Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 2, 2021 DERLEME

DOI: 10.17482/uumfd.856513

BAKIM FAALİYETLERİNİ DİKKATE ALAN MAKİNE ÇİZELGELEME: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Damla Rana DÜNDAR [*]
İnci SARIÇİÇEK [*]
Ahmet YAZICI [**]

Alınma: 08.01.2021; düzeltme: 13.06.2021; kabul: 24.06.2021

Öz: Üretim ve bakım faaliyetlerinin birlikte çizelgelenmesi konusunda çalışmalar sanayide dijitalleşmenin artması ile son yirmi yılda artış göstermiştir. Üretimde çeşitli sebeplerden kaynaklı duruşlar planlanan üretim çizelgesinde sapmalara neden olmaktadır. Ortaya çıkan etkin olmayan süreler makine ve adam-saat cinsinden israfa yol açmaktadır. Burada özellikle makine arızası sebebiyle ortaya çıkan beklenmeyen duruşlar, etkin olmayan süreyi artırması ile verimliliği önemli ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle, son zamanlarda bakım faaliyetlerinin üretim ile uyumlu yapılması konusunda yapılan çalışmalar artmıştır. Bu çalışmanın amacı, literatürde bakım faaliyetleri ile birlikte makine çizelgelemesi çalışmalarında hangi makine ortamlarında, hangi yöntemlerin kullanıldığı, yapılan çalışmaların hangi dergilerde yayınlandığının analiz edilmesidir. Araştırmacıların çoğunlukla tek makine çizelgeleme konusunda çalıştıkları ve bakım stratejisi olarak en fazla önleyici bakım türünde odaklanıldığı görülmüştür. Son yıllarda kestirimci bakım çalışmaları da başlamış ve yapay zekâ algoritmaları ön plana çıkmıştır. Literatürde çizelgeleme ile ilgili çok fazla çalışma olmasına rağmen üretim ve bakım faaliyetlerinin birlikte ele alındığı çalışmaları derleyen ve analiz eden bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple, çalışmamız mevcut literatürü araştırmacılara sunar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara rehberlik eder niteliktedir. Çalışmanın sonuç ve bulguları, üretim ve bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesini içeren çalışmalarda yardımcı olabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, Bakım Planlaması, Üretim Planlaması

Machine Scheduling with Maintenance Activities: Literature Review

Abstract: Efforts on joint planning of production and maintenance activities have increased in the last two decades. Production breakdowns due to various reasons cause deviations in the planned production schedule. The resulting ineffective times lead to waste in terms of machine and man-hours. Breakdowns caused by machine failure result in inefficient time and significantly reduce efficiency. For this reason, studies on maintenance activities have increased recently. The purpose of this study is to analyze machine scheduling studies together with maintenance activities. While the body of literature in scheduling is vast to the best of our knowledge, there are no papers that address the review of the papers that include the scheduling of production and maintenance activities. For this reason, our study deals with the presentation of the releated papers to researchers and it is a useful guide to the future studies. The results and findings of this study can be helpful in studies related to the scheduling of the production and maintenance activities.

Keywords: Scheduling, Maintenance Planning, Production Planning

[*] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Meşelik Kampüsü, 26480, Eskişehir, Türkiye
[**] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Meşelik Kampüsü, 26480, Eskişehir, Türkiye.
İletişim Yazarı: Damla Rana Dündar (503220190036@ogrenci.ogu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Bir üretim ortamında müşteri taleplerindeki değişkenlik ve beklentilerdeki artış ekipmanların entegrasyonunda ve üretim sürecinde karmaşıklığa sebep olabilmektedir. Tüm bu karmaşıklık durumunda müşteri taleplerine eksiksiz ve zamanında karşılık verebilmek etkin yapılmış bir çizelgeleme ile mümkündür. Çizelgeleme, işletmedeki mevcut kaynakların yapılacak işlere belli bir amaç doğrultusunda atanması ve zamanlanması olarak tanımlanmaktadır. Etkin bir üretim çizelgesi, bir veya birden fazla amaç doğrultusunda işletmedeki makine ve insan gibi kaynakların etkin kullanımını sağlayarak verimliliği arttırmaktadır.

Bakım planlaması, kaynakların üretim çizelgesine uygun olarak çalışmasını sağlayan ve kontrol eden bir fonksiyondur. Üretim sistemi içindeki makinelere yapılan bakım, oluşabilecek arıza durumlarını önceden tespit etmek, oluşan arızaları gidermek açısından önemlidir. Üretim çizelgesinin bakım çizelgesinden bağımsız olarak oluşturulması planlanan çizelge ile gerçekleşen arasında önemli bir fark yaratmakta ve işlerin belirlenen zamanlarda tamamlanmamasına sebep olmaktadır. Bakımın yapılan çizelgelemeye etkin bir şekilde dâhil edilmesi ile üretim süreci aksamayacak ve müşteri taleplerine zamanında karşılık verilebilecektir.

Literatürde üretim planlaması faaliyetlerine ilişkin makine çizelgeleme farklı makine ortamları için çalışılmış olup bu konuda geniş bir çalışma literatürü mevcuttur. Bakım planlaması ile ilgili çalışmalar daha sınırlı olmakla birlikte üretim çizelgesinden bağımsız olması uygulamadaki başarıyı önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sebeple son yıllarda makine çizelgeleme ile bakım çizelgesini birlikte ele alarak üretimin planlanması araştırmacılar tarafından ilgi çeken bir konu haline gelmiştir. Literatürdeki bu tür çalışmaları derleyen ve analiz eden bir çalışma olmaması sebebiyle çalışmamızda mevcut literatürü araştırmacılara sunmak ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar konusunda fikir vermek amaçlanmıştır.

Araştırmadaki bakım ve üretim çizelgesini birlikte ele alan ilk çalışma 1980 yılında iş atölyesi çizelgeleme ve önleyici (periyodik) bakım konusunda Worrall ve Mert (1980) tarafından literatüre kazandırılmıştır. 1980 yılından itibaren günümüze farklı bakım türleri ile üretim sürecindeki farklı makine ortamlarının çizelgelenmesi çalışmaları hızla artarak devam etmiştir. Çalışmalar çizelgeleme açısından tek makine, paralel makine, iş atölyesi, akış atölyesi ve açık atölye çizelgelemeyi içermektedir. Bakım konusunda literatürde önleyici (periyodik) bakım, kestirimci bakım, onarıcı bakım çalışmaları bulunmaktadır.

Çalışmanın giriş bölümünü izleyen kısmında, bakım planlamasının önemine değinilmiştir. Üçüncü bölümde çizelgeleme ve bakım faaliyetleri birlikte ele alınmış, bu konuda yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Dördüncü bölümde incelenen çalışmalar yöntem, dergi, bakım faaliyeti türü gibi farklı açılardan analiz edilmiştir. Son bölümde sonuç ve önerilere değinilmiştir.

2. İŞLETMELERDE BAKIM PLANLAMASI

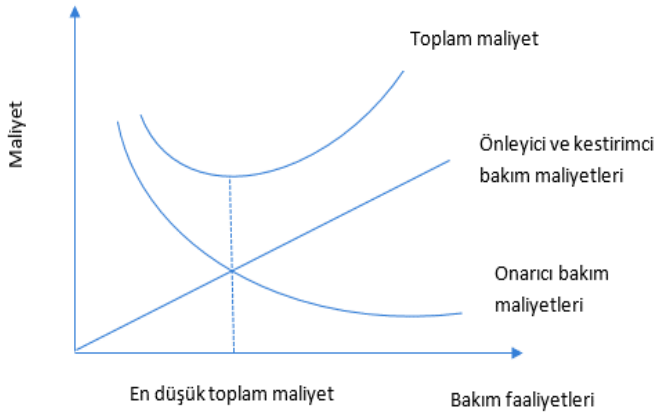
İşletmelerde üretimin sürekliliğinin sağlanması için bakım planlaması önemli rol oynamaktadır. Makine ve teçhizatın istenen kalitede ürünü üretebilmesi ve işlevselliğini sürdürmesi için onarıcı, koruyucu ve kestirimci bakım faaliyetleri yürütülmektedir. Bakım faaliyetlerinin yönetiminde üç yaklaşımdan veya politikadan bahsedilebilir (Köksal, 2017):

Onarıcı Bakım (Acil / Tamir Bakım – Breakdown / Corrective Maintenance-CM): Arıza oluştuktan sonra gerekli bakım faaliyetidir. Makine/ekipman arızadan dolayı bir süre işlevini yitirir. Parça değişikliği, onarım gibi faaliyetlerle sistem tekrar çalışır duruma getirilir.

Önleyici Bakım (Planlı / Bakım - Preventive Maintenance-PM): Literatürde planlı, periyodik ve koruyucu bakım olarak da bilinen önleyici bakım, arıza meydana gelmeden önce belirlenen periyotlarda makine ayarlama, parça yenileme vb. önlem amaçlı yapılan faaliyetleri içermektedir.

Kestirimci Bakım (Uyarıcı – Predictive Maintenance-PdM): Uyarıcı bakım olarak da bilinmektedir. Arıza tespiti ve makine sağlığının izlenmesine dayalı bilgisayar destekli bakımdır. Makinelerden periyodik alınan titreşim ölçümlerinin vb. trend eğrilerinin izlenmesidir.

Gerçek hayatta üretim ortamlarında makine arızaları meydana gelir, arızaların verimlilik üzerindeki kötü etkilerini azaltmak amacı ile önleyici bakım, yedek ekipman ve daha başka politikalar belirlenir. Aynı işletmede ilgili üç bakımın birisi, ikisi veya üçünün birlikte uygulanması söz konusu olabilmektedir. Önleyici bakım, arızaları önlemek amacıyla ekipmanın gözden geçirilmesi ve oluşabilecek arızayı önlemek için gerekli faaliyetleri kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin maliyetleri, arıza oluştuğunda meydana gelecek maliyetlerle (tamir maliyeti, üretimdeki fire oranı vb.) karşılaştırıldığında iki maliyeti başabaş tutmak önemlidir. Şekil 1' e göre belirli bir noktaya kadar tamir bakım maliyetleri, önleyici bakım maliyetlerini karşılayabilmektedir. Ancak belirli bir noktadan sonra tamir maliyeti, önleyici bakım maliyetini geçmekte ve toplam maliyette bir artış görülmektedir. Bu maliyet kalemlerini dikkate alarak toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde bakım faaliyetleri yürütülmelidir.

