University of Qom
Engineering Management and Soft Computing
JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

An Analysis of Multiple Shipment Models in Inventory Control Systems: A Review

Miad Saberi [1], Hadi Mokhtari [2]

1. BSc. in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran, Email: miadsaberi1380@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof. of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Email: mokhtari_ie@kashanu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 - 7 – 2024
Received in revised form 7 - 11 - 2024
Accepted 18 - 2 – 2025
Published online 18 - 3 – 2025

Keywords:
Multiple shipment
Discrete delivery
Multiple delivery
Multiple transport

ABSTRACT

One of the major assumptions considered in various inventory control models is that the issuance of goods and their delivery to the customer is considered a continuous process, while in reality, vehicles are used for delivering goods, and a continuous replenishment policy is usually infeasible. In this regard, numerous researchers have conducted extensive studies since the 1990s and have addressed various aspects of this type of delivery policy, using keywords such as periodic delivery, discrete delivery, multiple shipments, etc. In this research, a literature review of multiple shipment models in inventory control systems is provided, and in this regard, approximately 120 scientific articles that included this topic in their titles, keywords, diagrams, and detailed discussions in the text have been reviewed. Out of all these articles, 75 articles have been further examined, some of which will be visible in a comparative table format. Additionally, the reviewed articles are categorized into two types: based on the type of model and based on the details of multiple shipments, and they are discussed under these titles. In the classification based on the type of model, EOQ, EPQ, and FPR models have been considered, and in the other classification, regardless of the model on which multiple shipments are implemented, articles that address more details of periodic delivery are provided.

Cite this article: ……..

© The Author(s) **Publisher**: University of Qom

DOI: https://doi.org/

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۵-۲۵۳۸
مدیریت مهندسی و رایانش نرم
دانشگاه قم

تحلیلی بر مدل‌های ارسال چندگانه در سیستم‌های کنترل موجودی: مطالعه مروری

میعاد صابری [1]، هادی مختاری [2]

1. فارغ‌التحصیل کارشناسی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران miadsaberi1380@gmail.com
2. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران mokhtari_ie@kashanu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: 1403/05/06
تاریخ بازنگری: 1403/08/17
تاریخ پذیرش: 1403/11/30
تاریخ انتشار 1403/12/30
کلیدواژه‌ها:
ارسال چندگانه
تحویل چندگانه
تحویل گسسته
حمل‌ونقل چندگانه
سیاست ارسال ناپیوسته

چکیده

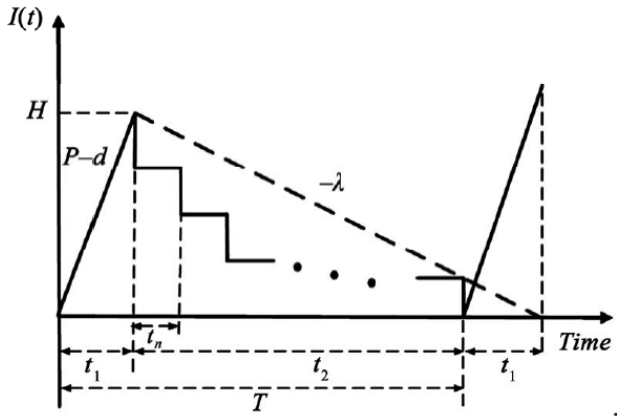
یکی از عمده‌ترین فرضیاتی که در مدل‌های مختلف کنترل موجودی در نظر گرفته می‌شود، این است که ارسال کالا را امری پیوسته می‌داند، حال آنکه در واقعیت، از وسایل نقلیه برای تحویل کالا استفاده می‌شود، و یک روش تکمیل مداوم، معمولاً غیرقابل اجرا است. در این راستا،پژوهشگران متعدد، مطالعات گسترده‌ای را از دهه 1990، شروع کرده و به جنبه‌های مختلف این نوع سیاست تحویل، با کلیدواژه‌های تحویل دوره‌ای، تحویل گسسته، ارسال چندگانه و... پرداخته‌اند. در این پژوهش، به مرور ادبی مدل‌های ارسال چندگانه در سیستم‌های کنترل موجودی پرداخته شده و در این راستا، حدوداً 130 مقاله علمی که این مبحث را چه در عنوان، چه در کلیدواژه‌ها، چه در نمودارها و چه به‌صورت تفصیلی در متن شامل می‌شد، مورد بررسی قرار گرفته است. از جمیع این مقالات، تعداد 68 مقاله مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفته که برخی از آن‌ها در قالب جدول و با منظر مقایسه، قابل مشاهده خواهند بود. همچنین مقالات مورد بررسی، در دو نوع دسته‌بندی، براساس نوع مدل و براساس جزئیات ارسال چندگانه، تفکیک شده و ذیل این عناوین به آن‌ها پرداخته شده است. در دسته‌بندی براساس نوع مدل، مدل‌های EOQ، EPQ و FPR در نظر گرفته شده‌اند و در دسته‌بندی دیگر، فارغ از مدلی که ارسال چندگانه بر مبنای آن پیاده‌سازی شده، مقالاتی که به جزئیات بیشتری از تحویل دوره‌ای می‌پردازد، آورده شده است.

استناد: .....

ناشر: دانشگاه قم
© نویسندگان.

1) مقدمه

یکی از فرضیاتی که در هر مدل‌های پایه‌ای EOQ و EPQ وجود دارد، این است که ارسال کالا را امری پیوسته در نظر می‌گیرند، حال آنکه در واقعیت، از وسایل نقلیه برای تحویل کالا استفاده می‌شود، و یک روش تکمیل مداوم، معمولاً غیرقابل اجرا است. در عمل از وسایل نقلیه برای تحویل استفاده می‌شود و روش تحویل پیوسته عملاً غیرقابل اجرا است. پژوهشگران از دهه 1990 با بررسی گسترده به جنبه‌های مختلف سیاست‌های تحویل، با استفاده از کلیدواژه‌های تحویل دوره‌ای، تحویل گسسته، ارسال چندگانه و غیره، مطالعات بسیار زیاد و گسترده‌ای را آغاز کرده‌اند. در واقع، نقد و بررسی دقیق این جنبه‌ها به پژوهشگران کمک می‌کند تا الگوریتم‌های بهینه‌سازی مناسب برای ساماندهی فعالیت‌های تحویل کالا را پیدا کنند. به علاوه، شناسایی نقطهٔ بهینهٔ بین هزینهٔ حمل و نقصانات مختلف نظیر خطا در سفارشات و زمانبندی مناسب تحویل کالا، جزء چالش های مطالعات حوزهٔ کنترل موجودی است. همچنین چندین پارامتر در تحویل گسسته یا به عبارتی ارسال چندگانه گنجانده شده است، مانند ظرفیت وسیله نقلیه، زمان حمل تا نقطه تقاضا و غیره. در نظر گرفتن این پارامترها می تواند عملکرد سیستم موجودی را به طور قابل توجهی تغییر دهد. در ادامه نمودار EPQ با ارسال چندگانه را مشاهده می‌نمایید (نمودار 1).



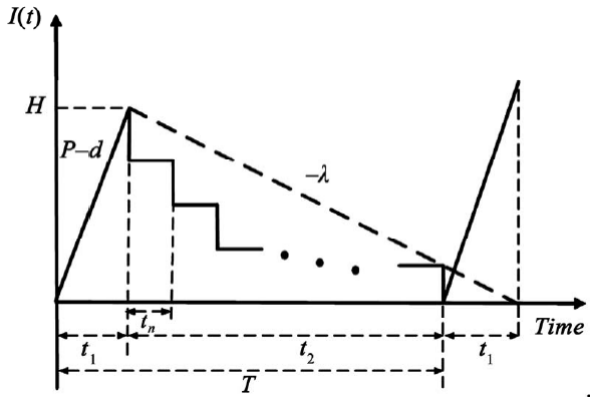
نمودار ۱. نمودار مدل EPQ با تحویل ناپیوسته و حمل‌ونقل چندگانه

همانطور که قبلاً نیز مطرح شد، پژوهشگران حوزه کنترل موجودی، همواره کوشیده‌اند تا فرضیات غیرواقعی مقالات قبلی را حذف کرده و با واقعی‌تر کردن فضای مسئله، آن را کاربردی کنند تا برای پیاده‌سازی در شرایط روزِ کارخانجات صنعتی و شرکت‌های تولیدی مناسب‌تر باشد. در همین راستا، تحقیق و مطالعه در رابطه با مدل‌های مختلف ارسال چندگانه در سیستم‌های کنترل موجودی، امری است که به بهره‌وری بنگاه‌های صنعتی و تولیدی کمک کرده و نهایتاً به رضایت بیشتر مشتریان ختم خواهد شد. در این تحقیق مروری بر ادبیات مدلهای کنترل موجودی با ارسال چندگانه ارائه می‌شود.

2) روش شناسی پژوهش

2–1) مروری بر تاریخچه ادبیات ارسال چندگانه

همانطور که قبلاً نیز بیان شد یکی از فرضیاتی که در مدل‌های مختلف کنترل موجودی وجود دارد، این است که ارسال کالا را امری پیوسته در نظر می‌گیرند، حال آنکه در واقعیت، از وسایل نقلیه برای تحویل کالا استفاده می‌شود، و یک روش تکمیل مداوم، معمولاً غیرقابل اجرا است. همچنین چندین پارامتر در تحویل گسسته یا به عبارتی ارسال چندگانه گنجانده شده است، مانند ظرفیت وسیله نقلیه، زمان حمل تا نقطه تقاضا و غیره. در نظر گرفتن این پارامترها می تواند عملکرد سیستم موجودی را به طور قابل توجهی تغییر دهد. برای فهم بیشتر، نمودار موجودی برحسب زمان برای این نوع سیاست تحویل را مجدداً مشاهده می‌کنیم (نمودار2):



نمودار ۲. نمودار مدل EPQ با تحویل ناپیوسته و حمل‌ونقل چندگانه

برای مرور مقالاتی که در این زمینه نگارش شده‌اند، دو نوع دسته‌بندی زیر در نظر گرفته شده است:

1) دسته‌بندی براساس نوع مدل
2) دسته‌بندی براساس جزئیات ارسال چندگانه

2–1– 1) دسته‌بندی براساس نوع مدل

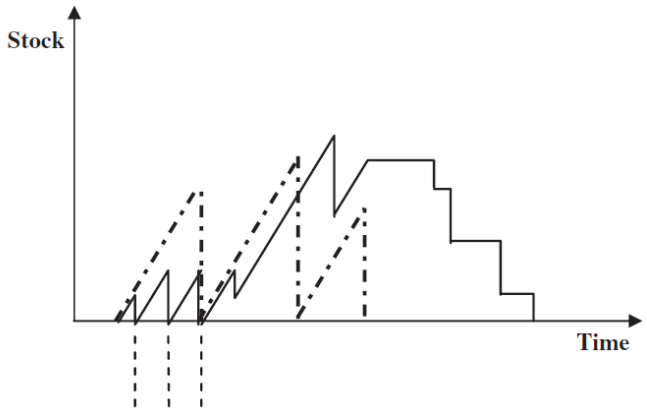
براساس نوع مدلی که هر پژوهشگر، موضوع ارسال چندگانه را بر مبنای آن ارائه داده است، سه دسته عمده مورد بررسی قرار می‌گیرند: مدل‌های EOQ[1] با ارسال چندگانه، مدل‌های EPQ[2] با ارسال چندگانه، مدل‌های FPR[3] با ارسال چندگانه

2–1–1–1) مدل‌های EOQ با ارسال چندگانه

از اولین پژوهش‌هایی که پیوند اشتراک میان مدل EOQ وسیاست ارسال چندگانه ایجاد کرد، مقاله سجادی و همکاران (2006) در سال 2006 بود. در این مقاله مفهوم اندازه انباشته اقتصادی مشترک برای اصلاح روش کلاسیک شناخته شده EOQ (مقدار

[1] Economic order quantity
[2] Economic production quantity
[3] Finite production rate

سفارش اقتصادی) مطرح شده است. ایده اصلی این مفهوم، در نظر گرفتن همکاری دو طرف (خریدار و فروشنده) برای تعیین اندازه انباشته اقتصادی سودآورتر و در نتیجه دور شدن از فرآیند چانه زنی متخاصم است. در نمودار3 نمودار موجودی فروشنده برحسب زمان برای این مدل را مشاهده می‌کنید:

