شامل هزینه پردازش اولیه و عملیات دوباره کاری بدست آمده (جمله  $cD(I + \theta)$  در رابطه (۱) نشان می‌دهد که این دو هزینه به اندازه دسته تولید بستگی ندارد؛ بنابراین، آنها در تعیین اندازه بهینه دسته تولید بدون در نظر گرفتن ارزش زمانی پول نقشی ندارند. اما همان طور که در ادامه خواهد آمد با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول این دو هزینه در تعیین اندازه بهینه دسته تولید موثر هستند. روابط ۳ تا ۶ نحوه محاسبه اجزاء زمانی هر دوره شامل  $t_1$

۳-۱. محاسبه ارزش فعلی هزینه راه اندازی در هر دوره

با توجه به نمادهای تعریف شده، هزینه‌ی ثابت هر بار راه اندازی ماشین  $A$  می باشد که با دقت در شکل (۱) روشن می شود که این هزینه در ابتدای هر دوره اتفاق می افتد. بنابراین ارزش فعلی هزینه راه اندازی هر دوره برابر است با:

$$C_s = A \quad (۸)$$

۳-۲. محاسبه ارزش فعلی هزینه تولید در هر دوره

با توجه به نمادهای تعریف شده، هزینه تولید هر واحد محصول  $C$  واحد پول می باشد که این محصول ممکن است سالم یا معیوب باشد.

با توجه به اینکه نرخ تولید و نیز دوباره کاری در واحد زمان  $P$  واحد کالا می باشد؛ بنابراین هزینه تولید و یا دوباره کاری در واحد زمان و مادامی که تولید صورت می گیرد، برابر  $cP$  است. با توجه به روابط اقتصاد مهندسی، ارزش فعلی جریان نقدی  $f$  در زمان  $t$  برابر با  $fe^{-\alpha t}$  است [۳۷]؛ همچنین در صورتی که تورم مدنظر باشد می توان گفت اگر ارزش کلایی در زمان صفر باشد؛ مقدار آن با اعمال تورم به صورت پیوسته و مرکب در زمان  $t$  برابر با  $ge^{\beta t}$  است که در آن  $\beta$  نرخ تورم می باشد. با توجه به این نکته ارزش فعلی هزینه تولید و دوباره کاری هر دوره برابر با  $\rho = \beta - \alpha$  است. بنابراین داریم:

$$C_m = \int_0^{t_2} (cPe^{\beta t})e^{-\alpha t} dt = \frac{cP}{\beta - \alpha} (e^{(\beta - \alpha)t_2} - 1) = \frac{cP}{\rho} (e^{\frac{\rho(1+\theta)Q}{P}} - 1) \quad (۹)$$

$$H(t) = (he^{\beta})e^{-\alpha} = he^{\rho t} \quad (۱۱)$$

با توجه به رابطه (۱۰)، به منظور محاسبه هزینه نگهداری موجودی در انبار، دانستن تابع مقدار موجودی بر حسب زمان نیز لازم است. با دقت به شکل (۱) مشاهده می شود که رفتار موجودی در کل دوره را می توان با تفکیک زمان دوره به سه جز، به صورت تابعی از زمان نشان داد. با توجه به شکل (۱) رفتار موجودی به صورت تابعی از زمان برابر است با:

$$I(t) = \begin{cases} [P(I - \beta) - D]t & t \in [0, t_1] \\ [P(I - \beta) - D]t_1 + (P - D)(t - t_1) & t \in [t_1, t_2] \\ [P(I - \beta) - D]t_1 + (P - D)(t_2 - t_1) - D(t - t_2) & t \in [t_2, t_3] \end{cases} \quad (۱۲)$$

که پس از جایگذاری روابط (۳)، (۴) و (۵) در رابطه (۱۲) و ساده سازی داریم:

