

## Akış Atölyesi Çizelgeleme Probleminin Sistemik Literatür Taraması ve Bütünsel Bir Çerçevesi

Hatice VURĞUN KOÇ<sup>1</sup>, Ertan GÜNER<sup>2</sup>

### ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, akış atölyesi çizelgeleme problemine dair farklı model türlerini oluşturmak için izlenen matematiksel programlama yöntemlerini, bunları çözme tekniklerini, bu problemleri çözmek için kullanılan yazılımları ve gelecek çalışmalara ilişkin önerileri sunmaktır.

**Yöntem:** Literatür araştırmasında 4 aşamalı yapılandırılmış bir metodoloji kullanılmıştır. Akış atölyesi çizelgeleme problemini karakterize eden en önemli hususları özetleyen bütünsel bir çerçeve önerilmiştir. 2000'den 2022 başlarına kadar toplam 73 makale gözden geçirilmiştir. Tüm makaleler önerilen bütünsel çerçeveye göre değerlendirilmiş ve kodlanmıştır.

**Bulgular:** Modelleme yaklaşımı belirtilen makalelerin %67'sinde karmaşık tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımı benimsenmiştir. Referansların çoğu problem için çözüm yöntemlerinden birini (kesin çözüm algoritması, sezgisel algoritma ve metasezgisel algoritma) önermiştir. Programlama dili olarak C++ ve MATLAB ve çözücü olarak CPLEX'in ön planda olduğu görülmüştür.

**Özgünlük:** Çoğu yazarın burada önerilen çerçeveyi (modelleme ve çözüm yaklaşımı, programlama dili, çözüm aracı, amaç fonksiyonları) dikkate almadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, bu inceleme akış atölyesi çizelgeleme problemlerinin temel unsurlarına genel bir bakış sağlamayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çizelgeleme, Akış Atölyesi, Permütasyon Akış Atölyesi.

**JEL Kodları:** M11, C61.

## A Systematic Literature Review and An Integrated Framework of the Flowshop Scheduling Problem

### ABSTRACT

**Purpose:** The aim of this study is to present the mathematical programming methods followed to create different types of models for the flowshop scheduling problem, the techniques for solving them, and the software used to solve these problems.

**Methodology:** A 4-stage structured methodology was used in the literature search. A holistic framework is proposed that summarizes the most important aspects characterizing the flowshop scheduling problem. A total of 73 articles were reviewed from 2000 to early 2022. All articles were evaluated and coded according to the proposed holistic framework.

**Findings:** The MILP approach was adopted in 67% of the articles whose modeling approach was specified. Most of the references suggested solution methods (optimistic, heuristic and metaheuristic) for the problem. It has been seen that C++ and MATLAB as a programming language and CPLEX as a solver are at the forefront.

**Originality:** It has been determined that most authors do not consider the framework (modeling and solution approach, programming language, solution tool, model goals) proposed here. Therefore, this review aims to provide an overview of the key elements of flowshop scheduling problems.

**Keywords:** Scheduling, Flowshop, Permutation Flowshop.

**JEL Codes:** M11, C61.

<sup>1</sup>Yüksek Lisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, hatice.koc1@gazi.edu.tr, ORCID:0000-0003-0080-2209 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author).

<sup>2</sup>Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, erguner@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0649-2205.

DOI: 10.51551/verimlilik.1207259

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş Tarihi / Submitted Date: 19.11.2022 | Kabul Tarihi / Accepted Date: 02.05.2023

Atıf: Vurğun Koç, H. ve Güner, E. (2023). "Akış Atölyesi Çizelgeleme Probleminin Sistemik Literatür Taraması ve Bütünsel Bir Çerçevesi", *Verimlilik Dergisi*, 57(3), 577-594.

## EXTENDED ABSTRACT

Scheduling is a decision-making process that plays an important role in most manufacturing and service industries. The need for efficient production scheduling has become a crucial research area for companies and researchers in recent years. The flowshop scheduling problem consists of scheduling  $n$  jobs on  $m$  machines with the same queue and given processing times.

Existing survey studies were reviewed to confirm the research need of this article. It has been determined that most authors do not consider the holistic framework proposed here. In this context, since a survey study was not encountered throughout the literature research, it is thought that this study has an original quality. This review aims to provide an overview of the basic elements of flowshop scheduling problems. The research questions are as follows:

1. How can flowshop scheduling problems be analyzed?
2. What kind of modeling approaches are used in flowshop scheduling problems?
3. What methods or techniques have been proposed to solve flowshop scheduling problems?