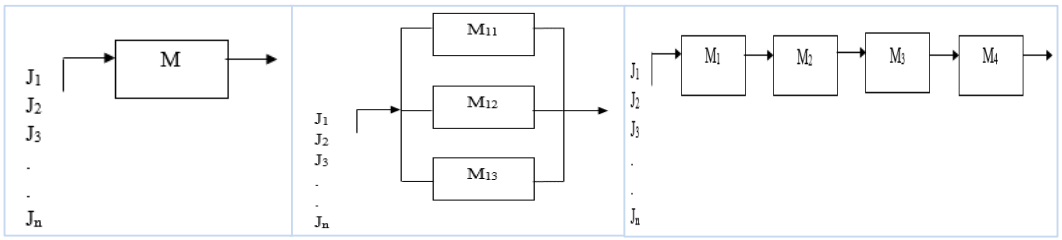


Şekil 1:
Önleyici ve Kestirimci Bakım ile Onarıcı Bakım Arasındaki İlişki

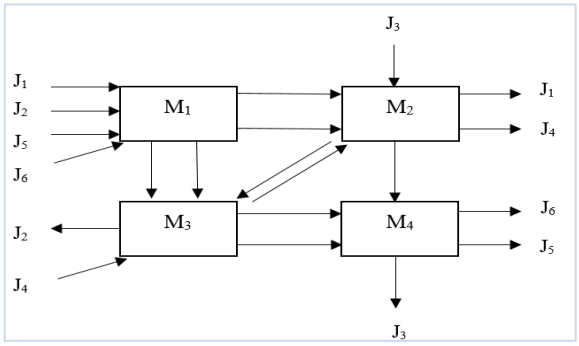
Bakım faaliyetleri, makine, ekipman vb. şirketin sahip olduğu tüm varlıkların kullanılabilirliğinin ve bu durumun sürekliliğinin sağlanması yönünde gerçekleştirilir. Bu nedenle ilgili bakım politikalarını kullanmak, üretim sürecinde oluşacak duruşları ortadan kaldırarak, etkin olmayan süreleri azaltmayı ve oluşacak maliyetleri enaza indirmeyi, ekipman ve işgücü verimliliğini arttırmayı amaçlar.

3. MAKİNE ORTAMLARINA GÖRE ÜRETİM VE BAKIM ÇİZELGELEME

Çizelgeleme, istenilen sürede istenilen çıktıyı elde etmek için yerine getirilmesi gereken eylemlerin seçilmesi ve kaynak-eylem ve zaman kısıtlarını sağlayarak kaynak kullanımının zamanlanması süreci olarak tanımlanabilir. Üretim çizelgeleme ve bakım planlaması, imalat sanayilerinin yaygın olarak karşılaştığı önemli sorunlardandır (Xiao vd., 2016; alıntılayan Liu vd., 2018). Üretim çizelgeleme sorunları genellikle işlerin veya işlemlerin makinelere atanmasını ve sıralanmasını içerirken, bakım işlemleri bir sistemi korumak veya kabul edilebilir bir çalışma durumuna geri yüklemek için gerçekleştirilir (Liu vd., 2018). Literatür incelendiğinde üretim ve bakım faaliyetlerinin birlikte çizelgelendiği beş makine ortamı dikkat çekmektedir. İlgili makine ortamları çizelgeleme problemlerinin $\alpha/\beta/\gamma$ gösteriminde α alanında ifade edilen ortamlar temelinde Şekil 2'de gösterilmiştir. Üçlü gösterimde, α makine ortamını belirtirken, β işleme özellikleri ve kısıtları, γ çizelgeleme probleminde enküçüklenecek amacı ifade etmektedir.



a. Tek makine ortamı b. Paralel makine ortamı c. Akış atölyesi ortamı



d. İş atölyesi ortamı

Şekil 2:
Literatürde Üretim ve Bakım Faaliyetlerinin Birlikte Çizelgelendiği Makine Ortamları

• *Tek makine çizelgeleme problemi (Single machine scheduling problem):* İşlerin tek makinede işlem gördüğü üretim ortamları (Şekil 2-a) için yapılan çizelgelemedir.

• *Paralel makine çizelgeleme problemi (Parallel machine scheduling problem):* İşlerin alternatif olarak işlenebileceği paralel özdeş, farklı hızda veya paralel ilgisiz makinelerin bulunduğu üretim ortamları (Şekil 2-b) için yapılan çizelgelemedir.

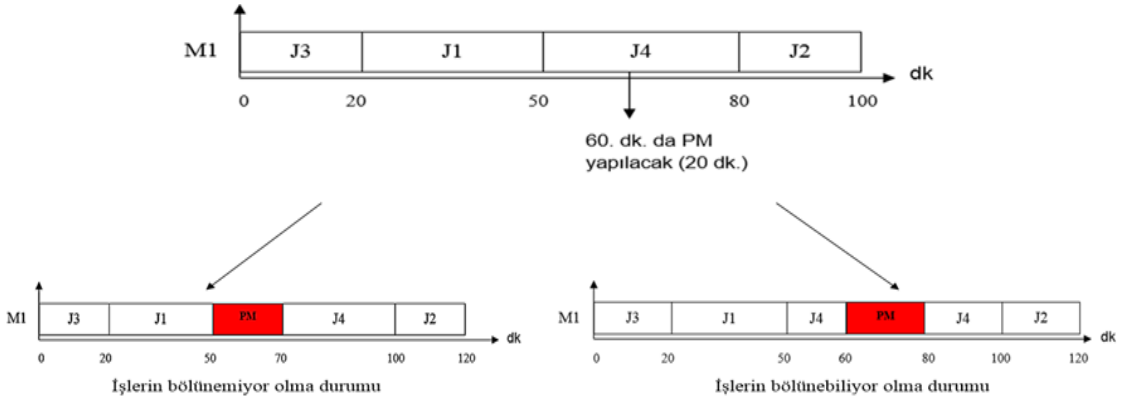
• *Akış atölyesi çizelgeleme problemi (Flow shop scheduling problem):* İşlerin aynı sıra ile aynı makinelerde işlem gördüğü üretim ortamları (Şekil 2-c) için yapılan çizelgelemedir.

• *İş atölyesi çizelgeleme problemi (Job shop scheduling problem):* İşlerin rotalarının farklı olduğu üretim ortamları (Şekil 2-d) için yapılan çizelgelemedir.

• *Açık atölye çizelgeleme problemi (Open shop scheduling problem):* İşlerin rotasının karar vericinin kararına bırakıldığı iş atölyesi ortamındaki çizelgeleme problemleridir.

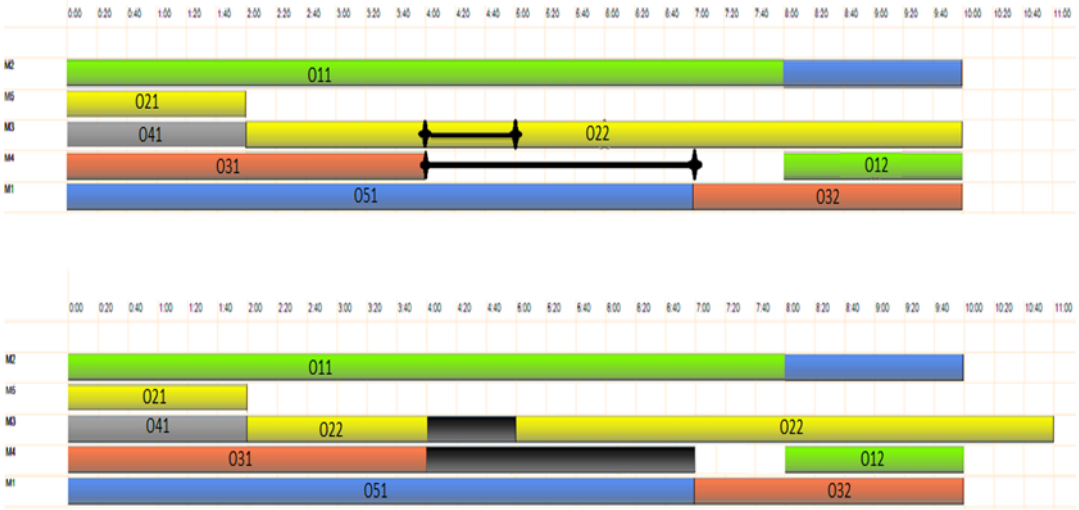
Çizelgeleme ile ilgili mevcut literatürün çoğu, makinelerin her zaman kullanılabilir olduğunu varsaymaktadır. Ancak bakım faaliyetleri ve arızalar nedeniyle makineler kesintisiz çalışamaz. Bu nedenle, çizelgeleme problemleriyle ilgili modeller, bakım kavramını girdilerine entegre etmedikçe gerçekçi olamaz (Elhadaf ve Benmansour, 2013). Üretim sistemi içerisinde çizelgelenecek tezgâhlara yapılan bakım cihazlarda oluşan veya oluşabilecek aksaklık ve arızaların giderilmesi, genel bakımının yapılmasının yanında ileride oluşabilecek arıza durumlarının tespiti ve erken önlem alınarak daha büyük masrafların meydana gelmesini önlemek açısından önemlidir.