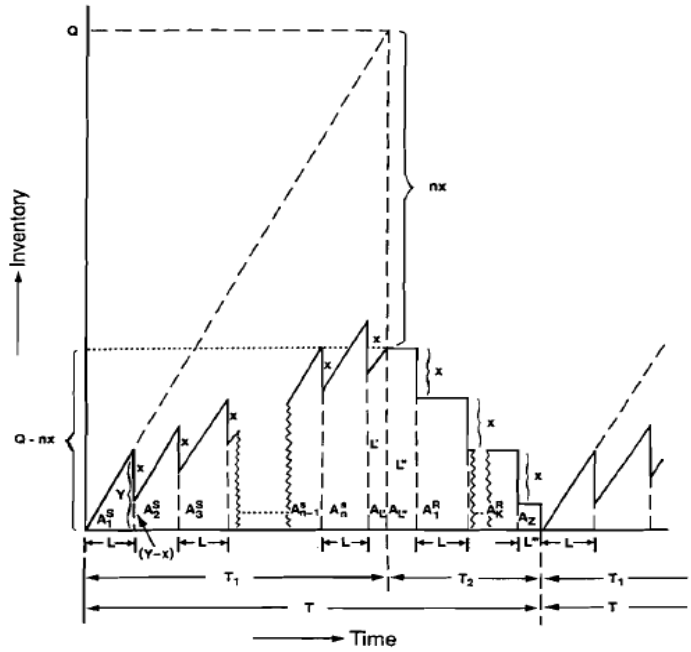


نمودار ۳. سطح موجودی فروشنده برحسب زمان (خطوط توپر و خطوط چین به ترتیب نشان‌دهنده سطح موجودی با و بدون حمل‌ونقل چندگانه هستند) [۱۲]

اما با توجه به اینکه مدل EPQ به نوعی پیشرفته‌تر و در فضای تولید واقعی‌تر از مدل EOQ محسوب می‌شود، عمده مقالاتی که در در زمینه ارسال چندگانه نگارش می‌شوند، بیشتر بر پایه مدل‌های EPQ یا EMQ هستند. به همین دلیل مقالات حمل‌ونقل چندگانه با مدل EOQ فراوانی چندانی ندارد.

2-1-1-2) مدل‌های EPQ/EMQ با ارسال چندگانه

از قدیمی‌ترین مقالاتی که سیاست ارسال ناپیوسته در آن مشاهده می‌شود، پژوهش‌های سرکار و همکاران (1992-1994 و 2001-2002) است که سال انتشار آن‌ها به 1992 الی 1994 میلادی بازمی‌گردد. همانطور که در نمودار4 نیز قابل مشاهده است، در نمودار این مطالعات که در آن‌ها یک سیستم تحویل به موقع (JIT) مورد بررسی قرار گرفته، از سیاست ارسال چندگانه استفاده شده است.

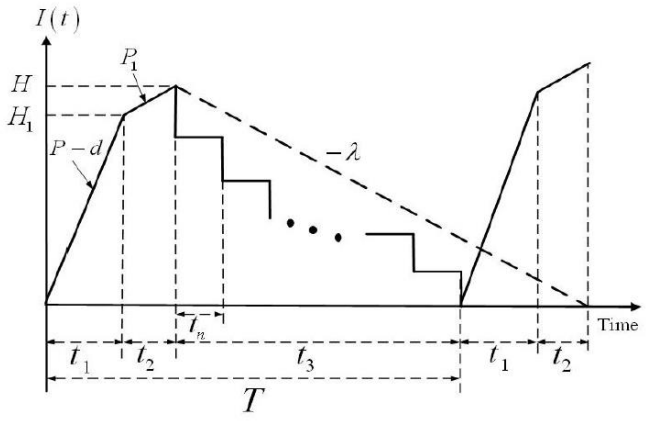


نمودار ۴. نمودار موجودی در دست برحسب زمان در یک مدل EMQ با سیستم تحویل JIT [۷]

پس از آن نیز، پژوهش‌هایی با همین موضوع توسط سرکار و خان (2002) در سال 2002 انجام گرفت.

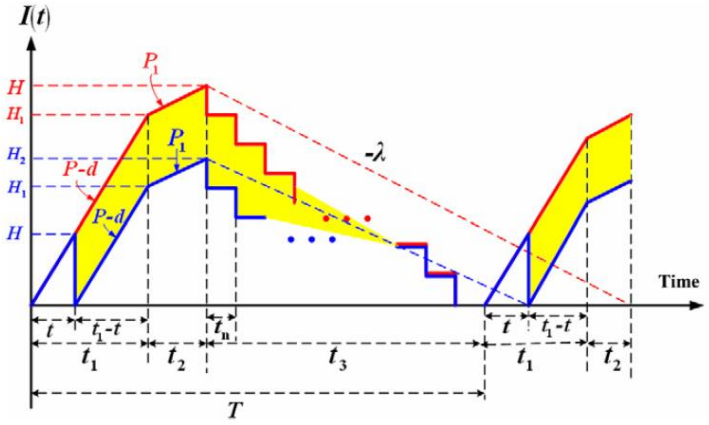
در ادامه، دو دانشمند ایرانی، پسندیده و اخوان نیاکی[13] به منظور کاربردی‌تر کردن مدل EPQ برای منمودارات تولید در دنیای واقعی و کنترل موجودی، در پژوهشی، این مدل را با این فرض گسترش دادند که سفارش‌ها ممکن است به‌صورت گسسته در قالب پالت‌های متعدد تحویل داده شوند. علاوه بر این، ممکن است بیش از یک محصول همراه با محدودیت فضای انبار وجود داشته باشد. تحت این شرایط، مسئله را به عنوان یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح غیر خطی فرموله کرده و یک الگوریتم ژنتیک برای حل آن پیشنهاد دادند.

اما همانطور که در چکیده این پژوهش نیز بیان شد، برای اولین بار در سال 2009، چیو و همکاران (2009)، به‌صورت متمرکزتر از گذشته به این موضوع پرداخته، و مدل خود را با این سیاست تحویل، ارائه کردند. می‌توان گفت این مقاله، از اولین پژوهش‌ها از سیر تکاملی بحث ارسال چندگانه در کنترل موجودی است که توسط نویسندگان این مقاله، شروع شد. در ادامه این مسیر، اکثر پژوهش‌های انجام شده، از نمودارها و رهنمودهای این مقاله بهره بردند. (نمودار5)



نمودار ۵. موجودی در دسترس اقلام با کیفیت عالی در مدل EPQ با خط مشی تحویل چندگانه، ضایعات و دوباره‌کاری [۳]

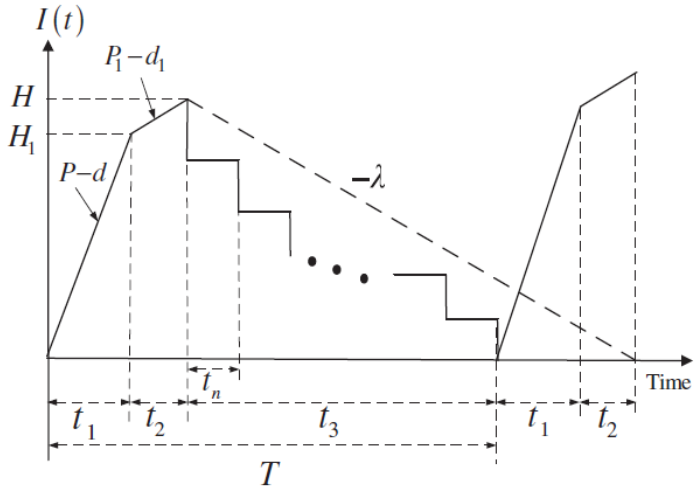
همانطور که در نمودار9 نیز قابل مشاهده است، در این مدل علاوه بر سیاست تحویل چندگانه، با توجه به وجود ضایعات، دوباره‌کاری و تضمین کیفیت نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این صورت که پس از طی شدن بازه زمانی t_1 و سپری شدن دوره اصلی تولید، در بازه زمانی t_2 عملیات دوباره‌کاری بر روی اقلام معیوب آغاز می‌شود و اقلام پس از برخورداری از کیفیت مناسب، به انبار موجودی اضافه می‌شوند. یک سال بعد چیو و همکاران (2010) در مقاله‌ای جدید، با ارائه رویکرد جبری و ساده‌تر نسبت پژوهش قبلی، به نوعی آن را توسعه دادند. همچنین در توسعه دیگری به منظور کاهش هزینه نگهداری سهام تامین‌کننده، چیو و همکاران (2011) مسئله مطالعه شده توسط چیو و همکاران (2011) را مجدداً بررسی کرده و یک خط مشی تحویل $n + 1$ را به جای طرح چند تحویلی n تایی برای آنها در نظر می‌گیرد. تحت خط مشی پیشنهادی، تحویل اولیه اقلام کامل (با کیفیت مناسب) به مشتری برای ارضای تقاضای محصول در طول زمان تولید منظم و زمان دوباره‌کاری سازنده توزیع می‌شود. سپس، در پایان دوباره‌کاری، زمانی که بقیه انباشت تولید تضمین شده است (از کیفیت مناسب برخوردار شده است)، تعداد ثابت n قسط از محصولات نهایی در یک بازه زمانی مشخص به مشتری تحویل داده می‌شود. نمودار موجودی این مدل در نمودار6 قابل مشاهده است:



نمودار ۶. کاهش مورد انتظار در هزینه‌های نگهداری موجودی (به رنگ زرد) مدل پیشنهادی[۲۶] در مقایسه با مدل Chiu و همکاران[۳]

همچنین در توسعه همین مدل از چیو و همکاران (2012)، مقاله دیگری توسط چیو و همکاران (2013) در سال 2013 نگارش شده که در آن یک روش حل ساده شده برای بررسی مجدد مقاله قبل ارائه می کند. این رویکرد جایگزین، افراد با دانش کم از حساب دیفرانسیل و انتگرال را قادر به درک راحت‌تر و مدیریت چنین مسئله یکپارچه خریدار – فروشنده واقعی می‌کند.

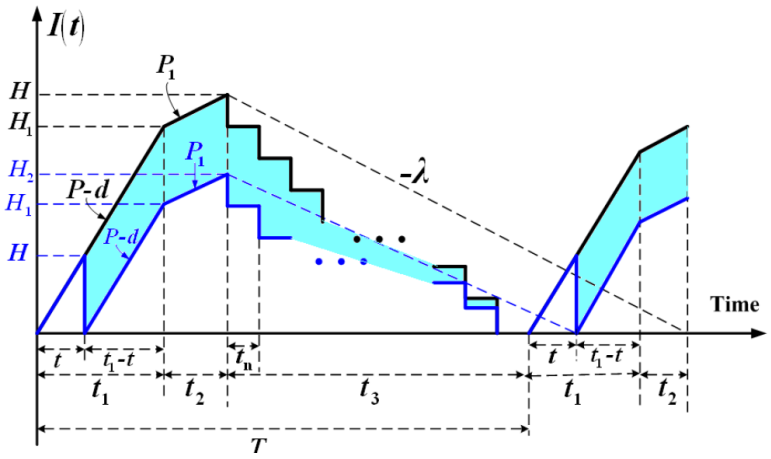
در ادامه، پژوهش مشابه دیگری توسط چیو و همکاران (2013) انجام گرفت که در آن از روش عددی برای تعیین اندازه انباشته بهینه برای یک سیستم تولیدی با سیاست ارسال موجودی ناپیوسته و دوباره‌کاری ناقص اقلام معیوب تصادفی استفاده می‌شود. تفاوتی که این مدل با مدل‌های قبلی دارد، در نوع دوباره‌کاری می‌باشد. در این مدل در طول فرآیند دوباره‌کاری، شکست در تعمیر وجود دارد. یعنی ممکن است بخشی از اقلام بازسازی شده از بین رفته و به ضایعات تبدیل شود. اقلام تمام شده تنها در صورتی می‌توانند به مشتریان تحویل داده شوند که در پایان دوباره‌کاری از کیفیت کامل اطمینان حاصل شود. در نمودار7 نمودار این مدل را می‌بینید:



نمودار ۷. موجودی در دسترس اقلام با کیفیت عالی در مدل EMQ با خط مشی تحویل چندگانه، دوباره کاری و خرابی در تعمیر[۱۶]