$t_1$ ،  $T_m$  و  $T$  را نشان می دهند. این روابط با توجه به شکل (۱) به راحتی قابل دست یابی هستند:

$$t_1 = \frac{Q}{P} \quad (۳)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{\theta Q}{P} = \frac{(1 + \theta)Q}{P} \quad (۴)$$

$$T_m = \frac{(1 + \theta)Q}{P} \quad (۵)$$

$$T = \frac{Q}{D} \quad (۶)$$

همانطور که پیش از این اشاره شد هزینه های سیستم موجودی شامل هزینه های راه اندازی، تولید (هزینه تولید اولیه و هزینه دوباره کاری) و نگهداری کلای در انبار می باشد. به منظور محاسبه ارزش فعلی مجموع هزینه های افق برنامه ریزی، در ابتدا ارزش فعلی هزینه یک دوره محاسبه می شود؛ سپس، با توجه به اینکه دوره‌ها مشابه هستند؛ ارزش فعلی کل هزینه‌ها قابل محاسبه خواهد بود. ارزش فعلی مجموع هزینه های هر دوره برابر است با:

$$C = C_s + C_m + C_h \quad (۷)$$

اکنون با توجه به توضیحات بالا و با توجه به شکل (۱) به محاسبه ارزش فعلی هر یک از هزینه های بیان شده در طول یک دوره می پردازیم:

۳-۳. محاسبه ارزش فعلی هزینه نگهداری در هر دوره

با توجه به نمادهای تعریف شده،  $H(t)$  و  $I(t)$  به ترتیب واحد هزینه نگهداری هر واحد کالا و میزان موجودی در انبار در زمان  $t$  می باشند. هزینه نگهداری موجودی در انبار در طول هر دوره با توجه به میزان موجودی هر لحظه از زمان، برابر است با:

$$C_h = \int_0^T H(t)I(t)dt \quad (۱۰)$$

اگر  $h$  هزینه نگهداری هر واحد کالا در واحد زمان و در مبداء زمان (زمان صفر) باشد، در این صورت  $H(t)$  برابر است با:

۳-۴- محاسبه ارزش فعلی کل هزینه‌ها

در بخش قبلی هر یک از جملات هزینه‌ی یک دوره به صورت جداگانه محاسبه شد؛ بنابراین کل هزینه‌های مرتبط با موجودی برای یک دوره با توجه به رابطه‌ی (۷) قابل محاسبه می‌باشد. در ضمن واضح است که این هزینه در هر دوره به طور مشابه تکرار می‌شود.

بنابراین به منظور به دست آوردن ارزش فعلی مجموع هزینه‌ها، ارزش فعلی هزینه‌ی هر دوره برای افق برنامه ریزی (مدت زمان نامحدود) با توجه به ارزش زمانی پول با هم جمع می‌شود. با توجه به اینکه فاصله دوره‌ها از یکدیگر به اندازه طول هر دوره ( $T$ ) می‌باشد، ارزش فعلی هزینه‌ها برابر است با:

$$I(t) = \begin{cases} [P(1-\theta) - D]t & t \in [0, t_1] \\ -\theta Q + (P - D)t & t \in [t_1, t_2] \\ Q - Dt & t \in [t_2, t_3] \end{cases} \quad (13)$$

با استفاده از روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۳) ارزش فعلی کل هزینه‌ی نگهداری کالای ساخته شده (محصول) برابر است با:

$$\begin{aligned} C_h &= \int_0^T I(t)H(t)dt \\ &= \int_0^{t_1} [(P(1-\theta) - D)t]he^{\rho t} dt \\ &\quad + \int_{t_1}^{t_2} [-\theta Q + (P - D)t]he^{\rho t} dt \\ &\quad + \int_{t_2}^{t_3} [Q - Dt]he^{(\beta-\alpha)t} dt \\ &= \frac{Ph}{\rho^2} \left[ \left( 1 - e^{-\frac{\rho Q(1+\theta)}{P}} + \theta(e^{-\frac{\rho Q}{P}} - 1) \right) + \frac{D}{P} \left( e^{-\frac{\rho Q}{D}} - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

$$TC(Q) = C + C e^{\rho T} + C e^{2\rho T} + \dots = C(1 + e^{-\frac{\rho Q}{D}} + e^{-2\frac{\rho Q}{D}} + \dots) \quad (15)$$

