International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2012)

June 2012, Volume 23, Number 1
pp. 67-77

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

An Integrated Model of Aggregate Production Planning With Maintenance Costs

F. Khoshalhan * **& A. Cheraghali Khani**

Farid Khoshalhan, *Assistance Professor, Industrial Engineering, KNTU*
Ali Cheraghali Khani, *Master of Science, Industrial Engineering, KNTU*

Keywords

Aggregate Production Planning,
Maintenance,
Integrated Model

ABSTRACT

One kind of mid-term production system, aggregate production planning, identifies the optimum production plan for each production period. The goal of aggregate production planning is to forecast future demand swings. On the other hand, maintenance system identifies the proper time for preventive maintenance and restrains from break downs and reduces maintenance costs. Due to the importance of these two systems, in recent years, there has generated different models independently. The current research has proposed an integrated aggregate production planning model considering the time and costs of maintenance. This model indicates the optimum production size among the optimum time of preventive maintenance. As a final point, in order to check the reliability of the proposed model, an example has been examined. Results show that a considerable amount of cost has been saved by applying the model.

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 1, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Farid Khoshalhan**
Email: *khoshalhan@kntu.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــــاره ۱، جلـــد ۲۳، خـــــرداد ۱۳۹۱
صفحـــــه ۷۷-۶۸

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید ادغامی با هزینه نگهداری و تعمیرات

علی چراغعلی خانی و فرید خوش الحان*

کلمات کلیدی

برنامه‌ریزی تولید ادغامی، نگهداری و تعمیرات، مدل یکپارچه.

چکیده:

برنامه‌ریزی تولید ادغامی گونه‌ای از برنامه‌ریزی میان‌مدت در سیستم تولیدی می‌باشد که برنامه تولید بهینه برای هر دوره از افق برنامه‌ریزی را در بازه میان‌مدت تعیین می‌کند. هدف اصلی برنامه‌ریزی تولید ادغامی مواجهه با نوسانات تقاضا در آینده نزدیک می‌باشد. از سوی دیگر برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات به تعیین زمان مناسب انجام نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در طول افق برنامه‌ریزی به منظور جلوگیری از بروز خرابی در سیستم با هدف حداقل نمودن هزینه کل می‌نماید. با توجه به اهمیت برنامه‌ریزی تولید ادغامی در سیستم‌های تولیدی از یک سو و اهمیت نگهداری و تعمیرات از سوی دیگر برای سیستم‌های تولیدی، در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی به صورت مجزا برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات ارائه شده است. در این مقاله، مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید ادغامی با در نظر گرفتن زمان و هزینه نگهداری و تعمیرات ارائه شده است. در مدل پیشنهادی میزان تولید بهینه و زمان بهینه انجام نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به صورت همزمان تعیین می‌شوند. در انتها به منظور اعتبارسنجی مدل و بررسی تاثیر وارد نمودن نگهداری و تعمیرات در مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی، با کمک یک مثال عددی نشان داده شده که با یکپارچه نمودن این دو مدل می توان میزان هزینه کل را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

۱. مقدمه

۱-۱. برنامه‌ریزی تولید ادغامی

امروزه با توجه به افزایش نوسانات تقاضا در بازار، هدف سازمانی موفق خواهد بود که در برابر تغییرات با سرعت بیشتری واکنش مناسب نشان دهد و سازمان را با تغییرات محیطی همسو سازد. برنامه‌ریزی تولید ادغامی یک برنامه‌ریزی ظرفیت میان‌مدت می‌باشد که برنامه تولید و نیروی کار را با هدف حداقل نمودن هزینه کل تولید برای برآوردن نیاز مشتری تعیین می‌کند. برنامه‌ریزی تولید ادغامی به صورت همزمان میزان تولید، تعداد نیروی کار و سطح موجودی بهینه را در طول افق برنامه‌ریزی برای پاسخگویی به تقاضای کل مشتری برای همه محصولات و با در نظر گرفتن محدودیت منابع سازمان تعیین می‌کند. [۱]،[۲]و [۳]. مولا و همکاران [۴] برنامه‌ریزی تولید ادغامی را به عنوان یکی از هفت دسته اصلی تصمیمات برنامه‌ریزی تولید در سیستم‌های تولیدی معرفی می‌نمایند.

در طی سالیان اخیر توجه قابل ملاحظه‌ای از سوی محققین و صنعت‌گران به برنامه‌ریزی تولید ادغامی شده است و دلیل آن هم توانایی این مدل‌ها در کنترل هزینه‌های تولید و موجودی می‌باشد[۵]. برنامه‌ریزی تولید ادغامی رویکردی است که با در نظر گرفتن استراتژی‌های سازمان در مواجهه با نوسان در تقاضا و نیز محدودیت‌های موجود در سازمان از قبیل محدودیت در ظرفیت ماشین‌آلات و نیروی انسانی، فضای نگهداری موجودی و سایر محدودیت‌ها، بهترین گزینه موجود را در اختیار تصمیم‌گیرندگان تولید قرار می‌دهد.

منظور از واژه "ادغامی" در برنامه‌ریزی تولید ادغامی این است که گروه‌های خانواده محصول که از لحاظ ظاهر مشابه بوده و یا دارای

تاریخ وصول: ۸۹/۷/۹
تاریخ تصویب: ۹۰/۳/۲۱

علی چراغعلی خانی، دانشگاه صنعتی نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی صنایع، ali_cheraghalikhani@sina.kntu.ac.ir

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر فرید خوش الحان**، دانشگاه صنعتی نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی صنایع، khoshalhan@kntu.ac.ir

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

مراحل ساخت مشابه یکدیگر می‌باشند، به عنوان یک خانواده محصول در نظر گرفته می‌شوند. در ضمن بازه‌های زمانی مختلفی برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی در نظر گرفته می‌شود برای مثال بیکاسلاگو [۶] برنامه‌ریزی تولید ادغامی را برنامه‌ریزی ظرفیت میان‌مدت برای افق برنامه‌ریزی ۲ تا ۱۸ ماهه تعریف می‌کند، ولی با توجه به نوع صنعت و تولیدات سازمان، این بازه زمانی می‌تواند متغیر باشد و بازه‌های زمانی طولانی‌تری را نیز در برگیرد.