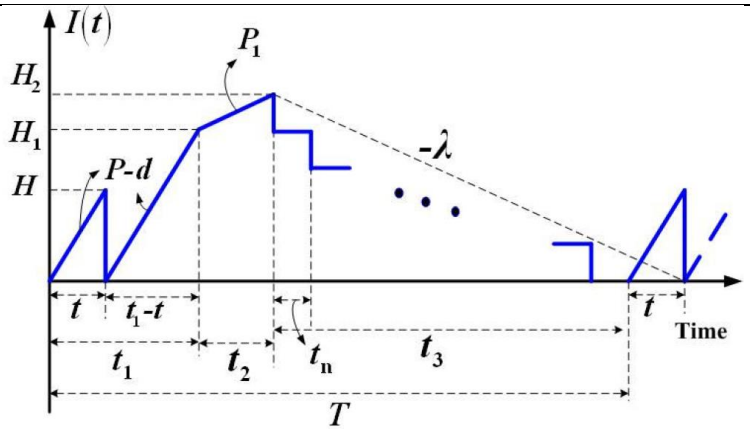
در مقاله‌ای که یک از سال پس از همین پژوهش به انتشار رسید، لی و همکاران (2011) آن را به شرح زیر توسعه دادند:
در مقاله قبل چیو و همکاران (2014) اندازه انباشت بهینه را برای یک سیستم تولیدی با سیاست ارسال ناپیوسته و دوباره‌کاری ناقص مورد مطالعه قرار دادند. آنها یک طرح چند تحویلی n تایی را اتخاذ کردند که در پایان فرآیند دوباره‌کاری شروع می‌شود، زمانی که کل قسمت از کیفیت اطمینان حاصل شود. این مقاله، مدل قبل را با هدف کاهش هزینه نگهداری سهام تامین‌کننده، گسترش داده و یک خط مشی تحویل n + 1 تایی را به جای طرح چند تحویلی n تایی آنها پیشنهاد می‌کند.
اما توسعه دیگری نیز بر روش عددی که چیو و همکاران (2014) استفاده کردند انجام شده. چیو و همکاران (2015) در مطالعه‌ای یک رویکرد جایگزین (یعنی بدون مشتقات) برای حل یک مدل EPQ خاص با سیاست ارسال ناپیوسته و فرآیند دوباره‌کاری ارائه می‌کند. این رویکرد جایگزین ممکن است متخصصانی را که دانش کمی از حساب دیفرانسیل و انتگرال دارند، قادر سازد تا چنین سیستم تولید واقعی را به راحتی درک کنند.
در سال 2011، چیو و همکاران (2011) در مقاله‌ای از مدل‌سازی ریاضی برای تعیین خط‌مشی بهینه پر کردن موجودی برای مقدار تولید اقتصادی (EMQ) با دوباره‌کاری و ارسال چندگانه استفاده می‌کنند. یک سال بعد چیو و همکاران (2012)، در توسعه همین مقاله یک رویکرد جبری ساده برای انجام این کار پیشنهاد می‌کنند.
در مقاله مشابهی چیو و همکاران (2015) اندازه و خط مشی حمل‌ونقل بهینه را برای یک مدل کمیت تولید اقتصادی (EPQ) با تحویل‌های متعدد و دوباره‌کاری اقلام معیوب تصادفی استخراج می‌کنند. در این مطالعه که مجله ایرانی وابسته به دانشگاه صنعتی شریف آن را منتشر کرده، فرض بر این است که اقلام با کیفیت ناقص به دو گروه تقسیم می‌شوند: اقلام قراضه و اقلام قابل دوباره‌کاری. همچنین خرابی در تعمیر نیز وجود دارد، از این رو اقلام قراضه اضافی تولید می شود. اقلام تمام شده تنها در صورتی می‌توانند به مشتریان تحویل داده شوند که در پایان دوباره‌کاری از کیفیت کامل اطمینان حاصل شود. در این مطالعه از مدل‌سازی ریاضی استفاده شده و تابع هزینه متوسط تولید – موجودی - تحویل بلندمدت استخراج می‌شود.

در پژوهشی چیو و همکاران (2015)، به تعیین مشترک اندازه تولید بهینه و تعداد بهینه محموله برای یک مدل EPQ با دوباره‌کاری اقلام معیوب تصادفی تولید شده پرداختند. در این مطالعه، تمام اقلام غیرمنطبق تولید شده قابل تعمیر در نظر گرفته شده و در هر چرخه پس از پایان یک دوره تولید، مجدداً کار می‌شوند. اقساط چندگانه با مقدار ثابت از دسته تمام‌شده تنها در صورتی می‌تواند به مشتریان تحویل داده شود که در پایان دوباره‌کاری از کیفیت کامل اطمینان حاصل شود. در ادامه، همین مدل توسط چیو و همکاران (2016) گسترش یافت. در این توسعه یک سیاست تحویل محصول با هدف کاهش هزینه‌های نگهداری سهام فروشنده و خریدار پیشنهاد می‌شود. تحت سیاست افزایش پیشنهادی، یک تحویل اضافی از قبل از اقلام نهایی به خریدار توزیع می‌شود تا تقاضای محصول در طول زمان تولید و کار مجدد تامین‌کننده برآورده شود. سپس تعداد ثابت n قسط از اقلام تمام شده در پایان دوباره‌کاری به خریدار تحویل داده می‌شود. این مطالعه با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به همراه معادلات ماتریس، اندازه بهینه تولید و همچنین تعداد بهینه تحویل را بدست می‌آورد که هزینه‌های کل را برای سیستم یکپارچه فروشنده–خریدار پیشنهادی با سیاست حمل و نقل محصول افزایش می‌دهد. همچنین یک مثال عددی همراه با چند سناریو برای نشان دادن صرفه‌جویی قابل توجه از مدل پیشنهادی ارائه شده است. (نمودار8)



نمودار ۸. سطح موجودی اقلام کامل فروشنده در مدل پیشنهادی (به رنگ آبی) و کاهش مورد انتظار در هزینه های نگهداری (در سایه آبی روشن)[۳۰] هنگام مقایسه با مدل Chiu و همکاران[۲۲]

همین مقاله نیز توسط چیو و همکاران (2016) ساده سازی شده است. در این مطالعه یک رویکرد جایگزین برای بررسی مجدد روش حل مسئله خود بدون نیاز به ارجاع حساب دیفرانسیل ارائه می‌شود. چنین رویکرد جبری سرراست به تمرین‌کنندگانی که ممکن است دانش کافی از حساب دیفرانسیل را نداشته باشند، کمک می‌کند تا به آسانی چنین سیستم حمل‌ونقل تولیدی یکپارچه‌ای را درک کنند. (نمودار9)

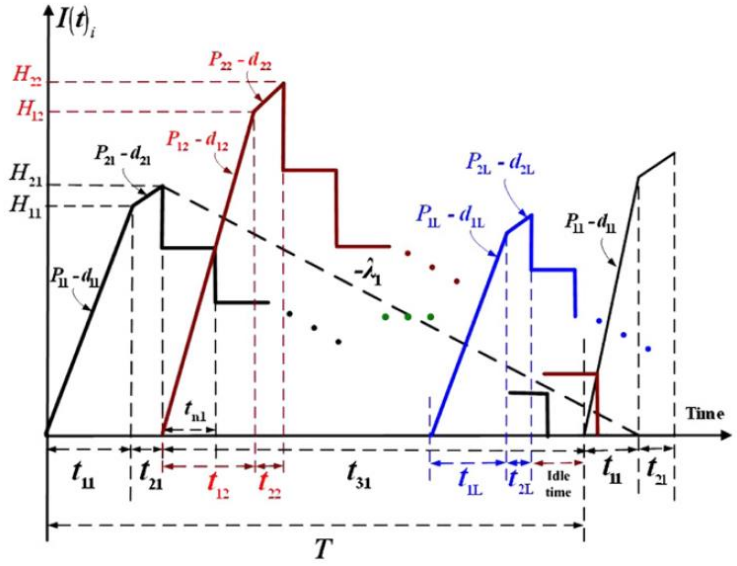


نمودار ۹. موجودی دردست فروشنده از اقلام با کیفیت عالی برای مدل پیشنهادی با دوباره‌کاری و سیاست تحویل مجدد (n+۱) [۲۹]

ریتا و مارتین (2013) در مقاله‌ای که سال 2013 به انتشار رسید، یک مدل ریاضی را ارائه می‌کنند که سیاست پر کردن موجودی بهینه را برای کمیت تولید اقتصادی (EMQ) با دوباره‌کاری و حمل‌ونقل چندگانه همراه با گنجاندن هزینه تعویض و بسته‌بندی تعیین می‌کند.

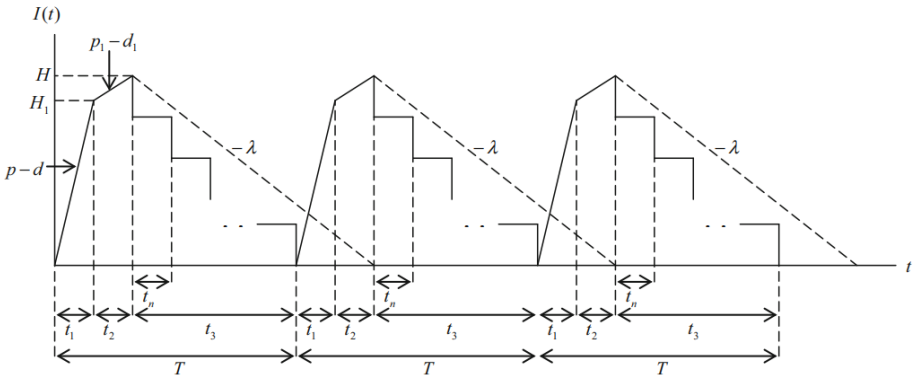
در سال 2013 مطالعه‌ای توسط چیو و همکاران (2013) انجام می‌گیرد که به زمان چرخه مشترک بهینه برای یک سیستم تولید چند موردی با تحویل ناپیوسته و شکست در دوباره‌کاری مربوط می شود. در این مقاله به تأثیرات تحویل چندگانه و شکست در دوباره‌کاری بر تصمیمات چرخه تولید مشترک سیستم‌های تولید چند موردی توجه شده است. نیز از مدل‌سازی ریاضی برای تعیین چرخه مشترک بهینه استفاده شده که هزینه متوسط بلندمدت را برای چنین سیستم تولید چند موردی خاص به حداقل می‌رساند.

همچنین چیو و همکاران (2014)، در مقاله‌ای دیگر، به توسعه همین مدل پرداختند. یک رویکرد جایگزین برای تعیین زمان چرخه مشترک برای یک سیستم تولید چند موردی با تحویل ناپیوسته و شکست در دوباره‌کاری برای پژوهش ریتا و همکاران (2013) در این مطالعه پیشنهاد شده است. این مقاله نشان داده است که چنین زمان چرخه مشترک بهینه را می‌توان بدون مشتقات به دست آورد و به‌وسیله روش ساده‌تری که ارائه می‌دهد، متخصصان با دانش کم یا بدون دانش حساب دیفرانسیل را قادر می‌سازد تا سیستم‌های تولید چند موردی واقعی را به طور مؤثرتری درک و مدیریت کنند. نمودار موجودی این مدل را در نمودار10 مشاهده می‌شود.