In the literature search phase, a structured methodology was used and a scientific and transparent process was followed to reduce the selection bias of the articles. This study followed a 4-step methodology: (1) material collection, (2) descriptive analysis, (3) selection and definition of categories, (4) evaluation of the material. The references collected for this study cover a period of 22 years (2000-2022). Articles were searched using the keyword "flow shop scheduling" in the scientific database of Elsevier, Springer, Taylor&Francis, and Web of Science. No distinction was made between journals. Only articles in English were selected.

The following criteria were determined to determine the scope of this review and to select which articles to include. First, the production environment should be the permutation flow workshop. In the permutation flow shop, all jobs have the same path and  $m$  operations on all machines, and each job starts with the first machine and finishes its cycle with the last machine. Problems with flexible, hybrid and distributed flow workshops are not included in the review. 73 articles from the years 2000-2022 remained for the analysis, evaluation and classification processes.

To answer the first research question, a holistic framework is proposed that summarizes the most important aspects characterizing the flowshop scheduling problem. This framework details a number of categories. These categories are modeling approach, solution approach, development tool, and objective function. Since all of these categories were analyzed in a single study, the term holistic framework was used. All articles were evaluated and coded according to the proposed holistic framework.

Regarding the purpose of the article, approximately 95% of the articles proposed solution methods, 68% of the articles developed metaheuristic methods, 21% heuristics and 6% developed exact solution algorithms. While the most frequently used programming languages were C++ (53%) and MATLAB (34%), only CPLEX was used as the model solver. It was observed that the most adopted objective function was the makespan time with 56%, followed by multi-objective (18%), total flow time-based (15%) and other objective functions (11%).

This review made three main contributions. First, a holistic framework is presented to characterize scheduling problems from the articles reviewed and analyzed. Second, the existing articles were organized and classified according to the proposed holistic framework. Finally, our contribution consists of identifying research opportunities.

When all the findings are evaluated, the suggestions for future studies are as follows:

- The "revenue" and "cost" functions can be diversified. At the same time, new objective functions can be derived by studying the measures of earliness and lateness more.
- Studies in which mathematical models and heuristic/metaheuristic algorithms are used and compared together can be carried out.
- It has been observed that the branch-and-bound technique is applied in almost all of the articles on exact solution algorithms. Likewise, it has been seen that the NEH algorithm is at the forefront among heuristic algorithms and other algorithms are not given much place. Extending this scope and using other methods will also be beneficial.
- Finally, a similar study can be performed by incorporating non-permutational, hybrid, distributed and flexible flowshop scheduling problems.

## 1. GİRİŞ

Çizelgeleme, çoğu imalat ve hizmet endüstrisinde önemli rol oynayan bir karar verme sürecidir (Harjunkoski ve diğerleri, 2014). Çizelgeleme, bir veya daha fazla hedefi enaza indirmek amacıyla belirli bir zaman diliminde kaynakların tahsisi ile ilgilidir (Miyata ve Nagano, 2019). Verilen görevlerin belirli kaynaklarda işlenmesi gereken hemen her tür endüstriyel üretim tesisinde (kağıt, metal, petrol ve gaz, kimyasal, yiyecek ve içecek, ilaç, ulaşım, hizmet, askeri vb.) çizelgeleme sorunları ortaya çıkmaktadır (Harjunkoski ve diğerleri, 2014).

Yeni ve değişen pazar talepleri, üretimi zorlaştırmaktadır. Her şirket, müşterileri tarafından belirlenen müşteri memnuniyeti hedefine ulaşabilmek için çalışmaktadır. Kalite, maliyet ve zamanında teslimat, müşteri memnuniyetini sağlamanın üç ana unsurudur. Bu üç unsurun tamamının sağlanabilmesi için tedarikçi olarak herkesin üretimlerinde esneklik ve istikrara sahip olması gerekir (Raguram ve Jayanthi, 2021).

**Kalite:** Ürün kalitesindeki limit dışı hatalar doğrudan maliyetleri etkilemekle birlikte hızlı ve şiddetli bir müşteri memnuniyetsizliği yaratır. Dolayısıyla kararlı süreçler oluşturmak için, iç hatalardan başlayarak proses değişkenliklerini kontrol altına alacak metotlar kullanılmalıdır.

**Fiyat:** Müşteri diğer taleplerinin limitler aralığında karşılanması şartıyla fiyat avantajı olan ürünü satın alır. Dolayısıyla tedarikçi seçiminde fiyat belirleyici olur. Ürün fiyatı konusunda rekabetçi olabilmek için maliyetlerin sürekli iyileştirme yaklaşımıyla düşürülmesi ve iyileştirilmiş durumun korunması gerekir.