اولین بار هولت و همکاران [۷]،[۸]و [۹] سعی در مدل‌سازی این مساله در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی نمود. این روش، تصمیم خطی نام داشت و هدف آن کمینه نمودن هزینه با درنظرگرفتن محدودیت‌های منابع بود [۱۰] . نام و لگندران [۱۱] مرور کامل بر روی مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی ارائه شده تا سال ۱۹۹۲ داشته و روش‌های حل این مدل‌ها را به ۶ دسته کلی طبقه‌بندی نموده و نقاط ضعف و قوت هر دسته را نیز تحلیل نموده‌اند.

در مدل های ارائه شده حجم کمتری از مقالات، مدل را چند - هدفه در نظر گرفته‌اند که مازولا و همکاران [۱۲] دلیل این توجه کمتر به مدل‌های چند هدفه را سختی مواجهه با مدل‌های چندهدفه بیان می‌کنند.

مدلهای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندهدفه گوناگونی توسط محققین در این حوزه ارائه شده‌است، یکی از مدل‌های اولیه و مهم چند هدفه توسط مسعود و هوانگ [۱۳] ارائه شده است. مسعود و هوانگ سه روش تصمیم‌گیری چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی[1] و STEM[2] و SEMOPS[3] برای حل مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی با ۴ هدف ارائه کردند که اهداف این مدل عبارت بودند از: سود کل، تغییرات نیروی کار، موجودی و کسری. بیکاسلاگو [۶] مدل ارائه شده توسط مسعود و هوانگ [۱۳] را با اضافه نمودن قرارداد جانبی و تصمیمات راه اندازی[4] توسعه داده و مدلی چند هدفه به شکل برنامه ریزی آرمانی ارائه نمود.

یک الگوریتم جستجوی ممنوعه چند هدفه نیز توسط وی برای حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه‌شده معرفی گردید. مدل برنامه-ریزی تولید ادغامی چند هدفه و چند محصولی برای یک شرکت تولید پوشاک با چند محل تولیدی در هنگ‌کنگ نیز توسط لیانگ و همکاران [۱۴] ارائه گردید.

آنها سه هدف سود کل، استفاده از سهم وارداتی صنعت و تغییرات نیروی کار را در مدلشان در نظر گرفتند. توکلی مقدم و صفایی [۱۵] نیز مدل برنامه ریزی تولید ادغامی با محدودیت منابع را به کمک الگوریتم ژنتیک حل کردند.

یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه برنامه‌ریزی تولید ادغامی نیز توسط داسیلوا و همکاران [۱۶] ارائه گردید و همچنین یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری[5] برای حل مدل پیشنهادی نیز توسط ایشان ارائه گردید. محجی و محمد رحیمی [۱۷] کاربردی از برنامه ریزی خطی چند هدفه فازی (FMOLP) جهت حل مسائل تصمیم گیری برنامه ریزی تولید ادغامی چند محصولی، در محیط فازی ارائه نمودند. مدل پیشنهادی سعی به این داشت که هزینه تولید کل، هزینه نگهداری و سفارشات عقب افتاده و نرخ تغییرات در نیروی انسانی را با درنظر گرفتن سطح موجودی، نیروی انسانی، ظرفیت، فضای انبار و ارزش زمانی پول کمینه کند.

لیانگ [۱۸] یک مدل یکپارچه برنامه ریزی تولید و حمل و نقل چند هدفه برای زنجیره تامین در شرایط عدم قطعیت پارامترها به همراه روش حل فازی آن ارائه نمود. لیانگ [۱۹] همچنین یک روش حل فازی چند هدفه برای مدل برنامه ریزی تولید ادغامی چند محصولی و چند دوره زمانی ارائه نموده است که در این مدل هزینه تولید و هزینه نگهداری موجودی و تغییرات نرخ تغییرات نیروی کار حداقل می گردد. لیانگ و ونگ [۲۰] یک مدل برنامه ریزی خطی فازی چند هدفه برای مساله برنامه ریزی تولید ادغامی چندهدفه در شرایط عدم قطعیت ارائه نمود و آن را حل کرد.

یک مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند هدفه برای محصولات فاسدشدنی توسط لیانگ و ان جی[۲۱] ارائه و توسط برنامه‌ریزی آرمانی حل گردید. مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند هدفه با در نظر گرفتن چند نوع محصول، چند نوع بازار برای محصولات و چند محل تولید توسط لیانگ و چان [۲۲] ارائه گردید. مدل به صورت یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی با اهداف سود، هزینه خرابی و استفاده از ماشین آلات توسط ایشان ارائه‌شد. در ضمن در این مدل برای اولین بار بحث هزینه خرابی و البته بدون در نظر گرفتن زمان آن در نظر گرفته شده‌است.

در مدل‌های اشاره شده غیر از مدل لیانگ و چان [۲۳] که فقط هزینه خرابی را در مدل پیشنهادی در نظر گرفته، سایر مدل‌ها زمان خرابی، زمان و هزینه نگهداری و تعمیرات را ندیده گرفته‌اند که در مدل ارائه شده در این مقاله این دو مفهوم به منظور کامل-تر شدن به مدل اضافه شده‌است. در ضمن، با توجه به همجنس بودن و همجهت بودن توابع هدف در نظر گرفته‌شده در مدل‌های چند هدفه مقالات اشاره شده، در این مقاله تمامی اجزای در یک تابع هدف در نظر گرفته شده‌اند.