Çalışmalarda üretim çizelgeleme ve bakım planlamasının birlikte çizelgelenmesi planlı, kestirimci ve onarıcı bakım türlerine göre planlanan zamanda veya uygun zaman aralığında bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, işlerin bölünebilir olup olmaması vb. durumları gözönüne alınarak gerçekleştirilir. Çalışmaların çoğu planlı bakım faaliyetlerini ele almaktadır ve ele aldıkları duruma göre çizelgeleme işlemini gerçekleştirmektedir. Planlı bakım faaliyetinde işlerin bölünüp-bölünememe durumu Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3:
Planlı Bakımda İşin Bölünemiyor ve Bölünebiliyor Olması Durumu [IOTOPRO]

Üretim ve bakım faaliyetlerinin birlikte çizelgelenmesi işlerin tamamlanma zamanı bilgisini daha gerçekçi elde etmenin yanında üretim ve bakıma bütünsel bakış ile verimlilik artışı sağlaması açısından önemlidir. Şekil 4' te bir otomotiv işletmesi için üretim ve bakım faaliyetlerinin birlikte ele alınarak çizelgelenmesine örnek bir Gantt şeması gösterilmiştir.



Şekil 4:
Üretim ve Bakım Faaliyetlerinin Birlikte Ele Alındığı Örnek Bir Çizelge [IOTOPRO]

Şekil 4' te Makine 3 (M3)' te bölünebilir olan ikinci işin ikinci operasyonunun (O22) çizelgelendiği süre içerisinde kestirimci bakımdan gelen veri doğrultusunda bir bakım faaliyeti planlanmıştır. İş bölünebilir olduğu için planlanan sürede bakımın çizelgelendiği görülmektedir. Çizelgede O22 bakım süresi kadar sağa ötelenmiştir. M4 makinesindeki bakım faaliyeti ise O31' den sonra üretimin olmadığı zaman diliminde gerçekleştirilmek üzere çizelgelenmiştir.

Araştırmadaki çizelgeleme çalışmaları bakım türleri ve çözüm yöntemleri makine ortamlarına göre incelenmiştir. Literatürde makine ortamları olarak tek makine, paralel makine, iş atölyesi, akış atölyesi ve açık atölye çizelgeleme çalışmaları mevcuttur.

3.1. Tek Makine Üretim Ortamı Çalışmaları

Literatürdeki incelenmiş olan makalelerde bakım ve üretim faaliyetlerini birlikte ele alan araştırmacıların büyük bir kısmının tek makine çizelgeleme konusuna odaklandığı görülmektedir

(Tablo 1). Literatürde incelenmiş olan bakım faaliyetlerini dikkate alan tek makine çizelgeleme çalışmaları 1992 yılından günümüze kadar devam etmiştir.

Tablo 1. Araştırmadaki tek makine çizelgeleme ve bakımı konu alan çalışmalar

Yayın Yılı	Yazarlar	Bakım Türü	Önerilen Yöntem
1992	Lee ve Liman	Önleyici	SPT (En Kısa İşlem Süresi) Kuralı
1999	Qi vd.	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Sezgisel Algoritmalar
1999	Graves ve Lee	Önleyici	SPT Kuralı, EDD (En Erken Teslim Zamanı) Kuralı, Sözde Polinom Zaman Dinamik Programlama Algoritmaları
2000	Rabinowitz vd.	Önleyici	Sezgisel Algoritma ve SPT
2000	Sloan ve Shanthikumar	Önleyici	Markov Karar Süreci Modeli
2001	Lee ve Lin	Önleyici	SPT Kuralı, EDD Kuralı
2003	Liao ve Chen	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Sezgisel Algoritma
2003	Cassady ve Kutanoglu	Önleyici	Entegre Model
2005	Sortrakul vd.	Önleyici	Genetik Algoritma
2005	Cassady ve Kutanoglu	Önleyici	Entegre Model, Sezgisel Algoritma
2006a	Chen J.- S.	Önleyici	Karma Tamsayılı Programlama, Sezgisel Algoritma
2006	Chen W.- J.	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Sezgisel Algoritma
2006b	Chen J.- S.	Önleyici	Karma İkili Tamsayı Programlama Modeli
2006	Mosheiov ve Oron	Önleyici	Polinom Çözüm
2007	Chen W.- J.	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Sezgisel Algoritma
2007	Ji vd.	Önleyici	LPT (En Uzun İşlem Süresi) Kuralı
2007	Kuo ve Chang	Önleyici	SPT Kuralı
2008	Sbihi ve Varnier	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Sezgisel Algoritma
2008	Jin vd.	Önleyici	Çok Amaçlı Genetik Algoritma (MOGA-Multi-Objective GA)
2008	Chen J.- S.	Önleyici	İkili Tamsayı Programlama (BIP-Two Mixed Binary Integer Programming) Modeli, Sezgisel Algoritma
2008	Gürel ve Aktürk	Önleyici	Sezgisel Algoritma
2008	Sloan	Önleyici	Markov Karar Süreci Modeli
2009	Batun ve Azizoğlu	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Polinom-zaman Algoritması
2009a	Chen W.- J.	Önleyici	Moore Algoritmasına Dayalı Sezgisel Algoritma, Dal-Sınır Algoritması
2009b	Chen W.- J.	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması, Sezgisel Algoritma
2009	Jin vd.	Önleyici	Genetik Algoritma
2009	Mosheiov ve Sarig	Önleyici	Sözde-polinom Dinamik Programlama Algoritması (Pseudo-polynomial Dynamic Programming Algorithm), Sezgisel Algoritma
2010	Pan vd.	Önleyici	Entegre Model
2010	Low vd.	Önleyici	PSO Algoritması (PSO)
2010	Ghodratnama vd.	Önleyici	Tavlama Benzetimine (SA) Dayalı Meta-sezgisel Algoritma
2010	Hsu vd.	Önleyici	İki Aşamalı İkili Tamsayı Programlama Modeli (Two-stage BIP), En İyi Uyum Algoritmaları (Best-Fit-Decreasing, Best-Fit-Butterfly)
2010	Xu vd.	Önleyici	Polinom-zaman Yaklaşma Algoritması
2011	Pandey vd.	Önleyici	Entegre Model
2011	Xu ve Yin	Önleyici	LS Polinom-zaman Yaklaşma (Polynomial Time Approximation Algorithm) Algoritmaları, LPT Kuralı
2011	Yang vd.	Önleyici	Dinamik Programlama, Dal-sınır Algoritması, SPT Kuralı
2011	Angel-Bello vd.	Önleyici	Meta-sezgisel Algoritmalar
2012	Lee ve Kim	Önleyici	Sezgisel Algoritmalar
2012	Rebai vd.	Önleyici	Doğrusal Programlama, Dal-Sınır Algoritması, Genetik Algoritma
2012	Pacheco vd.	Önleyici	Sezgisel Algoritmalar
2013	Kim ve Ozturkoglu	Önleyici	Genetik Algoritma
2013	Wang	Önleyici	İki Evrimsel Genetik Algoritma
2013	Wang ve Liu	Önleyici	Dal-sınır (B & B) Algoritması
2014	Zammori vd.	Önleyici	Yeni Meta-sezgisel (Uyum arama HS + GA) Algoritma
2014	Benmansour vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Model
2014	Yu vd.	Önleyici	LS+LPT+MLPT Algoritması

Tablo 1. Araştırmadaki tek makine çizelgeleme ve bakımı konu alan çalışmalar (devamı)

Yayın Yılı	Yazarlar	Bakım Türü	Önerilen Yöntem
2015	Chen vd.	Önleyici	Entegre Model
2015	Lu vd.	Önleyici	Genetik Algoritma
2015	Luo vd.	Önleyici	Polinom-zaman Algoritması
2016	Ying vd.	Önleyici	SPT Dayalı Polinom-Zaman Algoritması
2016	Liu vd.	Önleyici	Dal-Sınır Algoritması
2017	Salmasnia ve Mirabadi-Dastjerd	Önleyici	Çok Amaçlı Partikül Sürüsü Optimizasyonu, Baskın Olmayan Ayırma Genetik Algoritması (NSGA-II)
2017	Cui ve Lu	Önleyici	Karma Tamsayılı Programlama (MIP) Modeli, En Erken Salıverme Tarihi (ERD), Sezgisel Algoritma (ERD+LPT), Dal-Sınır Algoritması
2017	Zou ve Yuan	Önleyici	Dinamik Programlama (DP) Algoritması
2018	Wang vd.	Önleyici	Dal-fiyat (BP) Algoritması
2018	Pacheco vd.	Önleyici	Değişken Komşuluk Arama (VNS-Variable Neighborhood Search) Sezgiseli
2018	Shen ve Zhu	Önleyici	Liste Çizelgeleme (LS-List scheduling) Algoritması, LPT Kuralı
2018	Liu vd.	Kestirimci	Entegre Model
2018	Chung vd.	Önleyici	Sezgisel Algoritma
2019	Qamhan vd.	Önleyici	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli, Evrimsel Ayrık Ateş Böceği Algoritması (EDFA)
2019	Detti vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP), LS1, LS2 Sezgisel Algoritmaları
2019	Krim vd.	Önleyici	GVNS (Genel Değişken Komşuluk Araması)
2019	Krim vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, Sezgisel Algoritmalar
2019	Huang vd.	Önleyici	Matematiksel Model, Genetik Algoritma
2019	Huang vd.	Önleyici	WSPT (Ağırlıklı En Kısa İşlem Süresi), LA (Look-Ahead) Kuralları, Karma Tamsayılı Programlama, Dal-Sınır Algoritması
2020	Chen vd.	Önleyici	Genetik Algoritma
2020	Shen ve Zhu	Önleyici	LSPT Kuralı, Genetik Algoritma (GA-M)
2020	Xu vd.	Önleyici	Kesin Çözüm Yöntemleri, Sezgisel Algoritmalar
2020	Ghaleb vd.	Kestirimci	Karma Tamsayılı Programlama Modeli, Genetik Algoritma
2020	Halim vd.	Önleyici	Genetik Algoritma

Ayrıca çalışmaların çoğunda önleyici bakım faaliyetleri dikkate alınmıştır. Araştırmacılar 2005' li yıllara kadar çoğunlukla matematiksel modeller ile çözüm ararken sonraki yıllarda sezgisel ve meta-sezgisel algoritmaların kullanımının arttığı görülmektedir. Metasezgisel algoritmalar eniyi çözümü garanti etmeyen ancak makul sürede iyi sonuçlar veren yapay zekâ optimizasyon algoritmalarıdır.