داخل پرانتز سمت راست رابطه (۱۵) برابر  $\frac{1}{1 - e^{-\frac{\rho Q}{D}}}$  می‌شود که در این حالت  $TC(Q)$  همگرا می‌شود. در این صورت با جایگذاری ارزش فعلی مجموع هزینه‌های هر سیکل ( $C$ ) که با استفاده از روابط (۸)، (۹) و (۱۴) بدست می‌آید در رابطه (۱۵)، ارزش فعلی مجموع هزینه‌های موجودی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} TC(Q) &= \left\{ A + \frac{cP}{\rho} \left( e^{\rho(1+\theta)\frac{Q}{P}} - 1 \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{Ph}{(\alpha - \beta)^2} \left[ \left( 1 - e^{-\rho(1+\theta)\frac{Q}{P}} + \theta \left( e^{-\rho\frac{Q}{P}} - 1 \right) \right) + \frac{D}{P} \left( e^{-\rho\frac{Q}{D}} - 1 \right) \right] \right\} \\ &\quad * \left( \frac{1}{1 - e^{-\rho\frac{Q}{D}}} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

نشان می‌دهد با به کار گیری این تقریب، پیچیدگی مشتق تابع هدف به قوت خود باقی می‌ماند. با توجه به عدم کارایی تکنیک مشتق در بدست آوردن ریشه‌ی تابع باید به سراغ روش‌های جستجو رفت. بیشتر روش‌های بهینه‌یابی عددی مبتنی بر تولید دنباله‌ای از مقادیر تقریبی است به طوری که با توجه به آن مقادیر، تابع هدف بهبود یابد. در این مقاله از ترکیب الگوریتم جستجو با حرکت شتابدار (به منظور جستجوی سریع بازه‌ای که نقطه بهینه در آن قرار دارد) و روش دیکوتوماس (به منظور کاهش بازه انتخاب شده و معرفی یک نقطه نزدیک به بهینه به قدر دلخواه)، برای حل مسئله استفاده شده است [۳۸]. این روش ترکیبی قادر است با هر دقت دلخواه به جواب بهینه نزدیک شود. در روش مذکور از  $Q_{Jamal}$

اگر  $\rho = \beta - \alpha > 0$  باشد، در صورتی که افق برنامه ریزی بی‌نهایت فرض شود، عبارت داخل پرانتز رابطه (۱۵) واگرا خواهد بود؛ پس عبارت مشخصی برای  $TC(Q)$  به دست نمی‌آید. بنابراین در صورتی که  $\beta - \alpha > 0$  باشد، باید یک افق برنامه ریزی محدود (معمولاً یک سال) در نظر گرفته شود تا تابع هزینه کل همگرا شود. اما در صورتی که  $\alpha - \beta \geq 0$  باشد (که در عمل هم همین‌طور است زیرا نرخ بهره حداقل به اندازه نرخ تورم می‌باشد) عبارت

۴. روش حل مسئله

همان‌گونه که مشاهده شد رابطه‌ی ۱۶، تابعی یک متغیره برحسب  $Q$  می‌باشد. در صورتی که مشتق دوم تابع مثبت باشد، این تابع همواره محدب بوده و دارای نقطه می‌نیمم مطلق است. برای یافتن نقطه‌ی بهینه هم باید از تابع نسبت به  $Q$  مشتق گرفت و ریشه آن را پیدا کرد. محاسبات نشان می‌دهد که نتیجه مشتق اول و دوم پیچیده و طولانی است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد به دست آوردن ریشه مشتق اول به عنوان نقطه‌ی بهینه و نشان دادن مثبت بودن مشتق دوم امکان‌پذیر نیست. استفاده از تقریب خطی  $e^{-\delta} = 1 - \delta + \frac{\delta^2}{2}$  نیز مشکل را حل نمی‌کند زیرا محاسبات



یک عدد کوچک است):

(رابطه ۲) به عنوان نقطه شروع اولیه استفاده شده است. مراحل این

الگوریتم به شرح زیر است (در این الگوریتم  $\delta$  دقت مورد نظر و  $\varepsilon$

گام صفر: تابع  $TC(Q)$  که یک تابع هزینه یک متغیره است را در نظر بگیرید.