[1] *Goal Programming*
[2] *Step Method*
[3] *Sequential Multiple Objective Problem Solving*
[4] *Setup Decisions*

5 Decision Support System (DSS)

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

۱-۲. مدل‌های یکپارچه نگهداری و تعمیرات و برنامه‌ریزی تولید

بهبود سطح دسترسی به عنوان یکی از دغدغه های مهندسین بخش تولید در طراحی سیستم های تولیدی شناخته می‌شود[۲۴]. یکی از مهمترین فعالیتها به منظور بهبود سطح دسترسی به یک سیستم تولیدی، نگهداری و تعمیرات سیستم تولیدی می‌باشد.

نگهداری و تعمیرات به صورت "مجموعه فعالیت‌هایی که برای حفظ و یا ارتقای ایمنی، عملکرد، قابلیت اطمینان و در دسترس بودن یک محل تولیدی، یک سیستم و یا اجزا به منظور اطمینان از عملکرد مناسب آن‌ها در زمان نیاز" تعریف می‌شود[۲۳]. وینستین [۲۵] سیاست بهینه نگهداری و تعمیرات را به صورت "سیاست نگهداری و تعمیراتی که هزینه کل انجام تعمیرات پیشگیرانه و اضطراری را حداقل نماید" تعریف کرده‌است.

رویکرد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر[1] پیشنهاد می‌کند که برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات باید به عنوان یک جزء از استراتژی کل تجاری و به صورت هماهنگ با سایر فعالیت‌های تولیدی در نظر گرفته شود[۲۶] و [۲۷]. برای جلوگیری از خرابی‌های ناگهانی و دوباره کاری‌ها در برنامه‌ریزی بایستی برنامه تولید و برنامه نگهداری و تعمیرات به صورت یکپارچه در نظر گرفته‌شوند[۲۸]. در خصوص این یکپارچگی، در سطح برنامه‌ریزی تولید کوتاه مدت مانند برنامه زمان‌بندی، مدل‌هایی که نگهداری و تعمیرات را در مدل تولید در نظر بگیرند به صورت متعدد ارائه شده‌اند ولی در سطح میان مدت(ادغامی) مدل‌های کمتری با رویکرد یکپارچه‌سازی ارائه شده‌است[۲۸].

بهنژاد و خوشنویس [۲۹] تاثیرات بهبود بهره وری تولید در برنامه ریزی نیازمندی های ماشین آلات را نشان داده و مدل یکپارچه‌ای که برنامه ریزی تولید ادغامی را با برنامه ریزی نیازمندی های ماشین آلات ترکیب کرده بود را با در نظر گرفتن تاثیرات تابع بهبود تولید ارائه نمودند.

کوگان و پورتوگال[۳۰] مدل برنامه ریزی تولید ادغامی با چند دوره زمانی با در نظر گرفتن شرایطی که به علت خرابی ماشین، کیفیت، عرضه و مشکلات نگهداری ، بهره وری واقعی سیستم تولیدی متفاوت از انتظار است ارائه کرده اند. در انتهای هر دوره بایستی خروجی های تولید بررسی شده و تفاوت آن با برنامه تحلیل شوند. نتایج این تحقیق در صنعت غذایی نیز پیاده سازی شده است. اقذاف و همکاران [۳۱] یک مدل یکپارچه تولید و نگهداری و تعمیرات برای یک خط تولید تکی که هزینه کل تعمیرات اضطراری را حداقل کند ارائه کردند.

اقذاف و ناجید [۲۸] یک مدل یکپارچه تولید و نگهداری و تعمیرات برای خط تولید چندگانه را که هزینه کل تعمیرات اضطراری را حداقل کند با کمک دو مدل ریاضی ارائه کردند. در سطح برنامه‌ریزی تولید ادغامی تنها مدلی که نگهداری و تعمیرات را در برنامه تولید وارد نموده است مدل ارائه شده توسط وینستین و چانگ [۳۲] می‌باشد[۳۱].

وینستین و چانگ [۳۲] یک مدل سلسله مراتبی[2] برنامه‌ریزی تولید که از سه سطح (ادغامی، اصلی و زمان بندی) تشکیل می‌شد ارائه کردند که در سطح برنامه‌ریزی ادغامی یک مدل ساده و اولیه برنامه‌ریزی تولید ادغامی با درنظر گرفتن هزینه نگهداری و تعمیرات را ارائه نمودند. در مدل ارائه شده توسط ایشان قراردادجانبی، کسری و محدودیت منابع ماشین‌آلات نادیده گرفته شده‌اند. با توجه به مرور ادبیات انجام‌شده غیر از مقاله وینستین و چانگ [۳۲] در ادبیات موضوع یکپارچه سازی فعالیت‌های تولید و نگهداری و تعمیرات، مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی کامل دیگری با در نظر گرفتن ملاحظات نگهداری و تعمیرات ارائه نشده است.

در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی موجود فرض بر این است که سیستم تولیدی همواره به صورت کامل در دسترس می‌باشد و بحث نگهداری و تعمیرات در آن‌ها ندیده گرفته شده‌است. از طرف دیگر در مدل‌های برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات نیز بحث میزان تولید و هزینه‌های آن ندیده گرفته شده‌اند. فلذا با توجه به اهمیت بحث در دسترس بودن سیستم و تاثیری که برنامه نگهداری و تعمیرات بر سیستم تولیدی می‌گذارد، در این مقاله نگهداری و تعمیرات به عنوان بحث مهمی که در برنامه میان‌مدت باید به آن توجه شود به صورت یکپارچه همراه با تصمیمات تولیدی در مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در نظر گرفته‌شده و مدلی یکپارچه ارائه شده‌است. در مدل ارائه شده اثر هزینه نگهداری و تعمیرات در هزینه کل و اثر زمان آن در دسترسی ماشین آلات در نظر گرفته شده‌است. در انتها نیز به منظور تعیین اثر وارد نمودن ملاحظات نگهداری و تعمیرات در برنامه‌ریزی تولید ادغامی، هزینه کل تولید با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات و بدون آن در نتایج یک مثال عددی با هم مقایسه شده است و اثر بخشی مدل یکپارچه پیشنهادی نشان داده شده‌است.