Çalışmalar ele alınan bakım türleri açısından incelendiğinde en çok önleyici (koruyucu, planlı, periyodik) bakımın çalışıldığı görülmektedir. Araştırmacılar (Liu vd., 2018; Ghaleb vd., 2020) kestirimci bakım konusunu da ele almıştır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında bakım konusunu içeren tek makine çizelgeleme problemlerinin en büyük tamamlanma zamanının, ağırlıklı tamamamlanma zamanının, toplam akış süresinin, geciken iş sayısının, bakım ve gecikme maliyetleri gibi maliyetlerin enküçüklenmesi gibi amaç fonksiyonlarından enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesi amacını ele alanların daha fazla sayıda gerçekleştirildiği görülmüştür. Maliyeti konuya dahil eden araştırmacıların (Pandey vd., 2011; Rebai vd., 2012; Benmansour vd., 2014; Chen vd., 2015; Salmasnia ve Mirabadi-Dastjerd, 2017; Ghaleb vd., 2020) sayısı göreceli olarak azdır.

3.2. Akış Atölyesi Üretim Ortamı Çalışmaları

Tüm işlerin aynı makine sırasını izlediği üretim ortamları için yapılan çizelgelemedir. Akış atölyesi çizelgeleme ile bakımı birlikte ele alan çalışmalarda sezgisel/meta-sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Araştırmacıların çoğunun önleyici bakım türünde çalışmalar gerçekleştirdiği görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Akış atölyesi çizelgeleme ve bakımı konu alan çalışmalar

Yayın Yılı	Yazarlar	Bakım Türü	Önerilen Yöntem
2006	Kubzin ve Strusevich	Önleyici	3/2-Yaklaşım Algoritması
2007	Ruiz vd.	Önleyici	Karınca Kolonisi Algoritması, Genetik Algoritmalar
2008	Yang vd.	Önleyici	Sezgisel Algoritma
2008	Allaoui vd.	Önleyici	Sahte-polinomik Dinamik Programlama, H1, H2 Sezgselleri
2009a	Naderi vd.	Önleyici	Değişken Komşuluk Araması (VNS) Metasezgiseli
2010	Choi vd.	Önleyici	3/2-Yaklaşım Algoritması
2010	Safari vd.	Önleyici	Hibrid Algoritma (Tavlama + Yasaklı Arama Algoritmaları)
2011	Naderi vd.	Önleyici	Genetik Algoritma, Yapay Bağışıklık Sistemi Meta-sezgiseli
2011	Luo vd.	Önleyici	Genetik Algoritma
2013	Nouri vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli, Hibrid Meta-sezgisel Algoritma (Tavlama Benzetimi + Ateşböceği Alg.)
2014	Khamseh vd.	Önleyici	Tavlama Benzetimi (SA) ve Genetik Algoritma (GA)
2016	Yu ve Seif	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama, Düşük Bağlı Genetik Algoritma (LBGA)
2016	Wang ve Liu	Önleyici	Genetik Algoritma
2016	Seidgar vd.	Önleyici	İki-amaçlı Karma Tamsayılı Programlama Modeli, Çok Amaçlı Emperyalist Rekabetçi Algoritma (Multi-objective imperialist competitive algorithm) ve NRGA (Non-Dominated Ranking GA)
2017	Zandieh vd.	Önleyici	Melezleştirilmiş NSGA-II
2017	Khatami ve Zegordi	Önleyici	Karınca Kolonisi Sistemi Algoritması, Entegre Model
2018	Mosheiov vd.	Önleyici	2/2-Yaklaşım Algoritması
2018	Benbouzid-Si vd.	Önleyici	Oyun Teorisi Yaklaşımı
2018	Cui vd.	Önleyici, Onarıcı	Model, İki Döngülü Algoritma
2018	Rooeinfar vd.	Önleyici	HSIM-META (Genetik Algoritma (GA) + Tavlama Benzetimi (SA) Algoritması + Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO))
2018	Feng vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli, GA
2018	Miyata vd.	Önleyici	LSH Sezgiseli
2019	Zahedi vd.	Önleyici, Onarıcı	SITM Algoritması
2019	Krimi vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Programlama (MIP), VNS
2019	Miyata vd.	Önleyici	MILP, Sezgisel Algoritmalar
2020	Boufellouh vd.	Önleyici	NSGA-II, Parçacık Sürü Optimizasyonunun (BOPSO) İki Amaçlı Uyarlaması

Çalışmalarda amaç fonksiyonu olarak en çok çalışılan enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir. Bakım maliyetlerinin azaltılması, gecikmenin enküçüklenmesi, kullanılamayan sürenin azalması, kullanılabilirliğin arttırılması kullanılan diğer amaç fonksiyonlarıdır.

3.3. Paralel Makine Üretim Ortamı Çalışmaları

Çok makineli üretim ortamlarında aynı işi yapabilen birden fazla makinenin bulunduğu üretim ortamıdır. Bu makineler özdeş, farklı hızda veya ilgisiz olabilir. *Paralel özdeş (identical) makine (P_m):* m tane özdeş makinenin bulunduğu ortamdır. *Paralel farklı hızda makine (Q_m):* m tane aynı işi yapabilen farklı hızda makine vardır. *Paralel ilgisiz (unrelated) makine (R_m):* m tane aynı işi yapan fakat ilgisiz (farklı tipte) makinenin (torna ve freze gibi) bulunduğu makine ortamıdır.

Literatürde araştırmacıların bakım ile birlikte odaklandığı bir diğer konu paralel makine çizelgelemedir (Tablo 3). Çalışmalarda önleyici bakım faaliyetlerine odaklanılmıştır. Araştırmacıların çoğu çözüm yaklaşımı olarak sezgisel/meta-sezgisel algoritmalar kullanmıştır. Paralel makine çizelgeleme ve bakım konusundaki çalışmalarda ilk yıllarda kesin çözüm yöntemi ve sezgisel algoritmaların kullanıldığı görülmektedir. 2009 yılından itibaren çözüm yöntemi olarak metasezgisel algoritmalara odaklanılmıştır.

Tablo 3. Paralel makine çizelgeleme ve bakımı konu alan çalışmalar

Yayın Yılı	Yazarlar	Bakım Türü	Önerilen Yöntem
1996	Brandolese vd.	Önleyici	Sezgisel Algoritma
2000	Lee ve Chen	Önleyici	Dal-sınır Algoritması, DP Algoritması
2006	Chen J.S.	Önleyici	Karma İkili Tamsayı Programlama Modeli
2008	Xu vd.	Önleyici	BFD-LPT Yaklaşımı Algoritması
2008	Lee ve Wu	Önleyici	Alt Sınır Yöntemi ve Sezgisel Algoritma
2009	Berrichi vd.	Önleyici	Evrimsel Genetik Algoritma (EGA)
2009	Levin vd.	Önleyici	Sözde-polinom Dinamik Programlama Algoritması, Alt Sınır Yöntemi, Sezgisel Algoritma
2010	Xu vd.	Önleyici	Yaklaşım Algoritması
2012	Mokhtari vd.	Önleyici	Popülasyon Tabanlı Değişken Komşuluk Arama (PVNS) Algoritması
2014	Mirabedini ve Iranmanesh	Önleyici	Dinamik Bir Genetik Algoritma (GA)
2015	Lee vd.	Önleyici	Dal-sınır Algoritması, Hibrid Genetik Algoritma
2015	Wang ve Liu	Önleyici	NSGA-II Adaptasyonlu Çok Amaçlı Entegre Optimizasyon Yöntem
2016	Yoo ve Lee	Önleyici	Dinamik Programlama (DP) Algoritması
2016	Costa vd.	Önleyici	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli, Hibrid Meta-sezgisel Algoritma (Genetik Algoritma + Yerel Arama)
2017	Ruiz-Torres vd.	Önleyici	Sezgisel Algoritmalar
2017	Liao vd.	Önleyici	NSGA-II Algoritması
2018	Avalos-Rosales vd.	Önleyici	Matematiksel Formülasyon, Metasezgisel Algoritma
2018	Shen ve Zhu	Önleyici	LPT Kuralı
2019	Yang vd.	Önleyici	Polinom-zaman Algoritması
2020	Zhang vd.	Önleyici	Sözde Polinom-zaman Algoritmaları

Çalışmalarda kullanılan amaç fonksiyonlarını enbüyük tamamlanma zamanının, bakım maliyetlerinin ve bakım yönlü kullanılamaz zamanın enküçüklenmesi olarak üç başlıkta toplamak mümkündür. En fazla sayıda çalışılan amaç fonksiyonu ise enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir.

İncelenen makalelerde bakım faaliyetlerini içeren paralel makine çizelgeleme konusundaki çalışmalar 1996 yılından günümüze kadar devam etmiştir.

3.4. İş Atölyesi Üretim Ortamı Çalışmaları

İşlerin rotalarının farklı olduğu atölye ortamları için yapılan çizelgelemedir. Paralel makineler ile iş atölyesi ortamının entegre şekline esnek iş atölyesi denilmektedir. İş atölyesi üretim ortamı çizelgeleme konusunda yapılan çalışmalarda kestirimci bakım çalışması (Paprocka, 2018) haricinde tüm yazarlar önleyici bakım konusunda çalışmıştır (Tablo 4). Tüm araştırmacılar amaç fonksiyonu olarak enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesini ele almıştır.