گام اول: نقطه شروع اولیه  $(Q_0)$  را تعیین کنید ( $Q_0 = Q_{Jamal}$ ). چنانچه  $TC(Q_0 + \varepsilon) > TC(Q_0)$ ، قرار دهید:  $s = -0.02Q_0$  و در غیر این صورت قرار دهید:  $s = 0.02Q_0$ .

گام دوم: قرار دهید:  $Q_1 = Q_0$ . تا زمانی که  $TC(Q_1) < TC(Q_0)$  قرار دهید:  $Q_1 = Q_1 + s$ .

گام سوم: اگر  $Q_0 > Q_1$  است، مقادیر  $Q_0$  و  $Q_1$  را با یکدیگر جایگزین کنید.

گام چهارم: قرار دهید:  $Q_0^* = Q_0 + (Q_1 - Q_0)/2 - \delta/2$  و  $Q_1^* = Q_0 + (Q_1 - Q_0)/2 + \delta/2$

▪ اگر  $TC(Q_0^*) < TC(Q_1^*)$  آنگاه مقادیر  $Q > Q_1^*$  را حذف نموده و قرار دهید:  $Q_1 = Q_1^*$

▪ اگر  $TC(Q_0^*) > TC(Q_1^*)$  آنگاه مقادیر  $Q < Q_1^*$  را حذف نموده و قرار دهید:  $Q_0 = Q_0^*$

▪ اگر  $TC(Q_0^*) = TC(Q_1^*)$  دو نقطه دیگر را به عنوان  $Q_0$  و  $Q_1$  انتخاب کنید. (با تغییر در  $\delta$ )

گام پنجم: اگر  $|TC(Q_0^*) - TC(Q_1^*)| < \delta$  قرار دهید:  $Q^* = (Q_0^* + Q_1^*)/2$  (جواب نزدیک به بهینه رابطه ۱۶ است). در غیر این صورت به گام چهارم بروید.

### ۵. مثال عددی و تحلیل حساسیت

جدول (۱) جواب نزدیک به بهینه این مثال را به همراه ارزش فعلی مجموع هزینه‌ها برای جواب نزدیک به بهینه و نقطه بهینه‌ای که با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید، نشان می‌دهد. در این جدول، ۹ مقدار متفاوت برای نرخ بهره و تورم در نظر گرفته شده است:

در این بخش با بیان یک مثال عددی، نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج مدل جمال و دیگران [۱۴] مقایسه گردیده و سپس به تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود.

مثال عددی زیر مفروض است:

|            |                     |                 |                 |
|------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| $A = 1900$ | دفعه سفارش/ریال     | $D = 100$       | سال / واحد کالا |
| $c = 120$  | واحد کالا/ریال      | $P = 1100$      | سال / واحد کالا |
| $h = 6$    | واحد کالا. سال/ریال | $\theta = 17\%$ |                 |

جدول ۱. حل یک مثال عددی برای مقادیر مختلف نرخ بهره و نرخ تورم و مقایسه با مدل جمال و دیگران [۱۴]