نمودار ۱۰. سطح موجودی دردست محصول با کیفیت عالی i در سیستم تولید چند موردی پیشنهادی تحت سیاست زمانی چرخه مشترک[۴۰]

همچنین در همان سال 2013، چیو و همکاران (2013)، در پژوهشی به تعیین مشترک زمان چرخه چرخش و تعداد محموله‌ها برای مدل کمیت تولید اقتصادی چند موردی (EPQ) با نرخ نقص تصادفی پرداختند. این مطالعه به عوامل عملی مانند تولید اقلام معیوب، به حداکثر رساندن استفاده از ماشین و سیاست تحویل چندگانه پرداخته و یک مدل EPQ چند موردی با نرخ ضایعات تصادفی و سیاست تحویل چندگانه را بررسی می‌کند. در سال 2015، طالعی‌زاده و همکاران (2015) در مقاله ای که کار چیو و همکاران (2015) را بهبود بخشیده، یک مدل موجودی EPQ را با فرآیند دوباره‌کاری، سیاست حمل‌ونقل چندگانه و قیمت‌گذاری توسعه می‌دهد. موجودی EPQ پیشنهادی، اندازه انباشت تکمیلی و قیمت فروش را به طور مشترک تعیین می‌کند. (نمودار 11)



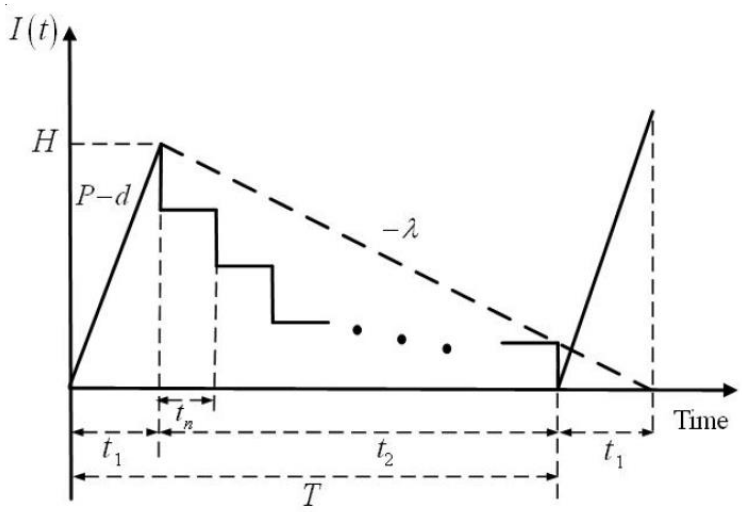
نمودار ۱۱. سطح موجودی اقلام با کیفیت عالی در مدل EPQ با سیاست تحویل چندگانه و دوباره‌کاری[۴۴]

اما یکی از جدیدترین پژوهش‌هایی که در این حوزه به انتشار رسیده است، پژوهش فلاحی و همکاران (2023) می‌باشد. تعمیر و نگهداری تجهیزات و فعالیت‌های مرتبط، سیاست‌های حمل‌ونقل و جنبه‌های کیفی از جمله چالش‌های محیط کسب‌وکار رقابتی

هستند. از سوی دیگر، منمودارات گرمایش زمین باعث می‌شود فشارهای متفاوتی از سوی دولت‌ها بر شرکت‌ها وارد شود تا این نوع نگرانی‌ها و دغدغه‌ها را در فعالیت خود در نظر بگیرند. فلاحی و همکاران دریافتند که هیچ‌کس یک مدل موجودی – تولید پایدار را به گونه‌ای مطالعه نمی‌کند که کیفیت ناقص اقلام، طرح PM[1] و خط‌مشی حمل‌ونقل چندگانه در نظر گرفته شود.از این رو آن‌ها یک مدل کمیت تولید اقتصادی پایدار با در نظر گرفتن سیاست های نگهداری پیشگیرانه و حمل‌ونقل چندگانه در جایی که بخشی از اقلام تولید شده معیوب است را فرموله کردند. همچنین دو مورد خاص مورد مطالعه قرار مگرفته است. در مورد اول، تقاضای دوره تولید توسط اقلام تولید شده در چرخه قبلی ارضا می‌شود. در مورد دوم، تولید و مصرف همزمان در طول دوره تولید در نظر گرفته شده و به‌صورت ریاضی فرموله شده است. همچنین یک روش تحلیلی برای حل مدل‌ها ارائه شده است و یک مثال عددی نیز برای هر دو مورد مطرح شده است. مقایسه دو مورد ثابت می‌کند که مورد دوم سودمندتر بوده و هزینه کلی سیستم موجودی را کاهش می‌دهد.

2-1-1-3) مدل‌های FPR با ارسال چندگانه

می‌توان گفت اولین تلاقی مدل FPR با سیاست ارسال چندگانه، پژوهش چیو و همکاران (2016) است. این مدل، با توجه به غیرقابل اجتناب بودن تولید اقلام معیوب، با در نظر گرفتن امحاء آن‌ها، علاوه بر خط مشی ارسال چندگانه، سیاست تضمین کیفیت را نیز در دستور کار خود قرار می‌دهد. در نمودار12 نمودار این مدل قابل مشاهده است:



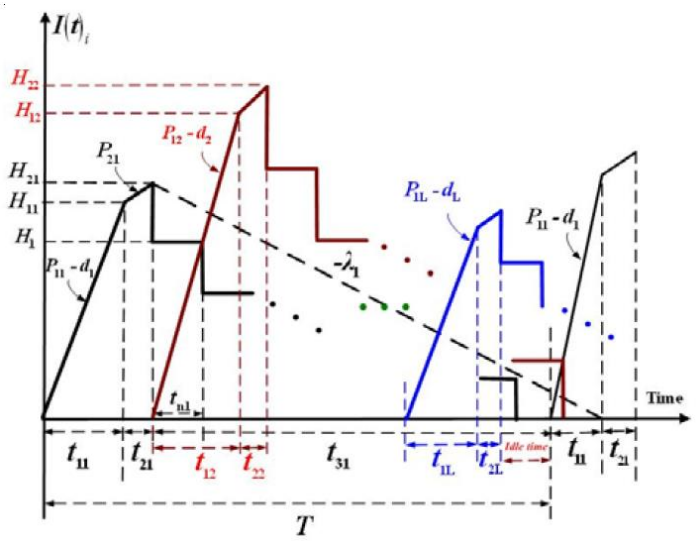
نمودار ۱۲. موجودی در دست اقلام با کیفیت عالی در مدل FPR با ضایعات و سیاست حمل‌ونقل چندگانه[۱۵]

پس از آن، در پژوهش دیگری از چیو و همکاران (2017) یک مدل نرخ تولید محدود (FPR) با ضایعات و محموله‌های متعدد ارائه شده که با استفاده از روش جبری حل می‌شود. در این تحقیق فرض بر این است که تمام اقلام معیوب، ضایعات هستند و اقلام تنها در صورتی می‌توانند به مشتریان تحویل داده شوند که در پایان دوره تولید، از کیفیت مطمئن برخوردار باشند. این مقاله نشان می‌دهد که اندازه بهینه انباشت و هزینه‌های کلی آن برای مدل FPR فوق الذکر می‌تواند بدون مشتقات استخراج شود و در نتیجه،

[1] Preventive maintenance

دانشجویان یا افرادی که دانش کمی از حساب دیفرانسیل و انتگرال دارند را قادر می‌سازد تا مدل FPR واقعی را درک کرده و به راحتی آن را مدیریت کنند.

در سال 2012 و در پژوهش دیگری از چیو و همکاران (2012) با هدف تعیین بهینه زمان چرخه تولید مشترک مقاله‌ای نگارش شده که در آن میانگین بلندمدت هزینه در واحد زمان را به حداقل می‌رساند و اثر دوباره‌کاری بر زمان چرخه مشترک بهینه برای چنین مدل FPR چند موردی خاص با سیاست دوباره‌کاری و حمل‌ونقل چندگانه بررسی می‌شود. (نمودار13)



نمودار ۱۳. موجودی در دست اقلام با کیفیت عالی برای محصول i در یک چرخه تولید مشترک[۲۸]

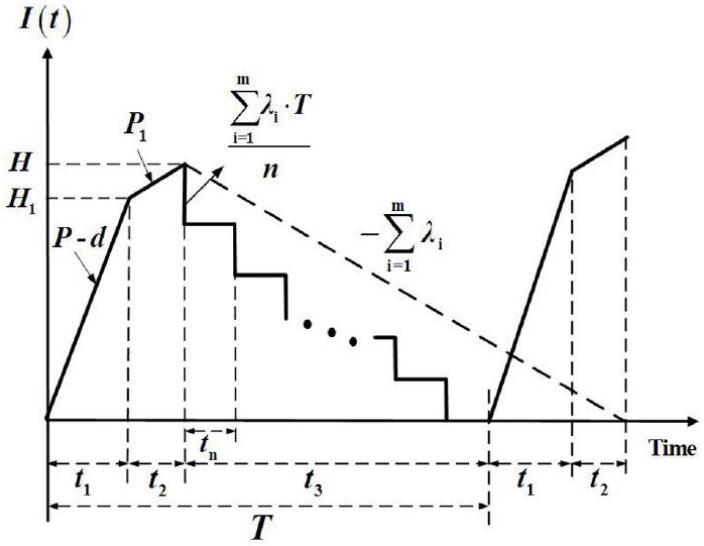
یک سال بعد در سال 2013، چیو و همکاران (2013) در مطالعه‌ای به بررسی اثر نرخ ضایعات تصادفی بر مدل نرخ تولید محدود چند آیتمی (FPR) با سیاست حمل‌ونقل چندگانه می‌پردازد. مدل کلاسیک FPR برنامه ریزی تولید را برای تک محصول، یک شرایط عالی در طول دوره تولید و یک سیاست ارسال موجودی مستمر در نظر می گیرد. با این حال، در محیط‌های واقعی تولید، به منظور به حداکثر رساندن استفاده از ماشین، فروشندگان اغلب برنامه‌ریزی می کنند تا به نوبه خود m محصول را روی یک ماشین واحد تولید کنند. همچنین در هر دوره تولیدی به دلیل عوامل مختلف، تولید اقلام غیر منطبق اجتناب ناپذیر است. در این مطالعه فرض بر این است که این اقلام معیوب قابل تعمیر نیستند، بنابراین باید با هزینه اضافی اسقاط شوند و تحویل محصولات نهایی تحت یک سیاست حمل و نقل چندگانه عملی است. هدف ما تعیین زمان چرخه تولید مشترک بهینه است که میانگین بلندمدت هزینه در واحد زمان را به حداقل می‌رساند و تأثیر نرخ ضایعات تصادفی بر زمان چرخه مشترک بهینه را بررسی می کند.

چیو و همکاران (2014) در مطالعه‌ای یک مدل نرخ تولید محدود تک‌ماشین تک‌محصولی (FPR) با تمایز تاخیری و یک سیاست تحویل چندگانه را بررسی می کنند. همچنین در ادامه همین مقاله، مطالعه دیگری انجام شده که در آن به یک مدل نرخ تولید محدود چند محصولی (FPR) تمایز تاخیری با خط‌مشی ضایعات و تحویل چندگانه با استفاده از یک طرح تولید دو دستگاهی پرداخته شده است.

در ادامه چیو و همکاران (2014) همین مدل را گسترش دادند. یک مدل نرخ تولید محدود چند موردی (FPR) با دوباره‌کاری و یک سیاست تحویل بهبود یافته در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. برخلاف مدل کلاسیک FPR که هدف آن بدست آوردن اقتصادی‌ترین اندازه برای یک سیستم تولید تک محصولی با کیفیت کامل و یک سیاست ارسال پیوسته است، این مقاله تولید چندین محصول بر روی یک ماشین واحد، بازسازی تمام اقلام غیرمتنمودار تولید شده، و یک سیاست کاهش هزینه، چند تحویل را در نظر می‌گیرد. این مطالعه، پژوهش چیو و همکاران (2015) را با گنجاندن یک سیاست حمل‌ونقل بهبودیافته n+1 در مدل آن‌ها گسترش داده است. براساس چنین سیاستی، یک تحویل اضافی از اقلام تمام شده در طول زمان تولید فروشنده انجام می‌شود تا تقاضای محصول در طول مدت زمان اضافه و زمان دوباره‌کاری فروشنده برآورده شود. زمانی که بقیه قطعات تولیدی از کیفیت لازم برخوردار باشند و کار بازسازی آن ها نیز به پایان رسیده باشد، تعدادی از قطعات نهایی به مشتریان تحویل داده می‌شود. اهداف تعیین یک زمان چرخه تولید بهینه و مشترک است که میانگین هزینه سیستم در واحد زمانی طولانی مدت را به حداقل می رساند، اثرات دوباره کاری و سیاست تحویل بهبودیافته بر تولید بهینه را مطالعه می کند.

اما همچنان توسعه بر کار چیو و همکاران (2015) ادامه دارد. چیو و همکاران (2016) در مقاله جدیدی یک روش حل جبری ساده شده به نسبت کار قبلی را برای بررسی مجدد یک مسئله FPR چند موردی با سیاست دوباره‌کاری و چند حمل‌ونقل پیشنهاد کردند. در نتیجه، این مطالعه نشان می‌دهد که زمان چرخه تولید مشترک بهینه را می‌توان بدون استفاده از حساب دیفرانسیل به دست آورد. چنین رویکرد ساده‌ای راه‌حل مفیدی برای مدیران مجرب در رابطه با حل مسئله FPR چند موردی دنیای واقعی است.