Araştırmadaki bakım faaliyetlerinin dâhil edildiği iş atölyesi çizelgeleme çalışmalarının 1980 yılından 2018 yılına kadar devam ettiği görülmektedir. Çalışmaların gerçekleştiği ilk iki yıl (Worrall ve Mert, 1980; Banerjee ve Burton, 1990) karar kuralları çözüm yöntemi olarak kullanılırken daha sonraki yıllarda sezgisel, metasezgisel çözüm yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 4. İş atölyesi çizelgeleme ve bakımı konu alan çalışmalar

Yayın Yılı	Yazarlar	Bakım Türü	Önerilen Yöntem
1980	Worrall ve Mert	Önleyici	Dinamik Çizelgeleme Kuralları
1990	Banerjee ve Burton	Önleyici	Karar Kuralları
2006	Gao vd.	Önleyici	Hibrit GA
2009b	Naderi vd.	Önleyici	Tavlama Benzetimi ve Genetik Algoritmaya Dayalı Meta-sezgisel
2010	Wang ve Yu	Önleyici	Filtrelenmiş Işın Araştırması (Filtered Beam Search) Tabanlı Sezgisel Algoritma
2011	Lei	Önleyici	Sürüye Dayalı Komşuluk Arama (SNS-Swarm-based Neighborhood Search)
2011	Moradi vd.	Önleyici	Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi
2011	Ben Ali vd.	Önleyici	Çok Amaçlı Genetik Algoritma (Multi-objective Genetic Algorithm)
2012	Li ve Pan	Önleyici	Ayrık Kimyasal Reaksiyon Optimizasyon (DCRO) Algoritması
2012	Dalfard ve Mohammadi	Önleyici	Matematiksel Model, Hibrid Algoritma (Tavlama Benzetimi Algoritması + Genetik Algoritma)
2013	Li ve Pan	Önleyici	Hibrid Kimyasal Reaksiyon Optimizasyonu (HCRO) Algoritması (Hybridchemical-Reaction Optimization)
2013	Lei	Önleyici	Çok Amaçlı Yapay Arı Kolonisi Algoritması (MOABC-Multi-objective Artificial Bee Colony)
2013	Li vd.	Önleyici	Kesikli (Discrete) Yapay Arı Kolonisi
2017	El Khoukhi vd.	Önleyici	Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Program (MINLP), Melez Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) Yaklaşımı Olan İkili Aktivitelere Sahip DAC "Dual-Ants Colony"
2018	Paprocka	Kestirimci	Entegre Model

3.5. Açık Atölye Üretim Ortamı Çalışmaları

Literatürde açık atölye üretim ortamı çizelgeleme ve bakım konusundaki çalışmalarda yazarlar (Kubzin ve Strusevich, 2006; Mosheiov vd., 2018) çözüm yaklaşımı olarak sezgisel / meta-sezgisel algoritmaları kullanmıştır. Yazarların hepsi önleyici bakım türünü ele almıştır.

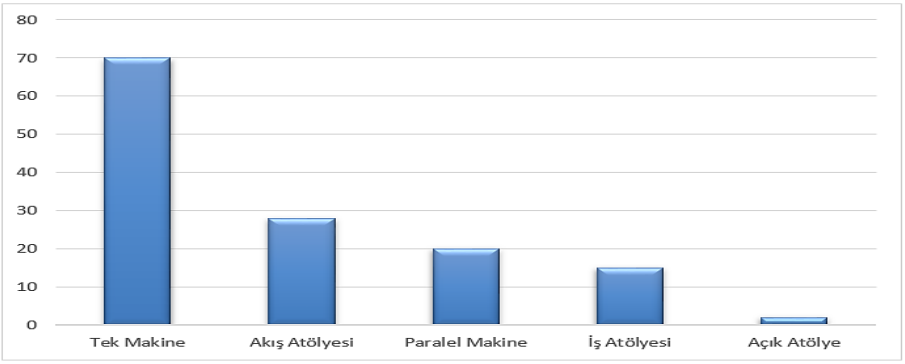
Çalışmalar diğer atölye ortamlarına göre yapılan çalışmalara göre sayıca azdır. 2006, 2018 yıllarında çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Her iki çalışmanın da enbüyük tamamlanma zamanın enküçüklenmesi amaç fonksiyonu doğrultunda çözümü yapılmıştır.

4. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde literatürde incelenen çalışmalar yöntemler, ele alınan bakım türleri, yayınlanan çalışma türü, çalışmaların yayınlandığı dergiler ve yapılan çalışmaların yıllara göre sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmalar, çözüm yöntemi açısından kesin çözüm (en iyi çözüm) veren modeller ve sezgisel-metasezgisel algoritmalar olarak iki başlıkta toplanmıştır. Çalışmaların %29'u Dal-Sınır Algoritması vb. kesin çözüm yöntemlerini kullanılırken %71'i sezgisel/meta-sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda ise yeni bir model/sistem geliştirilmiş ve karar kuralları sunulmuştur.

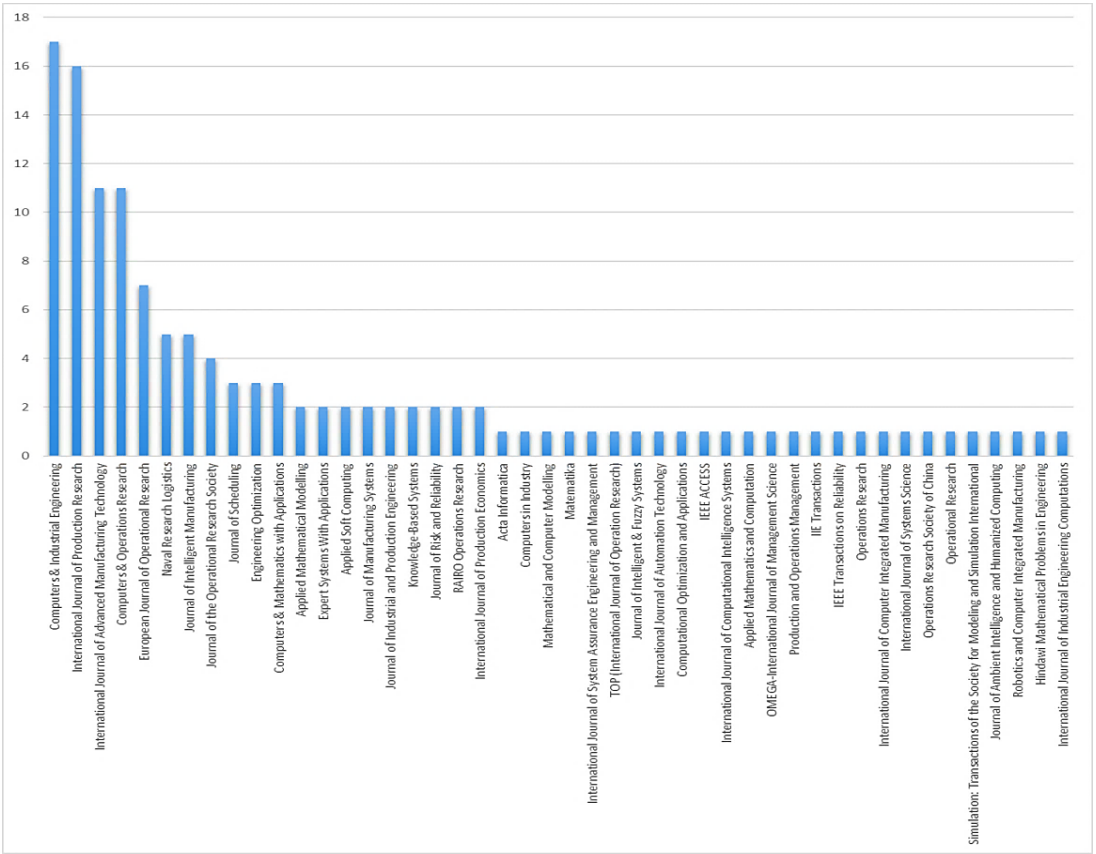
Literatürden elde edilen sonuçlara göre bakım türleri ise onarıcı, önleyici ve kestirimci bakım olarak üç türde ele alınmıştır. Çalışmaların %96'sı önleyici bakım konusunda olup kestirimci bakım ve onarıcı bakımın her biri %2 oranındadır.

Literatür araştırması sonuçlarına göre bakım faaliyetleri içeren tek makine ortamı çizelgeleme konusunun diğer makine ortamlarına göre daha fazla sayıda çalışıldığı görülmektedir. Açık atölye ortamı çizelgeleme çalışmaları literatürde diğer makine ortamlarına göre daha az sayıdadır (Şekil 5).



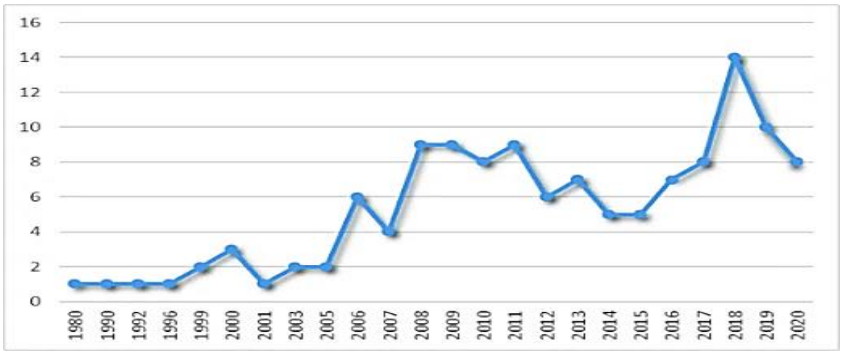
Şekil 5:
Çalışmalardaki Makine Ortamlarına Göre Dağılım

Literatürdeki incelenen çalışmalar dergi bazında incelendiğinde üretim çizelgeleme ve bakım faaliyetlerinin planlaması çalışmalarının en çok Computers & Industrial Engineering dergisinde yayınlandığı görülmektedir. International Journal of Production Research ve International Journal of Advanced Manufacturing Technology çalışmaların yoğun olarak yayınlandığı diğer dergilerdir (Şekil 6).



Şekil 6:
Çalışmaların Dergilere Göre Dağılımı

Üretim çizelgeleme ve bakım planlamasını birlikte ele alan çalışmalar 1980 yılında başlamıştır. Çalışmalar 2005 yılından sonra artış göstermeye başlamıştır (Şekil 7).