ادامه این مقاله بدین صورت ارائه میگردد، در بخش دوم مدل به همراه توابع هدف و محدودیت‌های آن معرفی می‌گردد، مقایسه بین مدل ارائه‌شده و مدل‌های قبلی نیز در همین بخش آمده‌است. در بخش سوم هم مثال عددی و مقایسه نتایج آمده و در بخش آخر هم نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی ارائه شده‌است.

[1] *Total Productive Maintenance (TPM)*

[2] *Hierarchical*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

۲. مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید ادغامی با هزینه نگهداری و تعمیرات پیشنهادی

۲-۱. تعریف مساله

همانگونه که اشاره گردید، در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی ارائه‌شده توسط محققان، سیستم تولیدی به صورت کامل در دسترس فرض می‌شود و بحث در دسترس بودن، خرابی سیستم و نگهداری و تعمیرات در آن‌ها نادیده گرفته شده‌است. از سوی دیگر در مدل‌های برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات نیز بحث میزان تولید و هزینه‌های مربوط به آن ندیده گرفته شده‌اند.

با توجه به اهمیت بحث در دسترس بودن سیستم و تاثیری که برنامه نگهداری و تعمیرات بر عملکرد سیستم تولیدی می‌گذارد، در این بخش مدل یکپارچه‌ای که تصمیمات نگهداری و تعمیرات را همزمان با تصمیمات تولیدی در یک مدل یکپارچه می‌کند معرفی می‌گردد.

در مدل ارائه شده در صورتی که نگهداری و تعمیرات در دوره t انجام شود در همان دوره تنها هزینه نگهداری و تعمیرات به مدل تحمیل شده و زمان مورد نیاز انجام عملیات نگهداری و تعمیرات از ظرفیت زمان ماشین‌آلات کسر می‌گردد و در صورتیکه در دوره t عملیات نگهداری و تعمیرات انجام نشود هزینه و زمان آن در مدل اعمال نمی‌شود ولی در عوض در دوره $t+1$ هزینه خرابی به مدل تحمیل شده و زمان خرابی از ظرفیت در دسترس ماشین-آلات کسر می‌شود.

در ادامه پارامترها، توابع هدف و محدودیت‌های مدل یکپارچه پیشنهادی آمده است:

۲-۲. مدل ریاضی پیشنهادی

اندیس ها:

i: اندیس محصول

t: اندیس دوره زمانی

مجموعه ها:

I: مجموعه محصولات

T: مجموعه دوره‌های زمانی

پارامترها:

d_{it} تقاضای پیش بینی شده محصول خانواده i ام در دوره t ام(بر اساس داده‌های پیشین)

$C1_i$ هزینه یک واحد تولید محصول i ام در زمان عادی

$C2_i$ هزینه یک واحد تولید محصول i ام در زمان اضافه‌کاری

$C3_t$ هزینه یک نفر کارگر در دوره t ام در زمان عادی

$C4_t$ هزینه یک نفر-ساعت کارگر در دوره t ام در زمان اضافه‌کاری

$C5_i$ هزینه یک واحد محصول i ام تهیه شده از طریق قراردادجانبی در دوره t ام

$C6_t$ مجموع هزینه خرابی سیستم در دوره t ام

$C7_t$ هزینه انجام نگهداری و تعمیرات در دوره t ام

$C8_i$ هزنیه نگهداری یک واحد موجودی از محصول i ام در انبار

$C9_i$ هزینه یک واحد کسری (یا سفارش عقب افتاده) از محصول i ام

$C10_t$ هزینه اخراج یک نفر کارگر در دوره t ام

$C11_i$ هزینه استخدام یک نفر کارگر در دوره t ام

$I\max_t$ ظرفیت انبار برای نگهداری محصولات در دوره t ام

$w1_i$ درصدی از حداقل تقاضای پیش بینی شده محصول i ام که تعیین کننده سقف کسری در دوره می‌باشد

Smi_{it} حداقل تقاضای پیش بینی شده محصول i ام که تعیین کننده سقف کسری در دوره می باشد

$SC\max_{it}$ حداکثر میزان محصول i ام که مجاز به تهیه از طریق قراردادجانبی در دوره t ام می‌باشد

$W\max_t$ حداکثر نیروی کار در دسترس در دوره t ام

g تعداد ساعت‌کاری هر کارگر در هر دوره زمانی

a_t درصدی از ظرفیت نیروی‌کار که برای اضافه کاری در دسترس می‌باشد

u_i تعداد نفر-ساعت موردنیاز برای تولید یک واحد محصول i ام در زمان عادی

$u1_i$ تعداد نفر-ساعت موردنیاز برای تولید یک واحد محصول در زمان اضافه کاری

e_i زمان مورد نیاز ماشین برای تولید یک واحد از محصول i ام در زمان تولید عادی و اضافه‌کاری

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

M_t ظرفیت ماشین در دسترس در زمان عادی
MT_t زمان انجام نگهداری و تعمیرات (که از ظرفیت ماشین آلات اشغال می‌شود)
k درصدی از ظرفیت ماشین که در هر دوره (به علت عدم انجام نگهداری و تعمیرات در دوره قبل) به علت خرابی از دست می‌رود
$b1_t$ درصدی از ظرفیت تولید ماشین که برای اضافه کاری در دسترس می‌باشد

متغیرهای تصمیم:

X_{it} میزان تولید محصول خانواده i ام در زمان تولید عادی در دوره t ام
Y_{it} میزان تولید محصول خانواده i ام در زمان اضافه کاری در دوره t ام
W_t تعداد نیروی کار مورد نیاز در دوره t ام
H_t تعداد نیروی کار استخدام شده در دوره t ام
L_t تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره t ام
OT_t ساعت اضافه کاری مورد نیاز در دوره t ام
Inv_{it} سطح موجودی محصول خانواده i ام در انتهای دوره t ام
B_{it} سطح کسری (سفارش عقب افتاده) محصول خانواده i ام در دوره t ام
SC_{it} میزان محصول خانواده i ام که در دوره t ام توسط قرارداد جانبی تهیه شده است
PM_t متغیر نگهداری و تعمیرات- درصورت انجام نگهداری‌وتعمیرات در دورهtام مقدار یک و در غیر این‌صورت مقدار صفر می‌گیرد

تابع هدف: حداقل نمودن هزینه کل

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{J}(C1_i X_{it} + C2_i Y_{it}) + \sum_{t=1}^{T}(C3_t W_t + C4_t OT_t) + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}(C5_i SC_{it}) + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}(C8_i Inv_{it} + C9_i B_{it}) + \sum_{t=1}^{T}(C10_t H_t + C11_i L_t) + \sum_{t=2}^{T} C6_t(1-PM_{t-1}) + \sum_{t=1}^{T-1} C7_t PM_t \quad (۱)$$

تابع هدف (۱)، حداقل نمودن هزینه کل در افق برنامه‌ریزی می‌باشد. جزء اول مجموع هزینه تولید عادی و اضافه کاری که از حاصلضرب تعداد تولید در هزینه یک واحد تولید بدست می‌آید، جزء دوم هزینه نیروی کار در زمان عادی و اضافه‌کاری است، جزء سوم هزینه محصولات تهیه شده از طریق قراردادجانبی، جزء چهارم هزینه نگهداری موجودی و کسری محصولات و جزء پنجم هزینه تغییرات نیروی کار از طریق اخراج و استخدام نیروی‌کار در هر دوره می‌باشد. جزء ششم هزینه خرابی سیستم می‌باشد که در صورت انجام نشدن تعمیرات و نگهداری در هر دوره، در دوره بعد این هزینه خرابی به سیستم تحمیل می‌شود. جزء آخر تابع هدف نیز هزینه انجام تعمیرات و نگهداری است که در صورت انجام آن اعمال می‌شود.

محدودیت‌ها:

$$d_{it} = I_{it-1} - B_{it-1} + X_{it} + Y_{it} + SC_{it} - I_{it} + B_{it} \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{I} I_{it} \le I\max_t \quad (۳)$$

$$B_{it} \le w1_i Smi_{it} \quad (۴)$$

$$SC_{it} \le SC\max_{it} \quad (۵)$$

$$W_t \le W\max_t \quad (۶)$$

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t \quad (۷)$$

$$H_t L_t = 0 \quad (۸)$$

$$Inv_{it} B_{it} = 0 \quad (۹)$$

$$OT_t \le ga_t W_t \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^{I} u_i X_{it} \le g W_t \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^{I} u1_i Y_{it} \le OT_t \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^{I} e_i X_{it} + PM_t MT_t + (1-PM_{t-1})kM_t \le M_t \quad (۱۳)$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i\in I, t\in t}}^{I} e_i Y_{it} + (1-PM_t)kb1_t M_t \le b1_t M_t \qquad (۱۴)$$

$$PM_t = \begin{cases} 1 & If ma\,\text{int}\,enance done \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad t \in t \qquad (۱۵)$$

$$OT_t \ge 0 \quad t \in t \ , \quad X_{it}, Y_{it}, W_t, H_t, L_t, Inv_{it}, B_{it}, SC_{it} \ge 0 \text{ and integer} \quad i \in I, t \in t \qquad (۱۶)$$

محدودیت (۲)، تعادل تولید در هر دوره می‌باشد که در این تعادل تقاضای هر محصول برابر است با مجموع موجودی دوره قبل به‌علاوه تولید عادی و اضافه‌کاری آن محصول به‌علاوه قراردادجانبی منهای موجودی آخر دوره، که برای محصولات مختلف در دوره‌های مختلف می‌باشد. در محدودیت (۳) مجموع موجودی محصولات مختلف در هر دوره باید از حداکثر ظرفیت مجاز موجودی در هر دوره کمتر باشد.

در محدودیت (۴) کسری هر محصول برای هر دوره باید از درصد معینی از حداقل تقاضای دانسته آن محصول در هر دوره می‌باشد کمتر باشد.

در محدودیت (۵) حجم قراردادجانبی برای هر محصول در هر دوره باید از حداکثر مجاز قراردادجانبی آن محصول در هر دوره کمتر باشد. در محدودیت (۶) تعداد نیروی کار در هر دوره باید از حداکثر نیروی کار در دسترس در آن دوره کمتر باشد. محدودیت (۷) تعادل نیروی کار را بیان می‌کند، که بر اساس این تعادل تعداد نیروی کار هر دوره برابر تعداد نیروی کار دوره قبل به‌علاوه استخدام و اخراج طی دوره می‌باشد.

بر اساس محدودیت (۸) در هر دوره یا استخدام و یا اخراج داریم و بر اساس محدودیت (۹) در هر دوره یا موجودی و یا کسری داریم که با توجه به خطی بودن مدل پیشنهادی دو سری محدودیت (۸) و (۹) محدودیت زائد به‌حساب می‌آیند. محدودیت (۱۰) سقف ظرفیت زمان اضافه‌کاری نیروی کار برای هر دوره را بیان می‌کند. در محدودیت (۱۱) زمان مورد نیاز برای تولید در زمان عادی باید از زمان در دسترس نیروی کار در زمان عادی کمتر باشد که این زمان بر اساس تعداد نیروی کار در زمان عادی در تعداد ساعات در دسترس بودن هر نیروی کار در هر دوره تعیین می‌شود.

براساس محدودیت (۱۲) زمان مورد نیاز برای تولید اضافه کاری باید از زمان در دسترس نیروی کار در زمان اضافه کاری کمتر باشد.