چیو و همکاران (2014) در پژوهشی که در سال 2014 به انتشار رسید، به مطالعه تصمیم پر کردن – حمل‌ونقل برای مدل نرخ تولید محدود چند مشتری (FPR) با تضمین کیفیت و تحویل ناپیوسته پرداختند. در این مطالعه در نظر گرفته شده که یک محصول توسط یک تولید کننده تولید می‌شود و همه اقلام برای هدف کنترل کیفیت غربال می‌شوند. اقلام غیرمنطبق برداشته شده و به عنوان اقلام ضایعاتی یا قابل تعمیر طبقه‌بندی می‌شوند. دوباره‌کاری بلافاصله پس از تولید منظم در هر چرخه پر کردن انجام می‌شود. پس از تضمین کیفیت کل مجموعه، چندین محموله به طور همزمان به چند مشتری در هر چرخه تحویل داده می‌شود. هر مشتری تقاضای سالانه محصول، هزینه نگهداری واحد سهام و همچنین هزینه‌های ثابت و متغیر تحویل محصول خود را دارد. برای حل مدل پیشنهادی از مدل‌سازی ریاضی به همراه معادلات ماتریس هسین استفاده شده است. یک سیاست بازپرداخت – حمل‌ونقل بهینه نمودار بسته برای چنین مدل FPR یکپارچه خاصی به دست آمده است. یک مثال عددی نیز برای نشان دادن کاربرد عملی نتایج به دست آمده ارائه شده است. در نمودار 14 نمودار این مدل نشان داده شده است:



نمودار ۱۴. موجودی در دسترس فروشنده از اقلام با کیفیت عالی[۴۱]

چیو و همکاران (2016) در سال 2016 و در دو پژوهش، یک مدل نرخ تولید محدود تک‌ماشین تک‌محصولی (FPR) با تمایز تاخیری و یک سیاست تحویل چندگانه را بررسی کرده، نیز به یک مدل نرخ تولید محدود چند محصولی (FPR) تمایز تاخیری با خط‌مشی ضایعات و تحویل چندگانه با استفاده از یک طرح تولید دو دستگاهی می‌پردازند.

2-1-2) دسته‌بندی براساس جزئیات ارسال چندگانه

عمده مقالاتی که آمیخته با مفهوم ارسال چندگانه است، آن را صرفاً به عنوان یک سیاست تحویل در نظر گرفته و به‌صورت دقیق به جزئیات آن نمی‌پردازد. جزئیاتی که می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- در نظر گرفتن فرکانس حمل و نقل
- بهینه کردن مشترک اندازه انباشته و تعداد محموله‌ها
- در نظر گرفتن هزینه راه‌اندازی برای تعیین سیاست حمل‌ونقل
- تعیین همزمان تصمیمات تولید و حمل‌ونقل
- در نظر گرفتن ظرفیت وسیله حمل‌ونقل
- در نظر گرفتن مسافت و مدت زمان حمل تا نقطه تقاضا

از این رو، در این دسته‌بندی قصد داریم مقالاتی که به‌صورت جزئی‌تر به این مفهوم پرداخته‌اند را مورد بررسی قرار دهیم.

2-1-2-1) در نظر گرفتن هزینه راه‌اندازی برای تعیین سیاست حمل‌ونقل

کیم و همکاران (2008)، در پژوهشی به بررسی مزایای مشارکت خریدار - تامین‌کننده بر روی سیستم‌های تحویل چندگانه (SSSD)[1] می‌پردازد و دو خط مشی را پیشنهاد می‌کند که تامین‌کننده می‌تواند به منظور برآورده کردن نیازهای مشتریان دنبال کند:

1) تحویل چندگانه راه‌اندازی منفرد (SSMD)[2]
2) راه اندازی چندگانه تحویل چندگانه (MSMD)[3]

اگر هزینه راه‌اندازی ثابت آن نسبتاً بالا باشد، تامین‌کننده ترجیح می‌دهد SSMD را پیاده‌سازی کند و یک سفارش کامل را با یک راه‌اندازی تولید کند. با این حال، اگر تامین‌کننده بتواند هزینه راه‌اندازی را کاهش دهد و ظرفیت تامین‌کننده بیشتر از سطح آستانه (P=2D) باشد، پیاده‌سازی سیاست راه‌اندازی چندگانه و تحویل چندگانه (MSMD) برای تامین‌کننده سودمندتر است، حتی اگر او هزینه‌های راه‌اندازی مکرر و بیشتری پرداخت کند؛ زیرا صرفه‌جویی در هزینه‌های نگهداری موجودی، بیشتر از افزایش هزینه‌های راه‌اندازی صرف می‌کند. در این مقاله، پژوهشگران برای انتخاب خط مشی بهینه، تعاملات بین متغیرها مانند ظرفیت تولید، نرخ یادگیری و هزینه‌های نگهداری برای هر دو طرف را بررسی می‌کنند.

2-1-2-2) بهینه کردن مشترک اندازه انباشته و تعداد محموله‌ها

در پژوهشی که در سال 2011 به انتشار رسید، چیو و همکاران (2011)، به تعیین مشترک اندازه تولید بهینه و تعداد بهینه محموله برای یک مدل EPQ با دوباره‌کاری اقلام معیوب تصادفی تولید شده پرداختند. در این مطالعه، تمام اقلام غیرمنطبق تولید شده قابل تعمیر در نظر گرفته شده و در هر چرخه پس از پایان یک دوره تولید، مجدداً کار می‌شوند. اقساط چندگانه با مقدار ثابت از دسته تمام‌شده تنها در صورتی می‌تواند به مشتریان تحویل داده شود که در پایان دوباره‌کاری از کیفیت کامل اطمینان حاصل شود.

در سال 2012 کاردنس-بارون و همکاران (2012) به طور مشترک هم اندازه بهینه انباشت تکمیلی و هم تعداد بهینه محموله‌ها را برای مدل‌های موجودی پیشنهاد شده توسط چیو و همکاران (2012) و چیو و همکاران (2013)، استخراج می‌کنند. در این مقاله، برای مدل‌های ذکر شده، دو راه حل برای دو مورد زیر توسعه داده شده است:

اندازه انباشت تکمیلی (Q) پیوسته و تعداد محموله‌ها (n) گسسته

اندازه انباشت تکمیلی (Q) گسسته و تعداد محموله‌ها (n) گسسته

با روش‌های پیشنهادی، راه‌حل بهتری در مقایسه با راه‌حل گزارش‌شده توسط مدل‌های ذکر شده به دست می‌آید. در نهایت، رویکرد روش ارائه شده را می‌توان به راحتی برای این مدل‌ها اعمال کرد و در نتیجه می‌توان به راه‌حل بهتری برای مسائل موجودی آنها دست یافت.

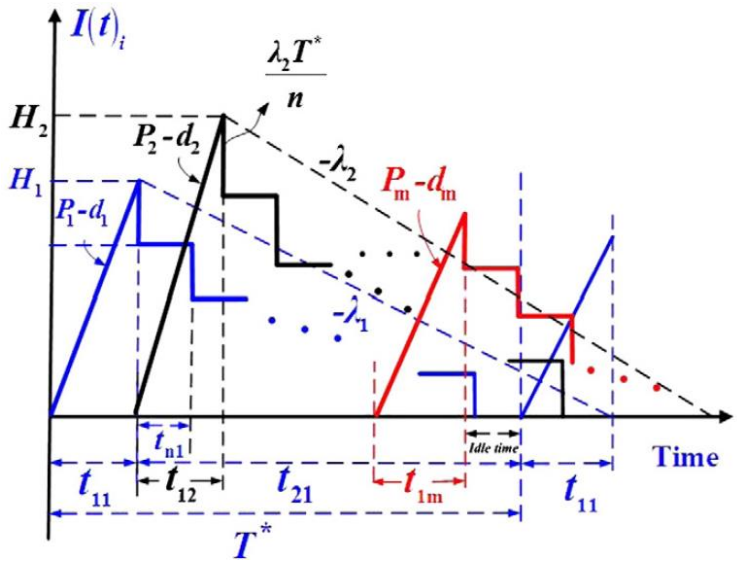
در سال 2013 کاردنس-بارون و همکاران (2013) در پژوهشی، دو مقاله چیو و همکاران (2011-2012)، را توسعه دادند.

[1] Single setup single delivery
[2] Single setup multiple delivery
[3] Multiple setup multiple delivery

در آن مقالات یک روش بهینه‌سازی جایگزین برای بدست آوردن اندازه بهینه انباشت تکمیلی برای یک مدل کمیت تولید اقتصادی (EMQ) با دوباره‌کاری و ارسال‌های متعدد ارائه شده است، اما هر دو مقاله تعیین تعداد محموله‌ها را در نظر نمی‌گیرند. این مقاله هم اندازه بهینه انباشت تکمیلی و هم تعداد بهینه محموله‌ها را به طور مشترک تعیین می‌کند. راه حل این مقاله بهتر از راه حل های چیو و همکاران (2011-2012) است.

در ادامه، مجدداً کاردنس-بارون و همکاران (2013) در مطالعه‌ای دو مقاله چیو و همکاران (2010) و چیو و همکاران (2011)، را گسترش دادند.این مقاله دو الگوریتم را توسعه می‌دهد تا به طور مشترک اندازه بهینه انباشت تکمیلی و تعداد بهینه محموله‌ها را برای مدل موجودی پیشنهاد شده توسط چیو و همکاران (2011) و چیو و همکاران (2012)، تعیین کند. کاربرد و پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی آسان است. ذکر این نکته مهم است که مدل‌های قبلی برخی شرایط را پوشش نمی‌دادند. همچنین زمانی که هر دو متغیر (اندازه بهینه انباشت تکمیلی و تعداد بهینه محموله‌ها) به عنوان متغیرهای گسسته در نظر گرفته شوند، مسئله موجودی را حل نمی‌کنند. این‌ها ویژگی های مهمی هستند که در مقاله جدید به آن‌ها پرداخته شده است. نیز این مقاله کارهای تحقیقاتی چن و همکاران (2012) و چیو و همکاران (2013) را ساده، بهبود و تکمیل می‌کند.

در سال 2013، چیو و همکاران (2013)، در پژوهشی به تعیین مشترک زمان چرخه چرخش و تعداد محموله‌ها برای مدل کمیت تولید اقتصادی چند موردی (EPQ) با نرخ نقص تصادفی پرداختند. این مطالعه به عوامل عملی مانند تولید اقلام معیوب، به حداکثر رساندن استفاده از ماشین و سیاست تحویل چندگانه پرداخته و یک مدل EPQ چند موردی با نرخ ضایعات تصادفی و سیاست تحویل چندگانه را بررسی می‌کند. استراتژی زمان چرخه تولید مشترک در این مطالعه برای مقابله با تضادهای احتمالی زمان‌بندی تولید چندین محصول استفاده می‌شود. یک خط مشی عملیاتی بهینه نمودار بسته (از نظر زمان چرخه مشترک و تعداد تحویل) که میانگین بلندمدت هزینه در واحد زمان را به حداقل می‌رساند. اثرات نرخ ضایعات تصادفی مختلف و سیاست‌های عملیاتی مختلف بر تابع هزینه مورد انتظار و اجزای آن نیز بررسی شده است. نتیجه این پژوهش مدیریت را قادر می‌سازد تا چنین سیستم حمل‌ونقل چند موردی واقعی را درک، برنامه‌ریزی و کنترل کند. در نمودار15 نمودار موجودی آن را مشاهده می‌کنید:



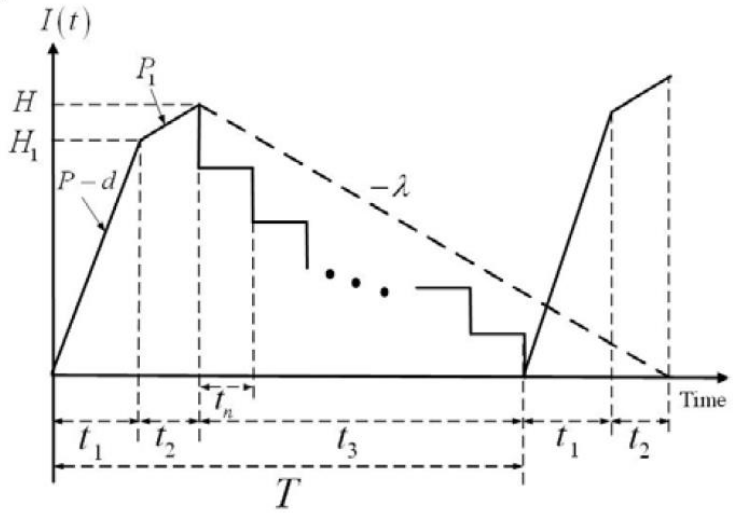
نمودار ۱۵. موجودی دردست اقلام با کیفیت عالی برای محصول i در یک چرخه تولید مشترک[۳۷]

در ادامه، طالعی‌زاده و همکاران (2015) در یک کار تحقیقاتی مسئله تعیین مشترک قیمت فروش، اندازه انباشته تکمیل و تعداد محموله‌ها برای یک مدل کمیت تولید اقتصادی (EPQ) با دوباره‌کاری اقلام معیوب و سیاست حمل‌ونقل چندگانه را مورد بررسی قرار می‌دهند. این مقاله، مطالعه چیو و همکاران (2015) را با گنجاندن قیمت به عنوان متغیر تصمیم علاوه بر اندازه انباشته و متغیرهای تصمیم‌گیری حمل‌ونقل چندگانه بازبینی و گسترش می‌دهد.