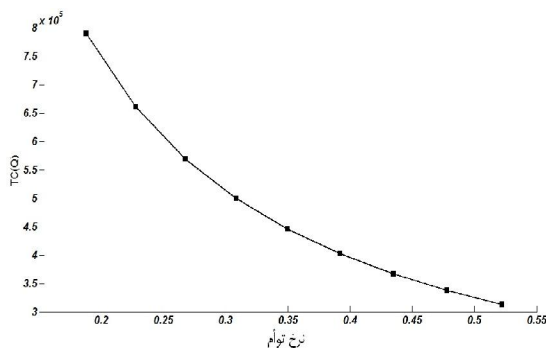
| ردیف | $\alpha$ (%) | $\beta$ (%) | $Q^*$ | $TC(Q^*)$ | $Q_{Jamal}^*$ | $TC(Q_{Jamal}^*)$ | $\frac{TC(Q_{Jamal}^*) - TC(Q^*)}{TC(Q^*)} * 100$ |
|------|--------------|-------------|-------|-----------|---------------|-------------------|---|
| ۱    | ۵            | ۴           | ۲۳۹   | ۱۵۶۳۶۰۰   | ۲۶۷           | ۱۵۶۴۵۰۰           | ۰/۰۶  |
| ۲    | ۱۰           | ۵           | ۱۷۹   | ۳۲۴۰۳۰    | ۲۶۷           | ۳۲۷۵۴۰            | ۱/۰۸  |
| ۳    | ۱۵           | ۶           | ۱۴۸   | ۱۸۵۱۵۰    | ۲۶۷           | ۱۹۰۳۱۰            | ۲/۷۹  |
| ۴    | ۲۰           | ۷           | ۱۳۰   | ۱۳۱۲۸۰    | ۲۶۷           | ۱۳۷۶۸۰            | ۴/۸۷  |
| ۵    | ۲۵           | ۸           | ۱۱۶   | ۱۰۲۵۴۰    | ۲۶۷           | ۱۰۹۹۲۰            | ۷/۲۰  |
| ۶    | ۳۰           | ۹           | ۱۰۶   | ۸۴۶۰۷     | ۲۶۷           | ۹۲۸۲۴             | ۹/۷۱  |
| ۷    | ۳۵           | ۱۰          | ۹۸    | ۷۲۳۲۷     | ۲۶۷           | ۸۱۲۶۷             | ۱۲/۳۶   |
| ۸    | ۴۰           | ۱۱          | ۹۲    | ۶۳۳۷۴     | ۲۶۷           | ۷۲۹۵۵             | ۱۵/۱۲   |
| ۹    | ۴۵           | ۱۲          | ۸۷    | ۵۶۵۴۹     | ۲۶۷           | ۶۶۷۰۶             | ۱۷/۹۶   |

زمانی پول و تورم در مدل جمال و همکارانش قابل چشم پوشی نمی باشد. برای مثال همان طور که از جدول مشاهده می شود این خطا برای نرخ بهره ۲۵ درصد و نرخ تورم ۸ درصد برابر ۷/۲ درصد می باشد؛ واضح است که این مقدار خطا در هزینه ها حائز اهمیت می باشد. در ادامه به تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی نسبت به پارامترهای نرخ بهره، نرخ تورم و نرخ توأم پرداخته می شود. روند تغییرات مقدار بهینه مجموع هزینه ها به ازای تغییرات نرخ بهره، نرخ تورم و نرخ توأم در جدول (۲) آمده است. همچنین روند تغییرات در شکل های (۲) تا (۴) نشان داده شده است.

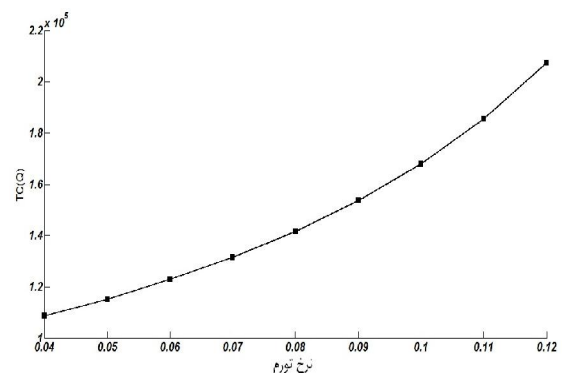
ستون ۴ این جدول مقدار بهینه هزینه کل را برای نرخ های متفاوت نشان می دهد. این مقدار با استفاده از الگوریتم جستجوی بیان شده در مورد ارزش فعلی کل هزینه ها به دست آمده است. ستون ۵ کمترین مقدار هزینه ها را نشان می دهد که از رابطه (۱۶) و به ازای دسته تولیدی به اندازه ستون ۴ به دست می آید. ستون های ۶ و ۷ به ترتیب مقادیر بهینه و هزینه می نیمم مدل جمال و همکارانش را نشان می دهند. ستون ۸ درصد خطای ناشی از عدم توجه به تورم و ارزش زمانی پول در تعیین اندازه دسته تولید نشان می دهد. این مثال نشان می دهد که خطای عدم توجه به ارزش