در محدودیت (۱۳) مجموع زمان مورد نیاز برای تولید عادی در ماشین‌آلات به‌علاوه زمان نگهداری و تعمیرات به‌علاوه زمان کاهش یافته از ظرفیت به علت خرابی در سیستم باید کمتر از ظرفیت ماشین در دوره می‌باشد. محدودیت (۱۴) مجموع زمان مورد نیاز جهت تولید اضافه کاری و زمان خرابی در اضافه کاری که در صورت انجام نشدن نگهداری و تعمیرات درصد معینی از زمان در دسترس ماشین صرف خرابی می‌گردد، باید کمتر از ظرفیت ماشین در زمان اضافه‌کاری باشد که این ظرفیت کسر شده درصد معینی از ظرفیت عادی ماشین می‌باشد. رابطه (۱۵) متغیر تصمیم انجام/ عدم انجام نگهداری و تعمیرات در دوره را بیان می‌کند که در صورت انجام عملیات نگهداری و تعمیرات در دوره t مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. (۱۶) متغیرهای تصمیم مدل حقیقی در نظر گرفته می شوند که عبارتند از:

میزان تولید در زمان عادی،
میزان تولید در اضافه کاری،
میزان استخدام،
میزان اخراج،
زمان اضافه کاری،
موجودی دوره،
کسری دوره،
میزان قراردادجانبی دوره و متغیر صفر و یک انجام نگهداری و تعمیرات در دوره می‌باشد که غیر از زمان اضافه کاری بقیه متغیرهای تصمیم صحیح هستند.

۲-۳. مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های مشابه قبلی

در این بخش به‌منظور مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های مشابه مقایسه‌ای بین مدل برنامه‌ریزی تولید پیشنهادی و مدل‌های ارائه شده توسط مسعود و هوانگ [۱۳]، بیکاسلاگو [۶]، لیانگ و ان جی [۲۱] و لیانگ و چان [۲۲] انجام شده‌است. به منظور این مقایسه مشخصات اصلی در مدل‌های قابل مقایسه تهیه شده و وجود و یا عدم وجود این مشخصات در مدل‌ها در جدول۱ با هم مقایسه شده‌است. جدول ۱ مشخصات اصلی مدل نظیر: تعداد خانواده‌های محصول، تعداد دوره‌های زمانی، تعداد بازارهای فروش، مجاز بودن/نبودن کسری و موجودی در مدل، هزنیه و زمان نگهداری و تعمیرات، هزینه و زمان خرابی در سیستم، قراردادجانبی و توابع هدف موجود در مدل‌ها را در مدل‌های مختلف مقایسه می‌کند.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

در جدول ۱ سه مشخصه زمان و هزینه نگهداری و تعمیرات و همچنین زمان خرابی که در ستون مدل پیشنهادی با ستاره مشخص شده اند برای اولین بار در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی ارائه شده‌اند.

جدول ۱. مقایسه مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی پیشنهادی با مدل‌های مشابه

Features	Masud and Hwang [13]	Baykasoglu [6]	Leung and Ng [21]	Leung and Chan [22]	The proposed Model
Number of products	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple
Number of markets	Single	Single	Single	Multiple	Single
Planning horizon	Multi-Period	Multi-Period	Multi-Period	Multi-Period	Multi-Period
Number of plants	Single	Single	Single	Multiple	Single
Backorder	Considered	Considered	Considered	Considered	Considered
Maintenance time	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Considered *
Maintenance cost	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Considered *
Repair cost	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Considered	Considered
Repair time	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Considered*
Objectives					
Profit (or cost)	Considered	Considered	Considered	Considered	Considered
Change in workforce level	Considered	Considered	Considered	Not Considered	Considered
Inventory	Considered	Considered	Considered	Not Considered	Considered
Backorders	Considered	Considered	Considered	Not Considered	Considered
Repair cost	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Considered	Considered
Overtime	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Not Considered	Not Considered
Subcontracting	Not Considered	Considered	Not Considered	Not Considered	Considered

۳. حل مدل با اعداد

به‌منظور اعتبار سنجی مدل ارائه شده در این مقاله و بررسی تاثیر یکپارچه نمودن مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی و نگهداری و تعمیرات، در این بخش نتایج حل دو مدل (با اضافه نمودن نگهداری و تعمیرات و بدون آن) با هم مقایسه شده‌اند. در مدل اول فرض بر این است که نگهداری و تعمیرات در مدل وارد نشده است و در هر دوره هزینه و زمان خرابی (زمان خرابی در این جا درصدی از ظرفیت در دسترس می‌باشد) داریم که باید لحاظ گردد. به همین منظور متغیر تصمیم نگهداری و تعمیرات (PM_t) را در همه دوره‌های مدل پیشنهادی صفر در نظر می‌گیریم، که با اعمال این تغییر در مدل ارائه شده در بخش ۲ مدل پیشنهادی به مدل پیش از اضافه نمودن نگهداری و تعمیرات تبدیل می‌گردد. در واقع در این تغییر در هیچ دوره‌ای نگهداری و تعمیرات انجام نمی‌شود. تنها تفاوت مدل بدون وارد نمودن نگهداری و تعمیرات با مدل نگهداری و تعمیرات دار، در محدودیت‌های شماره (۱۳) و (۱۴) و در تابع هدف می‌باشد. به‌منظور انجام مقایسه، هر دو مدل با مثال عددی ارائه شده توسط مسعود و هوانگ ([۱۳]) و بیکاسلاگو ([۶]) حل شده است. داده‌های مورد استفاده در جداول ۲ تا ۷ و نتایج حل آن در جداول ۸ و۹ آمده است لازم به ذکر است که هر دو مدل با کمک نرم‌افزار Gams.22 حل شده‌اند.