ترووینو-گارزا و همکاران (2015)، در مطالعه‌ای دو روش برای به دست آوردن راه‌حل برای یک خانواده از مدل‌های موجودی کمی تولید اقتصادی برای یک سیستم یکپارچه فروشنده - خریدار با توجه به اینکه سیستم تولید محصولات معیوب تولید می‌کند، که در آن تعداد محموله‌ها باید یک مقدار گسسته باشد و اندازه محموله می‌تواند مقادیر پیوسته یا عدد صحیح را بگیرد، ارایه می‌دهند. این مقاله مدل‌های موجودی قبلی را با در نظر گرفتن متغیرها (اندازه انباشته و تعداد محموله‌ها) با توجه به ماهیت واقعی آنها بازبینی و حل می‌کند.

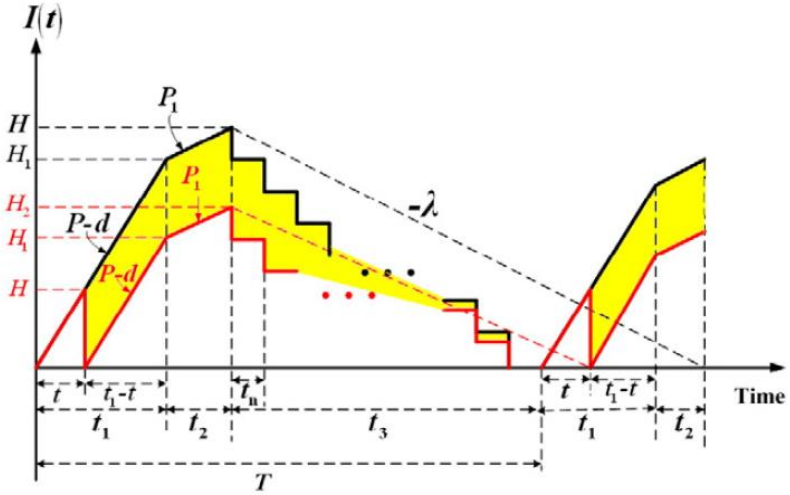
2-1-2-3) در نظر گرفتن فرکانس حمل‌ونقل

در مقاله‌ای از چیو و همکاران (2012)، در توسعه یکی از مقالات گذشته، تاثیر فرکانس حمل‌ونقل متغیر بر سیاست تولید-توزیع در یک سیستم یکپارچه خریدار بررسی می‌شود. در مقاله‌ی اخیر، چیو و همکاران(2015)، اندازه بهینه انباشت برای یک مسئله کمیت تولید اقتصادی را با چند تحویل و تضمین کیفیت، براساس این فرض که تعداد محموله یک ثابت معین است، استخراج کردند. با این حال، در یک سیستم یکپارچه فروشنده - خریدار در محیط زنجیره تامین، تعیین مشترک اندازه انباشت و تعداد محموله‌های تامین مجدد ممکن است به چنین سیستمی کمک کند تا مزیت رقابتی قابل توجهی از نظر تبدیل شدن به یک تولیدکننده کم هزینه و همچنین داشتن ارتباط محکم با مشتری به دست آورد. به همین دلیل، مطالعه حاضر کار چیو و همکاران (2013) را با در نظر گرفتن فرکانس حمل و نقل به عنوان یکی از متغیرهای تصمیم‌گیری و گنجاندن هزینه نگهداری سهام مشتری در تجزیه و تحلیل هزینه سیستم، گسترش می‌دهد. نیز یک مثال عددی برای نشان دادن استفاده عملی از نتیجه تحقیق ارائه شده است. نمودار موجودی در دست این مدل بر حسب زمان، در نمودار16 قابل مشاهده است:



نمودار ۱۶. موجودی در دسترس از اقلام با کیفیت عالی در یک مدل نرخ تولید محدود یکپارچه با سیاست حمل و نقل چندگانه، ضایعات و دوباره‌کاری[۲۱]

چیو و همکاران (2014)، یک سیستم یکپارچه فروشنده – خریدار را در نظر می‌گیرند که شامل دوباره‌کاری و سیاست تحویل محصول پیشرفته است که هدف آن کاهش هزینه‌های نگهداری سهام برای فروشنده و خریدار است. ایشان کار چیو و همکاران (2015)، را با ترکیب یک اصلاحیه خط مشی حمل‌ونقل n + 1 تایی به جای سیاست حمل‌ونقل n تایی گسترش می‌دهند. هدف این است که هم اندازه بهینه انباشت تکمیلی و هم تعداد بهینه محموله‌ها را بدست آوریم که میانگین هزینه بلندمدت را برای این سیستم یکپارچه فروشنده – خریدار به حداقل برساند. (نمودار17)

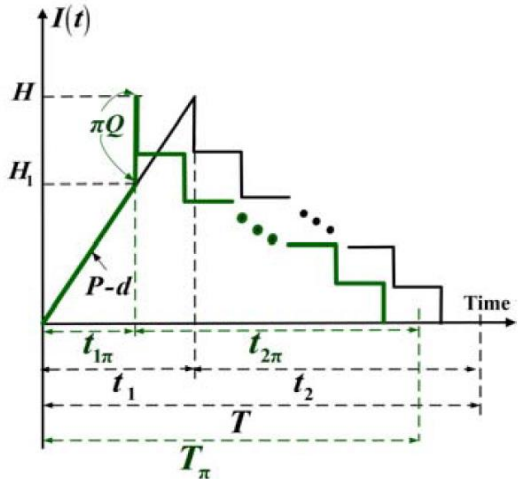


نمودار ۱۷. سطح موجودی اقلام با کیفیت عالی فروشنده در مدل پیشنهادی (به رنگ قرمز) و کاهش مورد انتظار در هزینه های نگهداری (در سایه زرد رنگ) [۳۲] در مقایسه با مدل Chiu و همکاران[۲۱] (رنگ مشکی)

چیو و همکاران (2015)، در مطالعه‌ای به بررسی اندازه انباشت بهینه و مسئله فرکانس حمل‌ونقل برای یک سیستم زنجیره تامین با یک سیاست برون‌سپاری جزئی و ضایعات تصادفی می‌پردازند. در این مطالعه، تقاضای یک محصول تا حدی برون‌سپاری و بخشی توسط واحدهای تولیدی ساخته می‌شود تا حجم کار ماشینی و زمان‌بندی تولید صاف را کم‌تر کند. در طی فرآیند ساخت، بخشی

از اقلام قراضه تصادفی تولید می‌شود و محصولات نهایی با استفاده از سیاست حمل‌ونقل چندگانه به مکان‌های فروش توزیع می‌شوند. هدف این است که به طور همزمان تصمیمات بهینه تولید در اندازه انباشته و فرکانس حمل‌ونقل تعیین شود تا هزینه‌های کلی مورد انتظار برای چنین سیستم زنجیره تامین را به حداقل برساند.

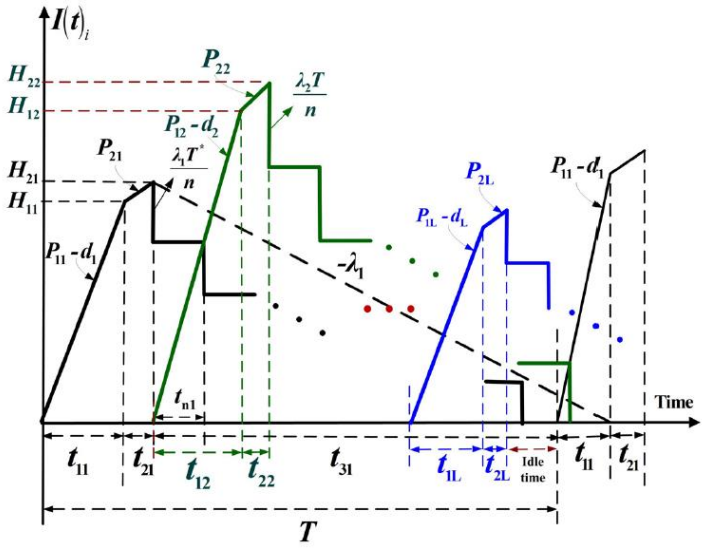
این مطالعه با هدف ارائه اطلاعات بینشی به مدیران سیستم‌های زنجیره تامین برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری آن‌ها، یک گزینه برون‌سپاری سودمند را در کار قبلی گنجاند و مساله بهینه تامین مجدد اندازه انباشته و فرکانس حمل‌ونقل را با یک سیاست برون‌سپاری جزئی و اقلام قراضه تصادفی بررسی کرد. در نمودار18 نمودار این مدل را مشاهده می‌کنید:



نمودار ۱۸. سطح موجودی دردست اقلام با کیفیت عالی در مدل پیشنهادی (به رنگ سبز) [۴۹] در مقایسه با موجودی در همان مدل بدون برون‌سپاری (در رنگ مشکی) [۱۵]

2–1–2–4) تعیین همزمان تصمیمات تولید و حمل‌ونقل

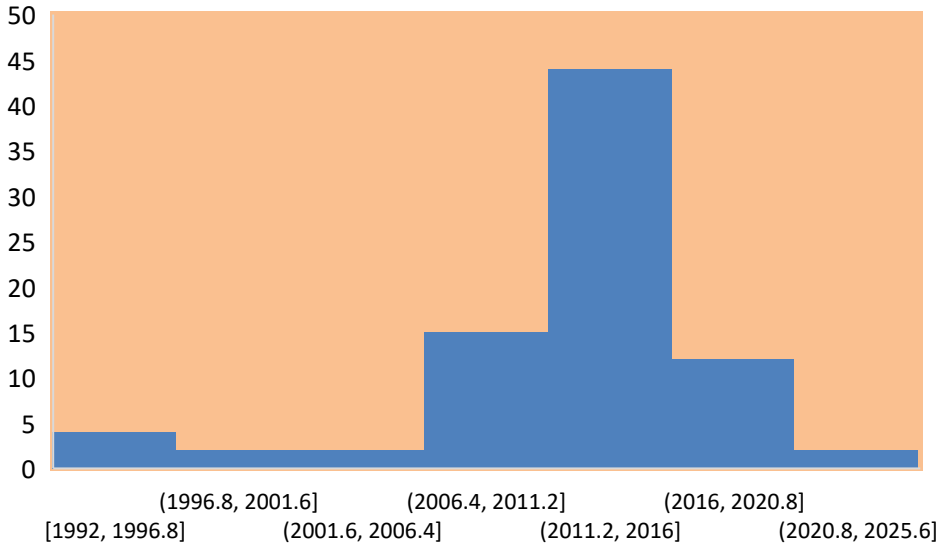
اخیراً سیستم یکپارچه فروشنده – خریدار توجه بسیاری از مدیران را به خود جلب کرده است، زیرا می‌تواند به نفع هر دو طرف زنجیره تأمین باشد و برای به کارگیری سیستم به اصطلاح زنجیره تأمین درون سازمانی جهانی شده امروزی مناسب است. بهینه‌سازی چنین سیستم زنجیره تامین، به مدیران در دستیابی به هدف کاهش هزینه‌های عملیاتی کلی کمک می‌کند. انگیزه این مفهوم، منجر به پژوهش چیو و همکاران (2016) شد. آن‌ها در این مطالعه سعی داشته‌اند به طور همزمان تصمیمات تولید و حمل‌ونقل را برای یک سیستم موجودی یکپارچه فروشنده – خریدار چندمحصولی با یک فرآیند دوباره‌کاری تعیین کنند، که در آن چندین محصول به ترتیب توسط یک ماشین واحد تحت یک سیاست زمانی چرخه چرخش ساخته می‌شوند. تمام اقلام معیوب تولید شده در تولید معمولی قابل تعمیر فرض شده و بلافاصله پس از پایان تولید معمولی دوباره‌کاری می‌شوند. کالاهای تمام شده هر محصول پس از دوباره‌کاری به دفاتر فروش/مشتریان حمل می‌شود. نیز در این مطالعه یک خط مشی تحویل چندگانه اعمال می‌شود که در آن مقدار ثابتی از n قسط از دسته تمام شده در بازه‌های زمانی ثابت در طول بازه زمانی ارسال، تحویل می‌شوند. همچنین تکنیک‌های مدل‌سازی و بهینه‌سازی ریاضی برای کمک به تعیین همزمان تصمیم‌های تولید و حمل‌ونقل بهینه که هزینه‌های کلی سیستم مورد انتظار را به حداقل می‌رساند، استفاده شده است. در نمودار19 نمودار این مدل قابل مشاهده خواهد بود:



نمودار ۱۹. سطح موجودی دردست محصول با کیفیت کامل i در زمان t [۵۰] در مقایسه با سیستم پیشنهادی[۲۸]

3) بحث و نتیجه‌گیری

در جدول 1، اکثر قریب به اتفاق مقالاتی که مفهوم ارسال ناپیوسته، ارسال چندگانه، تحویل دوره‌ای و برنامه تحویل متعدد را چه در عنوان، چه در متن و چه در نمودارهای کنترل موجودی خود جای داده‌اند آورده شده است. تاریخ انتشار این مقالات از سال 1992 تا سال 2023 را شامل می‌شود. همچنین نمودار 20 فراوانی مقالات را در سالهای مختلف نمایش می‌دهد.