جدول ۲. روند تغییرات مقادیر مجموع هزینه ها نسبت به تغییرات نرخ تورم، نرخ بهره و نرخ توأم

| تغییر نرخ توأم |              | تغییر بهره            |              | تغییر نرخ تورم         |             |
|----------------|--------------|-----------------------|--------------|------------------------|-------------|
| تغییر نرخ توأم |              | با نرخ تورم ثابت = ۷٪ |              | با نرخ بهره ثابت = ۲۰٪ |             |
| $TC(Q^*)$      | نرخ توأم (%) | $TC(Q^*)$             | $\alpha$ (%) | $TC(Q^*)$              | $\beta$ (%) |
| ۷۸۹۹۹۰         | ۱۹           | ۷۸۹۹۹۰                | ۱۰           | ۱۰۸۶۲۰                 | ۴           |
| ۶۶۰۸۷۰         | ۲۲           | ۲۷۲۴۷۰                | ۱۴           | ۱۱۵۲۲۰                 | ۵           |
| ۵۶۸۶۳۰         | ۲۷           | ۱۶۸۰۱۰                | ۱۸           | ۱۲۲۸۸۰                 | ۶           |
| ۴۹۹۲۷۰         | ۳۰           | ۱۲۲۸۸۰                | ۲۲           | ۱۳۱۵۷۰                 | ۷           |
| ۴۴۵۴۵۰         | ۳۵           | ۹۷۵۱۰                 | ۲۶           | ۱۴۱۷۰۰                 | ۸           |
| ۴۰۲۲۴۰         | ۴۰           | ۸۱۲۰۰                 | ۳۰           | ۱۵۳۶۷۰                 | ۹           |
| ۳۶۶۸۷۰         | ۴۳           | ۶۹۸۷۰                 | ۳۴           | ۱۶۸۰۱۰                 | ۱۰          |
| ۳۳۷۵۵۰         | ۴۸           | ۶۱۵۲۰                 | ۳۸           | ۱۸۵۵۲۰                 | ۱۱          |
| ۳۱۲۵۹۰         | ۵۲           | ۵۵۱۰۰                 | ۴۲           | ۲۰۷۳۸۰                 | ۱۲          |

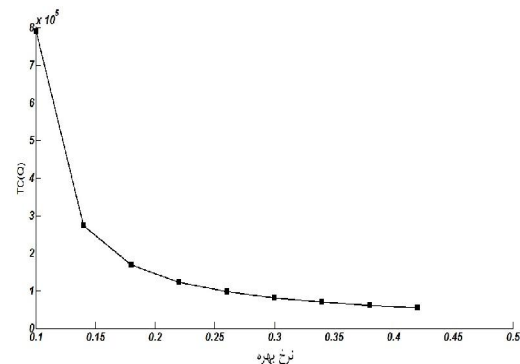


شکل ۴. روند تغییرات مجموع هزینه ها نسبت به نرخ توأم



شکل ۲. روند تغییرات مجموع هزینه ها نسبت به نرخ تورم (به ازای نرخ بهره ثابت 20%)

همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، مقدار مجموع هزینه‌ها با افزایش نرخ تورم افزایش می‌یابد. همچنین شکل (۳) نشان می‌دهد که افزایش نرخ بهره موجب کاهش مجموع هزینه‌ها می‌شود. از سوی دیگر، با توجه به شکل (۴)، نرخ توأم نیز مشابه نرخ بهره اثر معکوس بر روی مقدار مجموع هزینه‌ها داشته و افزایش آن، مجموع هزینه‌ها را کاهش می‌دهد.



شکل ۳. روند تغییرات مجموع هزینه ها نسبت به نرخ بهره (به ازای نرخ تورم ثابت 7%)

### ۶. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

اخیراً تلفیق مدل های کلاسیک کنترل موجودی و مباحث کنترل کیفی مورد توجه تعداد زیادی از محققین قرار گرفته است.

[9] Ciardenas-Barrion, L.E. "Observation on: "Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality" [International Journal of Production Economics 64, 59-64]"; Int. J. Prod. Eco. 67, 201 2000.

[10] Papachristos, S., "Konstantaras I., Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality", Int. J. Prod. Eco. 64, 59-64, 2006.

[11] Goyal, S.K., Cardenas-Baron, L.E., "Note on: Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality—a Practical Approach". Int. J. Prod. Eco. 77, 85-87, 2002.