Şekil 7:
Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı

Literatürde bu konudaki çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir ve incelenen makaleler sonucunda en çok 2018 yılında çalışma gerçekleştiği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi açısından verimliliği ve karlılığı yüksek tutacak biçimde üretim sürecinin aksamadan ilerleyebilmesi açısından bakım faaliyetleri önemlidir. Son yıllarda üretim ve bakım faaliyetlerini birlikte planlaması konusuna verilen önemin hem sanayi hem akademik çevrede arttığı gözlenmektedir. Çalışmaların ilk yıllarında çözüm yöntemi olarak kesin çözüm yöntemleri ve modellemeler kullanılıyorken son yıllarda sezgisel ve metasezgisel çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Son yıllarda iş atölyesi ve akış atölyesi ortamlarının bakım faaliyetleri ile birlikte çizelgelenmesi konularında çalışmalar artış göstermektedir. İş atölyesi ortamına sahip işletmelerde verimliliğin göreceli olarak düşük olduğu düşünülürse ilgili iş ortamında üretim ve bakım faaliyetlerinin birlikte çizelgelenmesi verimlilik üzerinde oldukça etkili olacaktır. Ayrıca, literatürdeki çalışmalar çoğunlukla üretim çizelgesinin enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesi amaç fonksiyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Bakım ve üretim faaliyetlerinin birlikte çizelgelendiği durumda bakım maliyetlerinin de dikkate alınması gereği açıktır. Literatür incelendiğinde en çok çalışılan bakım türünün önleyici bakım olduğu görülmektedir. Endüstri 4.0 ile birlikte bundan sonraki çalışmalarda hem akademik hem sanayi açısından yapay zekâ uygulamalarında veriye dayalı yöntemlerle çözülebilen kestirimci bakım çalışmalarının önem kazanacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1170452 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından “Otomotiv Endüstrisi için Akıllı Üretim Yönetim Sistemi-IOTOPRO” projesinden desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadır.

YAZAR KATKISI

Bu araştırmada; Damla Rana DÜNDAR, bilimsel yayın araştırması ve makalenin yazım aşamasında, İnci SARIÇİÇEK ve Ahmet YAZICI üretim ve bakım çizelgeleme konusunda ve makalenin yazım aşamasında katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Allaoui, H., Lamouri, S., Artiba, A. ve Aghezzaf, E. (2008) Simultaneously scheduling n jobs and the preventive maintenance on the two-machine flow shop to minimize the makespan, *International Journal of Production Economics*, 112(1), 161–167. doi: 10.1016/j.ijpe.2006.08.017

2. Ángel-Bello, F., Álvarez, A., Pacheco, J. ve Martínez, I. (2011) A heuristic approach for a scheduling problem with periodic maintenance and sequence-dependent setup times, *Computers & Mathematics with Applications*, 61(4), 797–808. doi: 10.1016/j.camwa.2010.12.028

3. Avalos-Rosales, O.,nAngel-Bello, F., Álvarez, A. Ve Cardona-Valdés, Y. (2018) Including preventive maintenance activities in an unrelated parallel machine environment with dependent setup times, *Computers & Industrial Engineering*, 123, 364–377. doi: 10.1016/j.cie.2018.07.006

4. Banerjee, A., ve Burton, J. S. (1990) Equipment utilization based maintenance task scheduling in a job shop, *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), 191–202. doi: 10.1016/0377-2217(90)90184-D

5. Batun, S. ve Azizoğlu, M. (2009) Single machine scheduling with preventive maintenances, *International Journal of Production Research*, 47(7), 1753–1771. doi: 10.1080/00207540701636348

6. Ben Ali, M., Sassi, M., Gossa, M. ve Harrath, Y. (2011) Simultaneous scheduling of production and maintenance tasks in the job shop, *International Journal of Production Research*, 49(13), 3891–3918. doi: 10.1080/00207543.2010.492405

7. Benbouzid-Si Tayeb, F., Benatchba, K. ve Messiaid, A.-E. (2018) Game theory-based integration of scheduling with flexible and periodic maintenance planning in the permutation flowshop sequencing problem, *Operational Research*, 18(1), 221–255. doi:10.1007/s12351-016-0261-x

8. Benmansour, R., Allaoui, H., Artiba, A. ve Hanafi, S. (2014) Minimizing the weighted sum of maximum earliness and maximum tardiness costs on a single machine with periodic preventive maintenance, *Computers & Operations Research*, 47, 106–113. doi: 10.1016/j.cor.2014.02.004

9. Boufellouh, R. ve Belkaid, F. (2020) Bi-objective optimization algorithms for joint production and maintenance scheduling under a global resource constraint: Application to the permutation flow shop problem, *Computers & Operations Research*, 104943. doi: 10.1016/j.cor.2020.104943

10. Brandolese, M., Franci, M. ve Pozzetti, A. (1996) Production and maintenance integrated planning, *International Journal of Production Research*, 34(7), 2059–2075. doi: 10.1080/00207549608905013

11. Cassady, C. R. ve Kutanoglu, E. (2003) Minimizing job tardiness using integrated preventive maintenance planning and production scheduling, *IIE Transactions*, 35(6), 503–513. doi: 10.1080/07408170304416

12. Cassady, C. R. ve Kutanoglu, E. (2005) Integrating preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine, *IEEE Transactions on Reliability*, 54(2), 304–309. doi: 10.1109/TR.2005.845967

13. Chen, J.- S. (2006a) Single-machine scheduling with flexible and periodic maintenance, *Journal of the Operational Research Society*, 57(6), 703–710. doi: 10.1057/palgrave.jors.2602043

14. Chen, J. - S. (2006b) Optimization models for the machine scheduling problem with a single flexible maintenance activity, *Engineering Optimization*, 38(1), 53–71. doi: 10.1080/03052150500270594

15. Chen, J.- S. (2008) Scheduling of nonresumable jobs and flexible maintenance activities on a single machine to minimize makespan, *European Journal of Operational Research*, 190(1), 90–102. doi: 10.1016/j.ejor.2007.06.029

16. Chen, W. J. (2006) Minimizing total flow time in the single-machine scheduling problem with periodic maintenance, *Journal of the Operational Research Society*, 57(4), 410–415. doi: 10.1057/palgrave.jors.2601998

17. Chen, W. - J. (2007) An efficient algorithm for scheduling jobs on a machine with periodic maintenance, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(11-12), 1173–1182. doi: 10.1007/s00170-006-0689-x

18. Chen, W.- J. (2009a) Minimizing number of tardy jobs on a single machine subject to periodic maintenance, *Omega*, 37(3), 591–599. doi: 10.1016/j.omega.2008.01.001

19. Chen, W.- J. (2009b) Scheduling with dependent setups and maintenance in a textile company, *Computers & Industrial Engineering*, 57(3), 867–873. doi: 10.1016/j.cie.2009.03.001

20. Chen, X., Xiao, L. ve Zhang, X. (2015) A production scheduling problem considering random failure and imperfect preventive maintenance, *Journal of Risk and Reliability*, 229(1), 26–35. doi: 10.1177/1748006X14545834

21. Choi, B.- C., Lee, K., Leung, J. Y.- T. ve Pinedo, M. L. (2010) Flow shops with machine maintenance: Ordered and proportionate cases, *European Journal of Operational Research*, 207(1), 97–104. doi: 10.1016/j.ejor.2010.04.018

22. Costa, A., Cappadonna, F. A. ve Fichera, S. (2016) Total tardiness minimization in a parallel machine system with flexible periodic maintenance, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(7), 485–494. doi: 10.1080/21681015.2015.1136898

23. Cui, W.- W. ve Lu, Z. (2017) Minimizing the makespan on a single machine with flexible maintenances and jobs' release dates, *Computers & Operations Research*, 80, 11–22. doi: 10.1016/j.cor.2016.11.008

24. Cui, W., Lu, Z., Li ve Han, X. (2018) A proactive approach to solve integrated production scheduling and maintenance planning problem in flow shops, *Computers & Industrial Engineering*, 115, 342–353. doi: 10.1016/j.cie.2017.11.020

25. Dalfard, V. M. ve Mohammadi, G. (2012) Two meta-heuristic algorithms for solving multi-objective flexible job-shop scheduling with parallel machine and maintenance constraints, *Computers & Mathematics with Applications*, 64(6), 2111–2117. doi: 10.1016/j.camwa.2012.04.007

26. Elhadaf, H., Tkiouat, M., Benmansour, R., Artiba, A. (2013) A joint maintenance and production strategy to minimize the makespan, *Proceedıngs of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management* (IEEE-IESM 2013).

27. El Khoukhi, F., Boukachour, J. ve El Hilali Alaoui, A. (2017) The Dual-Ants Colony: A novel hybrid approach for the flexible job shop scheduling problem with preventive maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 106, 236–255. doi: 10.1016/j.cie.2016.10.019

28. Feng, H., Tan, C., Xia, T., Pan, E. ve Xi, L. (2018) Joint optimization of preventive maintenance and flexible flowshop sequence-dependent group scheduling considering multiple setups, *Engineering Optimization*, 1–18. doi: 10.1080/0305215X.2018.1540696

29. Gao, J., Gen, M. ve Sun, L. (2006) Scheduling jobs and maintenances in flexible job shop with a hybrid genetic algorithm, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(4), 493–507. doi: 10.1007/s10845-005-0021-x

30. Ghaleb, M., Taghipour, S., Sharifi, M. ve Zolfagharinia, H. (2020) Integrated production and maintenance scheduling in a single degrading machine with deterioration-based failures, *Computers & Industrial Engineering*, 106432. doi: 10.1016/j.cie.2020.106432

31. Ghodratnama, A., Rabbani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. ve Baboli, A. (2010) Solving a single-machine scheduling problem with maintenance, job deterioration and learning effect by simulated annealing, *Journal of Manufacturing Systems*, 29(1), 1–9. doi: 10.1016/j.jmsy.2010.06.004

32. Graves, G. H. ve Lee, C. Y. (1999) Scheduling maintenance and semiresumable jobs on a single machine, *Naval Research Logistics*, 46(7), 845-863.