نمودار 20. نمودار هیستوگرام مقاله‌های منتشر شده

جدول 1. مقالات اصلی با موضوع ارسال ناپیوسته محصولات، ارسال چندگانه و تحویل متعدد

پژوهشگران	نوع مدل			جزئیات ارسال					عدم قطعیت
	EOQ	EPQ EMQ	FPR	تعیین همزمان مقدار سفارش و تعداد محموله	هزینه راه‌اندازی	تصمیمات همزمان تولید و حمل‌ونقل	فرکانس حمل‌ونقل		
سرکار و گلهر (1992)		❋							
سرکار و پریجا (1994)		❋							
گویال و نبب (2000)		❋							
سرکار و خان (2002)		❋							
سجادی و همکاران (2006)	❋								
کیم و همکاران (2008)		❋			❋				
چیو و همکاران (2010)		❋							
چیو و همکاران (2011)			❋						
ویدیادنا و وی (2009)		❋							
چیو و همکاران (2011)		❋							
چیو و همکاران (2012)			❋						
چیو و همکاران (2012)		❋							
چیو و همکاران (2013)		❋					❋		
چیو و همکاران (2013)		❋		❋					
لی و همکاران (2011)		❋							
کاردنس-بارون و همکاران (2012)		❋		❋					
چیو و همکاران (2014)			❋						
چیو و همکاران (2014)		❋							
ریتا و مارتین (2013)		❋							
چیو و همکاران (2015)		❋					❋		
کاردنس-بارون و همکاران (2013)		❋		❋					
کاردنس-بارون و همکاران (2013)		❋		❋					
چیو و همکاران (2015)		❋							
چیو و همکاران (2016)		❋		❋					
کاردنس-بارون و همکاران (2014)		❋							
چیو و همکاران (2016)		❋							

پژوهشگران	نوع مدل			جزئیات ارسال				عدم قطعیت
	EOQ	EPQ EMQ	FPR	تعیین همزمان مقدار سفارش و تعداد محموله	هزینه راه‌اندازی	تصمیمات همزمان تولید و حمل‌ونقل	فرکانس حمل‌ونقل	
چیو و همکاران (2016)			*					
کاردنس-بارون و همکاران (2015)		*						
طالعی‌زاده و همکاران (2015)		*						
چیو و همکاران (2016)		*				*		
پریان و اوتایاکومار (2017)		*						
چیو و همکاران (2017)			*					
جونرینالدی و همکاران (2018)	*	*						
فلاحی و همکاران ()		*						
تروینو-گارزا و همکاران (2015)		*		*				

همانطور که در جدول فوق نیز قابل ملاحظه است، ویژگیهای مقالات اصلی از پژوهشگران مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و براساس نوع مدل و جزئیات ارسال، دسته‌بندی شدند. دسته‌بندی اول شامل مدل‌های FPR, EPQ, EOQ و دسته‌بندی دوم جزئیاتی از قبیل تعیین یا عدم تعیین همزمان مقدار سفارش و تعداد محموله، در نظر گرفتن یا نگرفتن هزینه راه‌اندازی، تعیین یا عدم تعیین همزمان تصمیمات تولید و حمل‌ونقل، در نظر گرفتن یا نگرفتن فرکانس حمل‌ونقل را شامل می‌شوند.

اگرچه که در این زمینه خاص از کنترل موجودی، تحقیقات خوبی صورت گرفته اما با نگاهی گذرا به جدول 1 می‌توان دریافت که کمتر پژوهشی به دخیل کردن جزئیات ارسال و متغیرهای آن می‌پردازد. از این رو برای پژوهش‌های آتی پیشنهادهایی ذیل دو عنوان توسط نویسنده ارائه می‌گردد.

- تعیین همزمان اندازه انباشت اقتصادی در مدل‌های ارسال چندگانه و یک متغیر موثر دیگر:

✓ تعداد بهینه محموله‌های ارسالی: تعیین همزمان اندازه انباشت اقتصادی محصول و تعداد بهینه محموله‌هایی که برای از انبار به سوی مشتریان ارسال می‌شود.

✓ مقدار بهینه‌ی انباشت محصولات قراضه‌ی بیرون آمده از عملیات دوباره‌کاری: در عمده مقالاتی که عملیات دوباره‌کاری در آن وجود دارد، فرض اصلی این است که امحاء محصولاتِ معیوبی که از عملیات دوباره‌کاری، سالم خارج نمی‌شوند(قراضه)، به صورت لحظه‌ای انجام می‌شود، حال آنکه در شرایط واقعی، این امر، موجب ایجاد هزینه زیاد برای معدوم کردن هر واحد محصول قراضه می‌شود. از طرفی انباشت کل محصولات قراضه و سپس معدوم کردن آنها نیز، باعث ایجاد هزینه نگهداری زیادی می‌شود. برای پژوهش‌های آینده، می‌توان با پیدا کردن مقدار بهینه‌ی انباشت محصولات قراضه‌ی بیرون آمده از عملیات دوباره‌کاری، به کاهش هزینه‌های سیستم کمک کرد.

- ✓ و هر متغیر دیگری که شرایط مدل را به واقعیت نزدیکتر کرده و باعث کاهش هزینه‌های سیستم می گردد.

- اضافه شدن پارامترهای موثر دیگر بر اندازه انباشته اقتصادی:
  - ✓ ظرفیت وسیله نقلیه
  - ✓ مسافت نقطه تقاضا
  - ✓ سرعت وسیله نقلیه
  - ✓ مصرف سوخت و انرژی وسیله نقلیه

همچنین اغلب مدل‌های ارائه شده، فرض را بر ثابت بودن تقاضا می‌گذارند حال آنکه با توسعه این مقالات و تصادفی در نظر گرفتن سفارشات، می‌توان مدل را به شرایط واقعی نزدیک‌تر کرد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، مطالعات و پژوهش‌های مختلف در زمینه ارسال چندگانه در سیستم‌های موجودی، همچنان ادامه داشته و برای رسیدن به بهره‌وری بالاتر کارخانجات صنعتی و شرکت‌های تولیدی و در نهایت رضایت بیشتر مشتریان، راهگشا خواهند بود.

منابع و مراجع

Cárdenas-Barrón, L.E., Taleizadeh, A.A., Treviño-Garza, G. (2012). An improved solution to replenishment lot size problem with discontinuous issuing policy and rework, and the multi-delivery policy into economic production lot size problem with partial rework, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Issue 18, Pages 13540-13546. 10.1016/j.eswa.2012.07.012

Cárdenas-Barrón, L.E., Sarkar, B., Treviño-Garza, G. (2013). An improved solution to the replenishment policy for the EMQ model with rework and multiple shipments, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 37, Issue 7, Pages 5549-5554. 10.1016/j.apm.2012.10.017

Cárdenas-Barrón, L.E., Sarkar, B., Treviño-Garza, G. (2013). Easy and Improved Algorithms to Joint Determination of the Replenishment Lot Size and Number of Shipments for an EPQ Model with Rework, *Mathematical and Computational Applications*, 18, No. 2: 132-138. 10.3390/mca18020132

Cárdenas-Barrón, L.E., Treviño-Garza, G., Widyadana, G.A., Wee, H.M. (2014). A constrained multi-products EPQ inventory model with discrete delivery order and lot size, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 230, Pages 359-370. 10.1016/j.amc.2013.12.077

Cárdenas-Barrón, L.E., Treviño-Garza, G., Taleizadeh, A.A., Vasant, P. (2015). Determining Replenishment Lot Size and Shipment Policy for an EPQ Inventory Model with Delivery and Rework, *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2015: 595498. 10.1155/2015/595498

Chen, K.K., Chiu, S.W. (2011). Replenishment Lot Size and Number of Shipments for EPQ Model Derived Without Derivatives, *Mathematical and Computational Applications*, 16, No. 3: 753-760. 10.3390/mca16030753

Chen, K.K., Wu, M.F., Chiu, S.W., Lee, C.H. (2012). Alternative approach for solving replenishment lot size problem with discontinuous issuing policy and rework, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Issue 2, Pages 2232-2235. 10.1016/j.eswa.2011.08.030

Chiu, S.W., Lin, L.W., Chen, K.K., Chou, C.L. (2013). Determining production–shipment policy for a vendor–buyer integrated system with rework and an amending multi-delivery schedule, *Economic Modelling*, Volume 33, Pages 668-675. 10.1016/j.econmod.2013.05.020

Chiu, Y.S.P., Chiu, S.W., Li, C.Y., Ting, C.K. (2009). Incorporating multi- delivery policy and quality assurance into economic production lot size problem, *J Sci Ind Res*, 68, 505-512.

Chiu, S.W., Lin, H., Cheng, C., Chung, C. (2009). Optimal production-shipment decisions for the finite production rate model with scrap, *International Journal for Engineering Modelling*, 22 (1-4), 25-34.

Chiu, Y.S.P., Chen, K.K., Chang, H.H. (2010). Solving an Economic Production Lot Size Problem with Multi- Delivery Policy and Quality Assurance Using an Algebraic Approach, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 69, No. 12, pp. 926-929.

Chiu, S.W., Chiu, Y.P., Lin, C.K., Chang, C. (2010). Solving finite production rate model with scrap and multiple shipments using algebraic approach, *International Journal for Engineering Modelling*, 23 (1-4), 43-47.

Chiu, Y.S.P., Liu, S.C., Chiu, C.L., Chang, H.H. (2011). Mathematical modeling for determining the replenishment policy for EMQ model with rework and multiple shipments, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 54, Issues 9–10, Pages 2165-2174. 10.1016/j.mcm.2011.05.025

Chiu, S.W., Chen, K.K., Lin, H.D. (2011). Numerical method for determination of the optimal lot size for a manufacturing system with discontinuous issuing policy and rework, *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 27, 1545–1557. 10.1002/cnm.1369

Chiu, S.W., Lin, H.D., Wu, M.F., Yang, J.C. (2011). Determining replenishment lot size and shipment policy for an extended EPQ model with delivery and quality assurance issues, *Scientia Iranica*, Volume 18, Issue 6, Pages 1537-1544. 10.1016/j.scient.2011.09.008

Chiu, Y.S.P., Chang, C.Y., Ting, C.K., Chiu, S.W. (2011). Effect of variable shipping frequency on production-distribution policy in a vendor-buyer integrated system, *International Journal for Engineering Modelling*, vol.24, no. 1-4, pp. 11-20.

Chiu, S.W., Gong, D.C., Chiu, C.L., Chung, C.L. (2011). Joint Determination of the Production Lot Size and Number of Shipments for EPQ Model with Rework, *Mathematical and Computational Applications*, Vol 16, No. 2, pp 317-328. 10.3390/mca16020317

Chiu, Y.S.P., Lin, H., Hwang, M., Pan, N. (2011). Computational Optimization of Manufacturing Batch Size and Shipment for an Integrated EPQ Model with Scrap, American Journal of Computational Mathematics, Vol. 1 No. 3, pp. 202-207. 10.4236/ajcm.2011.13023

Chiu, S.W., Chiu, Y.S.P., Yang, J.C. (2012). Combining an alternative multi-delivery policy into economic production lot size problem with partial rework, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Issue 3, Pages 2578-2583. 10.1016/j.eswa.2011.08.112

Chiu, S.W., Chen, K.K., Chiu, Y.S.P., Ting, C.K. (2012). Notes on the mathematical modeling approach used to determine the replenishment policy for the EMQ model with rework and multiple shipments, *Applied Mathematics Letters*, Volume 25, Issue 11, Pages 1964-1968. /10.1016/j.aml.2012.03.010

Chiu, Y.P., Pan, N., Chiu, S.W., Chiang, K. (2012). Optimal production cycle time for multi-item FPR model with rework and multi-shipment policy, *International Journal for Engineering Modelling*, 25 (1-4), 51-57.