نتیجه نهایی متغیر نگهداری و تعمیرات مربوط به حل مدل پیشنهادی با داده‌های جداول بالا در جدول ۸ آمده‌اند. همانطور که در جدول ۸ آمده است با اضافه نمودن نگهداری و تعمیرات به مدل و حل آن با نرم افزار، متغیر نگهداری و تعمیرات برای دوره‌های ۱،۲،۴،۶ و ۷ مقدار یک به خود گرفته و در این دوره‌ها نگهداری و تعمیرات انجام می‌شود. با این کار هزینه کل سیستم به‌اندازه ۱۷ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۹).

جدول ۲. داده‌های مربوط به محصولات

	$w1_i$	e_i	$U1_i$	U_i	$C9_i$	$C8_i$	$C5_i$	$C2_i$	$C1_i$
محصول۱	۰.۵	۱.۵	۲	۲	۷۰	۴۰	۷۴	۱۵	۱۵
محصول۲	۰.۵	۲	۳	۳	۱۰۰	۶۰	۱۰۰	۲۰	۲۰

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

جدول ۳. داده‌های مربوط دوره‌های مختلف

	دوره۱	دوره۲	دوره۳	دوره۴	دوره۵	دوره۶	دوره۷	دوره۸
$C3_t$	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴
$C4_t$	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
$C7_t$	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
$C6_t$	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰
$C10_t$	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
$C11_t$	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
a_t	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳
$b1_t$	۰.۵	۰.۶	۰.۵	۰.۶	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۶
MT_t	۱۵۰۰	۶۰۰۰	۳۰۰۰	۲۵۰۰	۴۷۰۰	۲۴۰۰	۲۵۵۰	۱۶۰۰
M_t	۳۲۰۰۰	۲۸۴۰۰	۲۹۶۰۰	۲۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۳۳۶۰۰	۲۹۶۰۰	۲۶۴۰۰
$I\max_t$	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
$W\max_t$	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۴۵۰۰	۴۰۰۰

جدول ۴. حد بالای قرارداد جانبی مجاز

$SC\max_{it}$	دوره۱	دوره۲	دوره۳	دوره۴	دوره۵	دوره۶	دوره۷	دوره۸
محصول۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰
محصول۲	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰

جدول ۵. حداقل تقاضای قابل پیش‌بینی از روی داده های پیشین

Smi_{it}	دوره۱	دوره۲	دوره۳	دوره۴	دوره۵	دوره۶	دوره۷	دوره۸
محصول۱	۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۹۰۰۰	۴۵۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
محصول۲	۳۰۰۰	۸۰۰۰	۷۰۰۰	۲۰۰۰	۶۰۰۰	۱۵۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰

جدول ۶. تقاضای پیش‌بینی شده

d_{it}	دوره۱	دوره۲	دوره۳	دوره۴	دوره۵	دوره۶	دوره۷	دوره۸
محصول۱	۸۰۰۰	۱۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	۹۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۲۰۰۰	۶۰۰۰	۸۰۰۰
محصول۲	۴۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱۱۰۰۰	۴۰۰۰	۹۰۰۰	۳۵۰۰	۸۰۰۰	۱۱۰۰۰

جدول ۷. مقادیر ثابت مدل و شرایط اولیه مساله

پارامتر	k	W_0	B_{20}	Inv_{20}	B_{10}	Inv_{10}	g
مقدار	۰.۱	۳۵۰۰	۰	۵۰۰	۰	۵۰۰	۱۶۰

جدول۸. مقادیر متغیر نگهداری و تعمیرات در مدل پیشنهادی این مقاله

	دوره۱	دوره۲	دوره۳	دوره۴	دوره۵	دوره۶	دوره۷	دوره۸
PM_t	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰

جدول۹. مقایسه نتایج حل دو مدل

مقدار تابع هدف در مدل بدون اضافه نمودن نگهداری و تعمیرات	۷۴۶۶۹۱۴
مقدار تابع هدف در مدل با اضافه نمودن نگهداری و تعمیرات	۶۱۹۷۴۱۲
میزان کاهش در هزیه کل	٪۱۷

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

۴. نتیجه گیری

با توجه به اهمیت در دسترس بودن سیستم تولیدی و تاثیر برنامه نگهداری و تعمیرات در برنامه تولیدی، در این مقاله مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید ادغامی با در نظر گرفتن زمان و هزینه نگهداری و تعمیرات ارائه شده‌است.

در مدل پیشنهادی هزینه خرابی و هزینه نگهداری و تعمیرات به تابع هدف اضافه شده‌است و در صورت انجام نگهداری و تعمیرات در هر دوره هزینه آن به مدل اعمال شده و زمان مورد نیاز عملیات هم از زمان در دسترس بودن ماشین‌آلات کسر می‌شود و در صورتی که نگهداری و تعمیرات در هر دوره انجام نشود در دوره بعدی هم زمان و هم هزینه خرابی ناشی از عدم انجام عملیات نگهداری و تعمیرات به مدل تحمیل می‌شود. در تابع هدف این مدل دو تابع هدف در نظر گرفته شده توسط مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی و نگهداری و تعمیرات با هم درنظر گرفته شده‌اند، که در تابع هدف این مدل مجموع هزینه کل تولید و هزینه نگهداری و تعمیرات حداقل می‌شوند. در این مدل برنامه تولید و برنامه نگهداری و تعمیرات بهینه به صورت همزمان و یکپارچه بدست می‌آیند.

در انتها نیز به کمک یک مثال عددی اثرات وارد نمودن ملاحظات نگهداری و تعمیرات در کاهش هزینه کل تولید نشان داده و تحلیل شده‌است. در همین راستا برای تحقیقات آتی، اضافه نمودن ملاحظات نگهداری و تعمیرات به صورت توسعه‌یافته تر (از آنچه در این مدل آمده است) در مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی، در نظر گرفتن چندین محل تولید و چندین بازار فروش برای محصولات و همچنین حل مدل در ابعاد بزرگتر به کمک الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهاد می‌شوند.

مراجع

[۱] حجی. علی رضا، محمد رحیمی. علی رضا، بکارگیری برنامه ریزی خطی چند هدفه فازی در برنامه ریزی تولید ادغامی، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، ۱۳۸۷.