33. Gürel, S. ve Aktürk, M. – S. (2008) Scheduling preventive maintenance on a single CNC machine, *International Journal of Production Research*, 46(24), 6797–6821. doi: 10.1080/00207540701487833

34. Hsu, C.- J., Low, C. ve Su, C.- T. (2010) A single-machine scheduling problem with maintenance activities to minimize makespan, *Applied Mathematics and Computation*, 215(11), 3929–3935. doi: 10.1016/j.amc.2009.11.040

35. Ji, M., He, Y. ve Cheng, T. C. E. (2007) Single-machine scheduling with periodic maintenance to minimize makespan, *Computers & Operations Research*, 34(6), 1764–1770. doi: 10.1016/j.cor.2005.05.034

36. Jin, YL., Jiang, Z.H. ve Hou, W.R. (2008) Multi-objective integrated optimization research on preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9-10), 954–964. doi: 10.1007/s00170-007-1268-5

37. Jin, Y.- L., Jiang, Z.- H. ve Hou, W.- R. (2009) Integrating flexible-interval preventive maintenance planning with production scheduling, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(12), 1089–1101. doi: 10.1080/09511920903207449

38. Halim, N. N. A., Shariff, S. R. ve Zahari, S. M. (2020) Single-machine integrated production preventive maintenance scheduling: A simheuristic approach, *Matematika*, 36(2), 113-126. doi: 10.11113/matematika.v36.n2.1168

39. Khamseh, A., Jolai, F. ve Babaei, M. (2014) Integrating sequence-dependent group scheduling problem and preventive maintenance in flexible flow shops, *The Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4), 173–185. doi: 10.1007/s00170-014-6429-8

40. Khatami, M. ve Zegordi, S. H. (2017) Coordinative production and maintenance scheduling problem with flexible maintenance time intervals, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(4), 857–867. doi: 10.1007/s10845-014-1001-9

41. Kim, B. S. ve Öztürkoğlu, Y. (2013) Scheduling a single machine with multiple preventive maintenance activities and position-based deteriorations using genetic algorithms, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5-8), 1127–1137. doi: 10.1007/s00170-012-4553-x

42. Krimi, I., Benmansour, R., Hanafi, S. ve Elhachemi, N. (2019) Two-machine flow shop with synchronized periodic maintenance, *RAIRO- Operations Research*, 53(1), 351–365. doi: 10.1051/ro/2018062

43. Köksal, M. (2017) *Bakım Planlaması*, Ankara: Seçkin Yayıncılık.

44. Kubzin, M. A. ve Strusevich, V. A. (2006) Planning machine maintenance in two-machine shop scheduling, *Operations Research*, 54(4), 789–800. doi: 10.1287/opre.1060.0301

45. Kuo, Y. ve Chang, Z.- A. (2007) Integrated production scheduling and preventive maintenance planning for a single machine under a cumulative damage failure process, *Naval Research Logistics*, 54(6), 602–614. doi: 10.1002/nav.20232

46. Lee, C.- Y. ve Chen, Z. - L. (2000) Scheduling jobs and maintenance activities on parallel machines, *Naval Research Logistics*, 47(2), 145–165.

47. Lee, J. - Y. ve Kim, Y. - D. (2012) Minimizing the number of tardy jobs in a single-machine scheduling problem with periodic maintenance, *Computers & Operations Research*, 39(9), 2196–2205. doi: 10.1016/j.cor.2011.11.002

48. Lee, C.- Y. ve Liman, S. D. (1992) Single machine flow-time scheduling with scheduled mainteance, *Acta Informatica*, 29(4), 375–382. doi: 10.1007/BF01178778

49. Lee, C.- Y. ve Lin, C.- S. (2001) Single-machine scheduling with maintenance and repair rate-modifying activities, *European Journal of Operational Research*, 135(3), 493–513. doi: 10.1016/S0377-2217(00)00322-2

50. Lee, W.- C., Wang, J.- Y. ve Lee, L.- Y. (2015) A hybrid genetic algorithm for an identical parallel-machine problem with maintenance activity, *Journal of the Operational Research Society*, 66(11), 1906–1918. doi: 10.1057/jors.2015.19

51. Lei, D. (2011) Scheduling fuzzy job shop with preventive maintenance through swarm-based neighborhood search, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(9-12), 1121–1128. doi: 10.1007/s00170-010-2989-4

52. Lei, D. (2013) Multi-objective artificial bee colony for interval job shop scheduling with flexible maintenance, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9-12), 1835–1843. doi: 10.1007/s00170-012-4463-y

53. Li, J. ve Pan, Q. (2012) Chemical-reaction optimization for flexible job-shop scheduling problems with maintenance activity, *Applied Soft Computing*, 12(9), 2896–2912. doi: 10.1016/j.asoc.2012.04.012

54. Li, J. ve Pan, Q. (2013) Chemical-reaction optimization for solving fuzzy job-shop scheduling problem with flexible maintenance activities, *International Journal of Production Economics*, 145(1), 4–17. doi: 10.1016/j.ijpe.2012.11.005

55. Li, J.- Q., Pan, Q.- K. ve Taşgetiren, M. F. (2013) A discrete artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities, *Applied Mathematical Modelling*, 38(3), 1111–1132. doi: 10.1016/j.apm.2013.07.038

56. Liao, C. J. ve Chen, W. J. (2003) Single-machine scheduling with periodic maintenance and nonresumable jobs, *Computers & Operations Research*, 30(9), 1335–1347. doi: 10.1016/S0305-0548(02)00074-6

57. Liao, W., Chen, M. ve Yang, X. (2017) Joint optimization of preventive maintenance and production scheduling for parallel machines system, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(1), 913–923. doi: 10.3233/JIFS-161385

58. Liu, Q., Dong, M. ve Chen, F. F. (2018) Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 51, 238–247. doi: 10.1016/j.rcim.2018.01.002

59. Liu, M., Wang, S., Chu, C. ve Chu, F. (2016) An improved exact algorithm for single-machine scheduling to minimise the number of tardy jobs with periodic maintenance, *International Journal of Production Research*, 54(12), 3591–3602. doi: 10.1080/00207543.2015.1108535

60. Low, C., Hsu, C.- J. ve Su, C.- T. (2010) A modified particle swarm optimization algorithm for a single-machine scheduling problem with periodic maintenance, *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6429–6434. doi: 10.1016/j.eswa.2010.02.075

61. Lu, Z., Cui, W. ve Han, X. (2015) Integrated production and preventive maintenance scheduling for a single machine with failure uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, 80, 236–244. doi: 10.1016/j.cie.2014.12.017

62. Luo, W., Cheng, T. C. E. ve Ji, M. (2015) Single-machine scheduling with a variable maintenance activity, *Computers & Industrial Engineering*, 79, 168–174. doi: 10.1016/j.cie.2014.11.002

63. Luo, H., Huang, G. Q., Feng Zhang, Y. ve Yun Dai, Q. (2011) Hybrid flowshop scheduling with batch-discrete processors and machine maintenance in time Windows, *International Journal of Production Research*, 49(6), 1575–1603. doi: 10.1080/00207541003610262

64. Mirabedini, S. N. ve Iranmanesh, H. (2014) A scheduling model for serial jobs on parallel machines with different preventive maintenance, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 1579–1589. doi: 10.1007/s00170-013-5348-4

65. Miyata, H. H., Nagano, M. S. ve Gupta, J. N. D. (2018) Incorporating preventive maintenance into the m-machine no-wait flow-shop scheduling problem with total flow-time minimization: a computational study, *Engineering Optimization*, 1–19. doi: doi:10.1080/0305215x.2018.1485903

66. Miyata, H. H., Nagano, M. S. ve Gupta, J. N. D. (2019) Integrating preventive maintenance activities to the no-wait flow shop scheduling problem with dependent-sequence setup times and makespan minimization, *Computers & Industrial Engineering*, 135, 79-104. doi: 10.1016/j.cie.2019.05.034

67. Mokhtari, H., Mozdgir, A. ve Kamal Abadi, I. N. (2012) A reliability/availability approach to joint production and maintenance scheduling with multiple preventive maintenance services, *International Journal of Production Research*, 50(20), 5906–5925. doi: 10.1080/00207543.2011.637092

68. Moradi, E., Fatemi Ghomi, S. M. T. ve Zandieh, M. (2011) Bi-objective optimization research on integrated fixed time interval preventive maintenance and production for scheduling flexible job-shop problem, *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7169–7178. doi: 10.1016/j.eswa.2010.12.043

69. Mosheiov, G. ve Oron, D. (2006) Due-date assignment and maintenance activity scheduling problem, *Mathematical and Computer Modelling*, 44(11-12), 1053–1057. doi: 10.1016/j.mcm.2006.03.008

70. Mosheiov, G. ve Sarig, A. (2009) Scheduling a maintenance activity to minimize total weighted completion-time, *Computers & Mathematics with Applications*, 57(4), 619–623. doi: 10.1016/j.camwa.2008.11.008

71. Mosheiov, G., Sarig, A., Strusevich, V. A. ve Mosheiff, J. (2018) Two-machine flow shop and open shop scheduling problems with a single maintenance window, *European Journal of Operational Research*, 271(2), 388–400. doi: 10.1016/j.ejor.2018.04.019

72. Naderi, B., Zandieh, M. ve Aminnayeri, M. (2011) Incorporating periodic preventive maintenance into flexible flowshop scheduling problems, *Applied Soft Computing*, 11(2), 2094–2101. doi: 10.1016/j.asoc.2010.07.008

73. Naderi, B., Zandieh, M. ve Fatemi Ghomi, S. M. T. (2009a) A study on integrating sequence dependent setup time flexible flow lines and preventive maintenance scheduling, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(6), 683–694. doi: 10.1007/s10845-008-0157-6

74. Naderi, B., Zandieh, M. ve Fatemi Ghomi, S. M. T. (2009b) Scheduling sequence-dependent setup time job shops with preventive maintenance, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(1-2), 170–181. doi: 10.1007/s00170-008-1693-0

75. Nouri V., B., Fattahi, P. ve Ramezanian, R. (2013) Hybrid firefly-simulated annealing algorithm for the flow shop problem with learning effects and flexible maintenance activities, *International Journal of Production Research*, 51(12), 3501–3515. doi: 10.1080/00207543.2012.750771