Chiu, Y.S.P., Cheng, F.T., Chen, K.K., Chang, H.H. (2012). Reexamining a Specific Vendor-buyer System with Rework and an Improving Delivery Plan Using an Alternative Approach, *Wseas Transaction on Systems*, Issue 5, Volume 11, pages 153-162.

Chiu, Y.S.P., Lin, Y.C., Chiu, S.W., Ting, C.K. (2012). Joint determination of lot-size and shipment policy for a vendor-buyer system with rework and an improving delivery plan, *African Journal of Business Management*, 6, 333-340. 10.5897/AJBM11.2366

Chiu, S.W., Lee, C.H., Cheng, F.T., Ting, C.K. (2013). Production–shipment policy for EPQ model with quality assurance and an improved delivery schedule, *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 19:4, 344-352. 10.1080/13873954.2013.763282

Chiu, Y.S.P., Lin, H.D., Cheng, F.T., Hwang, M.H. (2013). Optimal common cycle time for a multi-item production system with discontinuous delivery policy and failure in rework, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 72, No. 7, pp. 435-440.

Chiu, Y.S.P., Huang, C.C., Wu, M.F., Chang, H.H. (2013). Joint determination of rotation cycle time and number of shipments for a multi-item EPQ model with random defective rate, *Economic Modelling*, Volume 35, Pages 112-117. 10.1016/j.econmod.2013.06.024

Chiu, Y.S.P., Chen, K.K., Cheng, F.T., Ting, C.K. (2013). Reexamination of "Combining an alternative multi-delivery policy into economic production lot size problem with partial rework" Using an Alternative Approach, *Journal of Applied Research and Technology*, Volume 11, Issue 3, Pages 317-323. 10.1016/S1665-6423(13)71541-4

Chiu, S.W., Kuo, Y.Y., Huang, C.C., Chiu, Y.S.P. (2013). Random scrap rate effect on multi-item finite production rate model with multi-shipment policy, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(22): 5164-5169. 10.19026/rjaset.5.4260

Chiu, S.W., Pai, F.Y., Wu, W.K. (2013). Alternative approach to determine the common cycle time for a multi-item production system with discontinuous deliveries and failure in rework, *Economic Modelling*, Volume 35, Pages 593-596. 10.1016/j.econmod.2013.08.017

Chiu, Y.S.P., Chen, Y.C., Lin, H.D., Chang, H.H. (2014). Combining an improved multi-delivery policy into a single-producer multi-retailer integrated inventory system with scrap in production, Economic Modelling, Volume 39, Pages 163-167. 10.1016/j.econmod.2014.02.031

Chiu, Y.S.P., Lin, L.W., Pai, F.Y., Chiu, S.W. (2014). Finite Production Rate Model With Quality Assurance, Multi-customer and Discontinuous Deliveries, *Journal of Applied Research and Technology*, Volume 12, Issue 1, Pages 5-13. 10.1016/S1665-6423(14)71601-3

Chiu, S.W., Chiu, Y.S.P., Li, T.W., Chen, H.M. (2014). A multi-product FPR model with rework and an improved delivery policy, *International Journal for Engineering Modelling* ,27, No. 3-4, 111-118.

Chiu, S.W., Sung, P.C., Tseng, C.T., Chiu, Y.S.P. (2015). Multi-product FPR model with rework and multi-shipment policy resolved by algebraic approach, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 74, 555–559.

Chiu, S.W., Lin, H.D., Song, M.S., Chen, H.M., Chiu, Y.S.P. (2015). An extended EPQ-based problem with a discontinuous delivery policy, scrap rate, and random breakdown, The Scientific World Journal, 2015:621978. 10.1155/2015/621978

Chiu, S.W., Sung, P.C., Chang, H.H. (2015). A note on joint determination of the rotation cycle time and number of shipments for a multiitem EPQ model with a random defective rate. International Journal for Engineering Modelling, 28: 17-27.

Chiu, Y.S.P., Hsieh, Y.T., Kuo, J.S., Chiu, S.W. (2016). A delayed differentiation multi-product FPR model with scrap and a multi-delivery policy – I: Using single-machine production scheme, *International Journal for Engineering Modelling*, 29, No. 1-4: 37-52.

Chiu, S.W., Hsieh, Y.T., Chiu, Y.S.P., Hwang, M.H. (2016). A delayed differentiation multi-product FPR model with scrap and a multi-delivery policy – II: Using two-machine production scheme, *International Journal for Engineering Modelling*, 29, No. 1-4: 53-68.

Ritha, W., Martin, N. (2013). Replenishment Policy for EMQ Model with Rework, Multiple Shipments, Switching and Packaging, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Volume 02, Issue 01. 10.17577/IJERTV2IS1344

Chiu, Y.S.P., Liang, G.M., Chiu, S.W. (2016). Solving a Fabrication Lot-Size and Shipping Frequency Problem with an Outsourcing Policy and Random Scrap, *Mathematical and Computational Applications*, 21, No. 4: 45. 10.3390/mca21040045

Chiu, Y.S.P., Chiang, K.W., Chiu, S.W., Song, M.S. (2016). Simultaneous determination of production and shipment decisions for a multi-product inventory system with a rework process, *Advances in Production Engineering And Management*, 11, 141–151. 10.14743/apem2016.2.216

Chiu, S.W., Liu, C., Li, Y. i Chou, C. (2017). Manufacturing lot size and product distribution problem with rework, outsourcing and discontinuous inventory distribution policy, *International Journal for Engineering Modelling*, 30 (1-4), 49-61.

Fallahi, A., Azimi-Dastgerdi, A., Mokhtari, H. (2023). A sustainable production-inventory model joint with preventive maintenance and multiple shipments for imperfect quality items, *Scientia Iranica*, *30*(3), 1204-1223. 10.24200/sci.2021.55927.4475

Goyal, S.K., Nebebe, F. (2000). Determination of economic production–shipment policy for a single-vendor–single-buyer system, *European Journal of Operational Research*, Volume 121, Issue 1, Pages 175-178. 10.1016/S0377-2217(99)00013-2

Harris, F.W. (1913). How Many Parts to Make at Once. Factory, *The Magazine of Management*, 10, 135-136, 152.

Jawanmardi, Ehsan, (2009). Inventory Control, *Payam Noor University Press Shiraz (In Persian).*

Jonrinaldi., Rahman, T., Henmaidi., Wirdianto, E., Zhang, D.Z. (2018). A Multiple Items EPQ/EOQ Model for a Vendor and Multiple Buyers System with Considering Continuous and Discrete Demand Simultaneously, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Yogyakarta, Indonesia*, (The 4th Asia Pacific Conference on Manufacturing Systems and the 3rd International Manufacturing Engineering Conference 7–8 December 2017), Volume 319, 012037. 10.1088/1757-899X/319/1/012037

Kalantari, S.S., Taleizadeh, A.A. (2020). Mathematical modelling for determining the replenishment policy for deteriorating items in an EPQ model with multiple shipments, *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 7:2, 164-171. 10.1080/23302674.2018.1542753

Kim, S.L., Banerjee, A., Burton, J. (2008). Production and delivery policies for enhanced supply chain partnerships, *International Journal of Production Research*, 46:22, 6207-6229. 10.1080/00207540701472124

Lee, T.J., Chiu, S.W., Chang, H.H. (2011). On Improving Replenishment Lot Size of an Integrated Manufacturing System with Discontinuous Issuing Policy and Imperfect Rework, *American Journal of Industrial and Business Management*, Vol. 1 No. 1, 2011, pp. 20-29. 10.4236/ajibm.2011.11003

Pasandideh, S.H.R., Akhavan Niaki, S.T., Yeganeh, J.A. (2010). A parameter-tuned genetic algorithm for multi-product economic production quantity model with space constraint, discrete delivery orders and shortages, *Advances in Engineering Software*, Volume 41, Issue 2, Pages 306-314. 10.1016/j.advengsoft.2009.07.001

Pasandideh, S.H.R., Akhavan Niaki, S.T. (2008). A genetic algorithm approach to optimize a multi-products EPQ model with discrete delivery orders and constrained space, Applied Mathematics and Computation, Volume 195, Issue 2, 2008, Pages 506-514. 10.1016/j.amc.2007.05.007

Poursaidi, Mohammad Hossein, (2012). Production and inventory planning and control, Mahan Publishing House Tehran (In Persian)

Priyan, S., Uthayakumar, R. (2017). Setup cost reduction EMQ inventory system with probabilistic defective and rework in multiple shipments management, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*,8: 223–241. 10.1007/s13198-016-0418-2

Taleizadeh, A.A., Kalantari, S.S., Cárdenas-Barrón, L.E. (2015). Determining optimal price, replenishment lot size and number of shipments for an EPQ model with rework and multiple shipments, *Journal of Industrial and Management Optimization*, Volume 11, Number 4: 1059-1071. 10.3934/jimo.2015.11.1059

Treviño-Garza, G., Castillo-Villar, K.K., Cárdenas-Barrón, L.E. (2015). Joint determination of the lot size and number of shipments for a family of integrated vendor–buyer systems considering defective products, *International Journal of Systems Science*, 46:9, Vol. 46, No. 9, 1705–1716. 10.1080/00207721.2014.886750Sarker, B.R., Jamal, A.M.M. (1993). An optimal batch size for

a production system operating under a just-in-time delivery system, *International Journal of Production Economics*, Vol. 32, No. 2, pp.255–260. 10.1016/0925-5273(93)90072-S

Sarker, B.R., Parija, G.R. (1994). An optimal batch size for a production system operating under a fixed-quantity, periodic delivery policy, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 45, No. 8, pp.891–900. 10.1057/jors.1994.141

Sarker, R.A., Khan, L.R. (2001). An optimal batch size under a periodic delivery policy, *International Journal of Systems Science*, 32 (9), 1089–1099. 10.1080/00207720010015717

Sarker, R.A., Khan, L.R. (2002). An optimal batch size for a JIT manufacturing system, *Comput Ind Eng*, 42(2–4):127–136. 10.1016/S0360-8352(02)00009-8

Sarker, B.R., Golhar, D.Y. (1992). Economic manufacturing quantity in a just-in time delivery system, *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 5, pp.961–972. 10.1080/00207549208942936

Siajadi, H., Ibrahim, R.N., Lochert, P.B. (2006). Joint economic lot size in distribution system with multiple shipment policy, *International Journal of Production Economics*, Volume 102, Issue 2, 2006, Pages 302-316. 10.1016/j.ijpe.2005.04.003

Taleizadeh, A.A., Kalantari, S.S., Cárdenas-Barrón, L.E. (2016). Pricing and lot sizing for an EPQ inventory model with rework and multiple shipments, *TOP 24*, 143–155. 10.1007/s11750-015-0377-9

Taft, E.W. (1918). The most economical production lot, *Iron Age*, vol. 101, pp.1410-1412.

Tseng, C.T., Wu, M.F., Lin, H.D., Chiu, Y.S.P. (2014). Solving a vendor–buyer integrated problem with rework and a specific multi-delivery policy by a two-phase algebraic approach, *Economic Modelling*, Volume 36, Pages 30-36. 10.1016/j.econmod.2013.09.013

Widyadanaa, G.A., Wee, H.M. (2009). A multi-product EPQ model with discrete delivery order: a Langrangean solution approach, *in: Global Perspective for Competitive Enterprise, Economy and Ecology Advanced Concurrent Engineering*, pp. 601–608. 10.1007/978-1-84882-762-2_57

Wilson, R.H. (1934). A Scientific Routine for Stock Control, *Harvard Business Review*, Vol. 13, No. 1, pp. 116-128.

Wu, M.F., Chiu, Y.S.P., Sung, P.C. (2014). Optimization of a multi-product EPQ model with scrap and an improved multi-delivery policy, *Journal of Engineering Research*, 2, 27. 10.7603/s40632-014-0027-7