[۲] شکوهی، امیرحسین، شهریاری، حمید، "رویکرد بهینه سازی استوار در تخصیص منابع در سیستم های نگهداری و تعمیرات"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۱، جلد ۲۱، ۱۳۸۹، صفحات ۲۵-۳۳.

[3] Hax, A.C., Candea, D., *"Production and Inventory Management*", Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.

[4] Hax, A.C., "*Aggregate Production Planning*", in: J. Models and S. Elmaghraby (eds.), Handbook of Operation Research, New York: Van Nostrand Reinhold, 1978.

[5] Buffa, E.S., Taubert, W.H., "*Production-Inventory Systems: Planning and Control*", Homewood, Illinois: Irwin, 1972.

[6] Mula, J., Poler, R., Garcı´a-Sabater, J.P., Lario, F.C., *"Models for Production Planning under Uncertainty: A Review*", International Journal of Production Economics, Vol. 103, 2006, pp. 271–285.

[7] Shi, Y., Haase, C., "*Optimal Trade-offs of Aggregate Production Planning with Multi-Objective and Multi-Capacity-Demand Levels*", International Journal of Operations and Quantitative Management, Vol. 2, 1996, pp. 127–143.

[8] Baykasoglu, A., *"MOAPPS 1.0: Aggregate Production Planning using the Multiple Objective Tabu Search*", International Journal of Production Research, Vol. 39, 2001, pp. 3685-3702.

[9] Holt, C.C., Modigliani, F., Simon, H.A., *"A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling"*, Management Science, Vol. 2, 1955, pp. 1-30.

[10] Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J.F., *"Derivation of a Linear Decision Rule for Production and Employment"*, Management Science, Vol. 2, 1956, pp. 159-177.

[11] Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J.F., Simon, H.A., *"Planning Production Inventories and Work Force*", Prentice- Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1960.

[12] Stevenson, W.J., "*Production /Operation Management*", McGraw-hill, 1982.

[13] Nam, S.J., Logendran, R., *"Aggregate Production Planning – A Survey of Models and Methodologies*", European Journal of Operational Research, Vol. 61, 1992, pp. 255–272.

[14] Mazzola, J.B., Neebe, A.W., & Rump, C.M., "Multiproduct production planning in the presence of work-force Learning", European Journal of Operational Research, Vol. 106, 1998, pp. 336-356.

[15] MASUD, A.S.M., HWANG, C.L., *"An Aggregate Production Planning Model and Application of Three Multiple Objective Decision Methods*". International Journal of Production Research, Vol. 18, 1980, pp. 741-752.

[16] Leung, S.C.H.., Wu, Y., Lai, K.K., *"Multi-Site Aggregate Production Planning with Multiple Objectives: a Goal Programming Approach*", Production Planning & Control, Vol. 14, 2003, pp. 425–436.

[17] Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., *Solving a Generalized Aggregate Production Planning Problem by Genetic Algorithms*, J. of Industrial Engineering - Int., Vol. 2, No. 1, 2006, 53-64.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

[18] Da Silva, C.G., Figueira, J, Lisboa, J., Barman, S., *"An Interactive Decision Support System for an Aggregate Production Planning Model Based on multiple Criteria Mixed Integer Linear Programming*", Omega, Vol. 34, 2006, pp. 167 – 177.

[19] Liang, T.F, "*Applying Fuzzy Goal Programming to Production/Transportation Planning Decisions in a Supply Chain*", International Journal of Systems Science, Volume 38, Issue 4, 2007, pp 293 – 304.

[20] Liang, T.F, *"Fuzzy Multi-Objective Production / Distribution Planning Decisions with Multi-Product and Multi-Time Period in a Supply Chain*", Computers & Industrial Engineering, Vol 55, 2008, pp 676-694.

[21] Wang, R.C, Liang, T.F, *"Application of Fuzzy Multi-Objective Linear Programming to Aggregate Production Planning"*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 46, 2004, pp 17–41.

[22] Leung, S.C.H., Ng, W., "*A Goal Programming Model for Production Planning of Perishable Products with Postponement*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 53, 2007, pp. 531–541.

[23] Leung, S.C.H., Chan, S.S.W., *"A Goal Programming Model for Aggregate Production Planning with Resource Utilization Constraint*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, 2009, pp. 1053–1064.

[24] Mann L. "Maintenance management. Lexington", MA: D.C. Heath and Company, 1976.

[25] Weinstein L. *"Decision Support for the Integration of Maintenance Activities with Front End Production Planning Activities*". Dissertation, University of Kentucky, 1996.

[26] Nakajima S., *"Introduction to TPM"*. Cambridge: Productivity Press, 1988.

[27] Rhyne DM. "*Total Plant Performance Advantages Through Total Production Maintenance*". APICS Conference Proceedings, rpt. APICS Curricula and Certi"cation Council, 1991.

[28] Aghezzaf, E.H., Najid, N.M., "*Integrated Production Planning and Preventive Maintenance in Deteriorating Production Systems*", Information Sciences, Vol. 178, 2008, pp. 3382–3392.

[29] Behnezhad, A.R., Khoshnevis, B., "*The Effects of Manufacturing Progress Function on Machine Requirements and Aggregate Planning Problems*", Vol 26, Issue 2, 1988, pp 309 – 326.

[30] Kogan, K., Portougal, V., *"Multi-Period Aggregate Production Planning in a News-Vendor Framework*", Journal of the Operational Research Society, Vol 57, 2006, pp. 423–433.

[31] Aghezzaf, E.H., Jamali, M.A., Ait-Kadi, D., "*An Integrated Production and Preventive Maintenance Planning Model"*, European Journal of Operational Research, Vol. 181, 2007, pp. 679–685.

[32] Weinstein, L., Chung, C.H., *"Integrating Maintenance and Production Decisions in a Hierarchical Production Planning Environment"*, Computers & Operations Research, Vol. 26, 1999, pp 1059-1074.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-19]