76. Pacheco, J., Ángel-Bello, F. ve Álvarez, A. (2012) A multi-start tabu search method for a single-machine scheduling problem with periodic maintenance and sequence-dependent set-up times, *Journal of Scheduling*, 16(6), 661–673. doi: 10.1007/s10951-012-0280-2

77. Pacheco, J., Porras, S., Casado, S. ve Baruque, B. (2018) Variable neighborhood search with memory for a single-machine scheduling problem with periodic maintenance and sequence-dependent set-up times, *Knowledge-Based Systems*, 145, 236–249. doi: 10.1016/j.knosys.2018.01.018

78. Pan, E., Liao, W. ve Xi, L. (2010) Single-machine-based production scheduling model integrated preventive maintenance planning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1-4), 365–375. doi: 10.1007/s00170-009-2514-9

79. Pandey, D., Kulkarni, M. S. ve Vrat, P. (2011) A methodology for joint optimization for maintenance planning, process quality and production scheduling, *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1098–1106. doi: 10.1016/j.cie.2011.06.023

80. Paprocka, I. (2018) The model of maintenance planning and production scheduling for maximising robustness, *International Journal of Production Research*, 1–22. doi:10.1080/00207543.2018.1492752

81. Qi, X., Chen, T. ve Tu, F. (1999) Scheduling the maintenance on a single machine, *Journal of the Operational Research Society*, 50(10), 1071–1078. doi: 10.2307/3009932

82. Rabinowitz, G., Goren, S. ve Mehrez, A. (2000) Scheduling two machines that require multiple types of maintenance, for a single operation, *European Journal of Operational Research*, 127(3), 546–564. doi: 10.1016/S0377-2217(99)00338-0

83. Rebai, M., Kacem, I. ve Adjallah, K. H. (2012) Earliness–tardiness minimization on a single machine to schedule preventive maintenance tasks: metaheuristic and exact methods, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(4), 1207–1224. doi: 10.1007/s10845-010-0425-0

84. Rooeinfar, R., Raissi, S. ve Ghezavati, V. (2018) Stochastic flexible flow shop scheduling problem with limited buffers and fixed interval preventive maintenance: a hybrid approach of simulation and metaheuristic algorithms, *Simulation*. doi: 10.1177/0037549718809542

85. Ruiz, R., Carlos García-Díaz, J. ve Maroto, C. (2007) Considering scheduling and preventive maintenance in the flowshop sequencing problem, *Computers & Operations Research*, 34(11), 3314–3330. doi: 10.1016/j.cor.2005.12.007

86. Ruiz-Torres, A. J., Paletta, G. ve M'Hallah, R. (2017) Makespan minimisation with sequence-dependent machine deterioration and maintenance events, *International Journal of Production Research*, 55(2), 462–479. doi: 10.1080/00207543.2016.1187776

87. Safari, E., Jafar Sadjadi, S. ve Shahanaghi, K. (2010) Scheduling flowshops with condition-based maintenance constraint to minimize expected makespan, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46(5-8), 757–767. doi: 10.1007/s00170-009-2151-3

88. Salmasnia, A. ve Mirabadi-Dastjerd, D. (2017) Joint production and preventive maintenance scheduling for a single degraded machine by considering machine failures, *TOP*, 25(3), 544–578. doi: 10.1007/s11750-017-0445-4

89. Sbihi, M. ve Varnier, C. (2008) Single-machine scheduling with periodic and flexible periodic maintenance to minimize maximum tardiness, *Computers & Industrial Engineering*, 55(4), 830–840. doi: 10.1016/j.cie.2008.03.005

90. Seidgar, H., Zandieh, M. ve Mahdavi, I. (2016) Bi-objective optimization for integrating production and preventive maintenance scheduling in two-stage assembly flow shop problem, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(6), 404–425. doi: 10.1080/21681015.2016.1173599

91. Shen, J. ve Zhu, K. (2018) An uncertain single machine scheduling problem with periodic maintenance, *Knowledge-Based Systems*, 144, 32–41. doi: 10.1016/j.knosys.2017.12.021

92. Shen, J. ve Zhu, Y. (2018) A parallel-machine scheduling problem with periodic maintenance under uncertainty, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized*. doi: 10.1007/s12652-018-1032-8

93. Sloan, T. (2008) Simultaneous determination of production and maintenance schedules using in-line equipment condition and yield information, *Naval Research Logistics*, 55(2), 116–129. doi: 10.1002/nav.20270

94. Sloan, T. W. ve Shanthikumar, J. G. (2000) Combined production and maintenance scheduling for a multiple-product, single- machine production system, *Production and Operations Management*, 9(4), 379–399. doi: 10.1111/j.1937-5956.2000.tb00465.x

95. Sortrakul, N., Nachtmann, H. L. ve Cassady, C. R. (2005) Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine, *Computers in Industry*, 56(2), 161–168. doi: 10.1016/j.compind.2004.06.005

96. Wang, S. (2013) Bi-objective optimisation for integrated scheduling of single machine with setup times and preventive maintenance planning, *International Journal of Production Research*, 51(12), 3719–3733. doi: 10.1080/00207543.2013.765070

97. Wang, T., Baldacci, R., Lim, A. ve Hu, Q. (2018) A branch-and-price algorithm for scheduling of deteriorating jobs and flexible periodic maintenance on a single machine, *European Journal of* Operational *Research*, 271(3), 826–838. doi: 10.1016/j.ejor.2018.05.050

98. Wang, S. ve Liu, M. (2013) A branch and bound algorithm for single-machine production scheduling integrated with preventive maintenance planning, *International Journal of Production Research*, 51(3), 847–868. doi: 10.1080/00207543.2012.676683

99. Wang, S. ve Liu, M. (2016) Two-machine flow shop scheduling integrated with preventive maintenance planning, *International Journal of Systems Science*, 47(3), 672–690. doi: 10.1080/00207721.2014.900137

100. Wang, S. ve Liu, M. (2015) Multi-objective optimization of parallel machine scheduling integrated with multi-resources preventive maintenance planning, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 182–192. doi: 10.1016/j.jmsy.2015.07.002

101. Wang, S. ve Yu, J. (2010) An effective heuristic for flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities, *Computers & Industrial Engineering*, 59(3), 436–447. doi: 10.1016/j.cie.2010.05.016

102. Worrall, B. M. ve Mert, B. (1980) Application of dynamic scheduling rules in maintenance planning and scheduling, *International Journal of Production Research*, 18(1), 57–71. doi: 10.1080/00207548008919649

103. Xiao, L., Song, S. L., Chen, X. H., David, W. C. (2016) Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance, *Reliability Engineering & System Safety*, 146(2016) 68–78. doi: 10.1016/j.ress.2015.10.013

104. Xu, S., Dong, W., Jin, M. ve Wang, L. (2020) Single-Machine Scheduling with Fixed or Flexible Maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 106203. doi: 10.1016/j.cie.2019.106203

105. Xu, D. ve Yin, Y. (2011) On single-machine scheduling with flexible maintenance activities, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56(9-12), 1139–1145. doi: 10.1007/s00170-011-3249-y

106. Xu, D., Yin, Y. ve Li, H. (2010) Scheduling jobs under increasing linear machine maintenance time, *Journal of Scheduling*, 13(4), 443–449. doi: 10.1007/s10951-010-0182-0

107. Yang, D. - L., Hsu, C. - J. ve Kuo, W. - H. (2008) A two-machine flowshop scheduling problem with a separated maintenance constraint, *Computers & Operations Research*, 35(3), 876–883. doi: 10.1016/j.cor.2006.04.007

108. Yang, S., Ma, Y., Xu, D. ve Yang, J. (2011) Minimizing total completion time on a single machine with a flexible maintenance activity, *Computers & Operations Research*, 38(4), 755–770. doi: 10.1016/j.cor.2010.09.003

109. Yang, X., Peng, C., Jin, L., Li, Q - Y. (2019) Unrelated Parallel-Machine Scheduling with Maintenance Activities and Rejection Penalties for Minimizing Total Cost, *International Journal of Automation Technology*, 787-795.

110. Ying, K.- C., Lu, C.- C. ve Chen, J.- C. (2017) Exact algorithms for single-machine scheduling problems with a variable maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 98, 427–433. doi: 10.1016/j.cie.2016.05.037

111. Yoo, J. ve Lee, I. S. (2016) Parallel machine scheduling with maintenance activities, *Computers & Industrial Engineering*, 101, 361–371. doi: 10.1016/j.cie.2016.09.020

112. Yu, A. J. ve Seif, J. (2016) Minimizing tardiness and maintenance costs in flow shop scheduling by a lower-bound-based GA, *Computers & Industrial Engineering*, 97, 26–40. doi: 10.1016/j.cie.2016.03.024

113. Yu, X., Zhang, Y. ve Steiner, G. (2014) Single-machine scheduling with periodic maintenance to minimize makespan revisited, *Journal of Scheduling*, 17(3), 263–270. doi: 10.1007/s10951-013-0350-0

114. Zandieh, M., Sajadi, S. M. ve Behnoud, R. (2017) Integrated production scheduling and maintenance planning in a hybrid flow shop system: a multi-objective approach, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 8(S2), 1630–1642. doi: 10.1007/s13198-017-0635-3

115. Zammori, F., Braglia, M. ve Castellano, D. (2014) Harmony search algorithm for single-machine scheduling problem with planned maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 76, 333–346. doi: 10.1016/j.cie.2014.08.001

116. Zhang, X., Liu, S.- C., Lin, W.- C. ve Wu, C.- C. (2020) Parallel-machine scheduling with linear deteriorating jobs and preventive maintenance activities under a potential machine disruption, *Computers&Industrial Engineering*, 145, 106482. doi: 10.1016/j.cie.2020.106482

117. Zou, J. ve Yuan, J. - J. (2017) Equivalence of Some Different Maintenance Activities in Single-Machine Scheduling, *Journal of the Operations Research Society of China*. doi:10.1007/s40305-017-0182-2