[12] Hayek, P.A., Salameh, M.K., Production lot Sizing with the Reworking of Imperfect Quality Items Produced. roduction Planning and Control 12, 584-590 2001.

[13] 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), 427-437, 2003.

[14] Chan, W.M., Ibrahim, R.N., Lochert, P.B. A New EPQ Model: Integrating Lower Pricing, Rework and Reject Situations. Production Planning and Control 14, 588-595, 2003.

[15] Jamal, A.M.M., Sarker, B.R., Mondal, S., Optimal Manufacturing Batch Size with Rework Process at a Single-Tage Production System. Computers & Industrial Engineering 47, 77-89, 2004.

[16] Haji, A., Haji, R., Bijari, M., The Newsboy Problem with Random Defective and Probabilistic Initial Inventory. The 36<sup>th</sup> CIE Conference on Computers and Industrial Engineering.. 3498-3502 2006.

[17] Bijari M. Haji R., The single period problem with stochastic initial inventory, International Journal of Engineering Science, 15 (2), 47-54, 2004.

[18] Flapper, SDP, Jensen, T., Logistic Planning of Rework with Deteriorating Work-in-Process. International Journal of Production Economics 88 (1), 51-59, 2004.

[18] Tsou, J.C., "Economic Order Quantity Model and Taguchi's Cost of Poor Quality", Applied Mathematical Modeling, 31 (2) 283-291, 2007.

[19] Rasti, M.B., Tsou, J.C., Chen, W.J., "A New EPQ Model with Continuous Quality Characteristic and Rework", Proceeding of Conference on Management, Information and Business, China University of Technology, Taiwan, 1 3-11, 2006.

[20] Fathollah Bayati, M, Rasti Barzoki, M, Hejazi, S.R., A Joint Lot Sizing and Marketing Model with Reworks, Scraps and Imperfect Products Considerations, International Journal of Industrial Engineering Computations, 2 395-408, 2011.

[21] Hadley, G., A Comparison of Order Quantities Computed using the Average Annual Cost and the

همچنین وارد کردن ارزش زمانی پول و تورم در مدل های کنترل موجودی جنبه دیگری برای گسترش این مدل ها محسوب می شود. در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و تورم در مدل های تلفیقی کنترل کیفی و کنترل موجودی در مطالعات صورت گرفته مشاهده نشده است. در این مقاله به بررسی این مسئله یعنی اثر ارزش زمانی پول در مدل اندازه‌ی دسته‌ی تولید با در نظر گرفتن دوباره کاری برای حالت تک محصولی پرداخته شد. برای حل مسئله از الگوریتمی مبتنی بر ترکیب دو روش جستجوی شتابدار و دیکوتوماس به منظور حل مسئله استفاده گردید و اثربخشی مدل با استفاده از یک مثال عددی نشان داده شد.

به عنوان تحقیقاتی آتی می توان به تعمیم مسئله برای حالت چند محصولی، تعمیم مدل با در نظر گرفتن از کارافتادگی ماشین و در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و تورم در مدل های مشابه اشاره کرد. همچنین مانند کارهای چونگ و همکارانش [۳۹] و چونگ و هونگ [۴۰]، یافتن حدود بالا و پایین برای نقطه‌ی نزدیک به بهینه‌ی مدل توسعه یافته در این مقاله برای استفاده در روش مقدار میانی به منظور انجام محاسبات عددی، می تواند از جمله کارهای آتی می‌باشد.

### مراجع

[۱] مصلحی، ق.، راستی برزکی، م.، تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید با در نظر گرفتن موجودی در جریان ساخت و ارزش زمانی پول، چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۸۵.

[2] Magee, J.F., Boodman, D.M.; *Production Planning and Inventory Control*; McGraw-Hill, New York.1967.

[3] Porteus, E.L., "Optimal Lot-Sizing Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction", Oper. Res. 34, 1986, pp. 137-144.

[4] Rosenblat, M.J., Lee, H.L., "Economic Production Cycles with Imperfect Production Processes", IIE Trans. 18, 48-55, 1986.

[5] Lee, H.L., Rosenblatt, M.J., "Simultaneous Determination of Production Cycles and Inspection Schedules in a Production System", Mng. Sci., 33, 1125-1137, 1987.

[6] Fine, C.H., "A Quality Control Model with Learning Effects", Oper. Res., 36, 1988, pp. 437-444.

[7] Hong, J., Xu, S.H., Hayya, J.C., "Process Quality Improvement and Setup Reduction in Dynamic lot-Sizing", Int. J. Prod. Res. 31, 2693-2708, 1993.

[8] Salameh, M.K., Jaber, M.Y., "Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality", Int. J. Prod. Eco. 64, 59-64, 2000.

- [36] Young, D.; *Modern Engineering Economy*, John Wiley & Sons, Inc., New York. 1992. *Discounted Cost*, management science, 10, 472-476, 1964.
- [37] Rao, S.S., *Optimization: Theory and applications*, Wiley Eastern, New York. 1984.
- [38] Chung, K.J., Lin, S.D., Chu, P., Lan, S.P., "The Production and Inventory Systems Taking into Account of Time Value", *Prod. Plan. & conl*, 9, 580-584, 1998.
- [39] Huang, Y.F, Chung, K.J., "A Not on the Production and Inventory Systems Taking into Account of Time Value", *Prod. Plan. & conl*, 14, 673-675, 2003.
- [22] Buzacott, J.A.; *Economic Order Quantities With Inflation*; *Operational Research Quarterly*, 26, 553-558, 1985.
- [23] Jesse, R.R., Mitra, Jr. A., Cox, J.F.; EOQ formula: is it valid under inflationary conditions?. *Dec Sci*, 14, 370-374, 1983.
- [24] Chandra, M.J., Bahner, M.L.; *The Effects of Inflation and the Time Value of Money on Some Inventory Systems*, *Int. J. of Pro. Res.* 23 (4) 723-730, 1985.
- [25] Sarker, B.R., Pan, H.; *Effects of Inflation and Time Value of Money on Order Quantity and Allowable Shortage*, *Int. J. Pro. Eco.* 34 65-72 1994.
- [26] Hooke, R., Jeeves, T.A.; *Direct Search Solution of Numerical and Statistical Problem*; *J. Assoc. Comput. Math*; 8 212-229, 1961.
- [27] Wee, H.M., Law, S.T., *Replenishment and Pricing Policy for Deteriorating Items taking into Account the Time Value of Money*. *Int. J. Pro. Eco.* 71 213-220, 2001.
- [28] Sun, D.N., Queyranne, M.; *Production and Inventory Model using Net Present Value*. *Operations Research* 50 528-537, 2002.
- [29] Grubbstrom, R.W., Wang, Z; *A Stochastic Model of Multi-Level/ multi-Stage Capacity-Constrained Production - Inventory Systems*, *Int. J. Pro. Eco.* 81-82 483-494, 2003.
- [30] Yang, G., Ronald, R.J., Chu, P., *Inventory Models with Variable Lead Time and Present Value*, *Eur. J. Opl Res*, 164 358-366, 2005.
- [31] Moon, I., Chandra, B.G., Ko, B., *Economic Order Quantity Models for Ameliorating/Deteriorating Items Under Inflation and Time Discounting*, *Eur. J. Opl Re*, 162 773-785, 2005.
- [32] Boucher, T.O.; *Lot Sizing in Group Technology Production Systems*, *International Journal of Production Research*. 22 85-93, 1984.
- [33] Kumar Dey, J., Mondal, S.K., Maiti, M., "Two Storage Inventory Problem with Dynamic Demand and Interval Valued Lead Time over Finit Time Horizon Under Inflation and Time Value of Money", *European Journal of Operational Research*, 185, 170-194, 2008.
- [34] Mirzazadeh, A., "Effects of Variable Inflationary Conditions on an Inventory Model with Inflation-Proportional Demand Rate", *Jounal of applied science*, 10, 551-557, 2010.
- [35] Y, Su, D., "Considering Quality Cost, Time-Value of Money and Process Quality Improvement Function in the Economic Product Quality Model", *Journal of Chinese institute of industrial engineers*, 27, 249-259, 2010.