**Teslimat süresi:** Müşteri talep ettiği ürünü tam zamanında almak ister. Bu konuda müşteri taleplerini karşılamanın en iyi yolu standart çevrim zamanları ve kesintisiz üretimdir (Gemba Danışmanlık, 2023).

Şirketler, yüksek kaliteli ürünler sunmak ve pazar taleplerine hızlı cevap verebilmek için mümkün olan en az sayıda kaynağı kullanarak üretim yapmak zorundadır. Şekil 1'de görülen müşteri-proses sahibi ilişki diyagramı yukarıda açıklanan durumu özetlemektedir. Bu nedenle, verimli üretim çizelgeleme ihtiyacı, son yıllarda şirketler ve araştırmacılar için çok önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir (Guzman ve diğerleri, 2022).



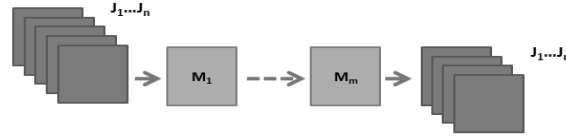
Şekil 1. Müşteri-proses sahibi ilişki diyagramı

Araştırma çalışmalarının genel amacı, üretimin müşteri taleplerini karşılayabilmesi için ihtiyaç duyulan kaynakları belirlemektir. Üretim çizelgeleme problemi, imalatçıların imalat kaynaklarını daha iyi kullanarak kurumsal kararını ve verimliliklerini artırmalarına izin verdiği için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Aslında, üretim çizelgelemedeki karar verme süreci, yalnızca gelecekteki üretim operasyonlarını yürütmek için ihtiyaç duyulan kaynakların belirlenmesine değil, aynı zamanda şirketlerin hedeflerini eniyilemek için gerçekleştirilen tüm üretim faaliyetlerinin etkin bir şekilde koordine edilmesine olanak tanır. Bu, kaynakların üretime gerektiği gibi ve en düşük maliyetle tahsis edilmesini sağlar (Guzman ve diğerleri, 2022).

Çizelgeleme problemleri içerisinde akış atölyesi çizelgeleme, üretimde popüler bir araştırma konusu olmakla birlikte sadece teorik değil, aynı zamanda endüstride ve diğer birçok gerçek hayat ortamında karar verme süreçlerinde ilgi çekici bir uygulama alanıdır (Yenisey ve Yagmahan, 2014).

Akış atölyesi çizelgeleme problemi, m makinede aynı sıraya ve verilen işlem sürelerine sahip n işin çizelgenmesinden oluşur (Şekil 2). Problem şu varsayımlara sahiptir:

- (1) her j işi aynı anda sadece bir makinede işlenebilir,
- (2) her makine m herhangi bir zamanda yalnızca bir j işi işleyebilir,
- (3) j işinin m makinesinde işlenmesi kesintiye uğratılamaz,
- (4) tüm işler bağımsızdır ve sıfır zamanında işlenmeye hazırdır,
- (5) makinelerdeki işlerin hazırlık süreleri sıra bağımsızdır ve işlem sürelerine dahildir,
- (6) makineler sürekli kullanılabilir durumdadır (Yenisey ve Yagmahan, 2014).



**Şekil 2. n iş ve m istasyon ile akış atölyesi problemi**

Literatürdeki birçok çalışma, akış atölyesi çizelgeleme ile ilgili teknikleri, yöntemleri ve çözüm yaklaşımlarını tartışmaktadır. Genel olarak akış atölyesi çizelgeleme alanında çok fazla araştırma yapılmış olmasına rağmen, analiz edilen incelemeler çeşitli açılardan farklılık göstermektedir.

Akış atölyesi çizelgeleme ile ilgilenmek için literatürde önerilen modelleme ve çözüm yaklaşımlarını incelemeye önce, bu makalenin araştırma ihtiyacını doğrulamak için mevcut tarama çalışmaları incelenmiştir. Harjunkoski ve diğerleri (2014), proses endüstrileri için geliştirilmiş mevcut çizelgeleme metodolojileri hakkında bir inceleme yapmıştır. Makalenin amacı, çizelgelemenin endüstriyel yönlerine odaklanmak ve sunulan yaklaşımların temel özelliklerini tartışmaktır. Yenisey ve Yagmahan (2014), çok amaçlı akış atölyesi çizelgeleme problemlerine katkılar hakkında kısa bir literatür taraması yapmış ve gelecekteki araştırmalar için fırsat alanlarını belirlemiştir. Bu yazıda 86 makale detaylı olarak incelenmiş ve analiz edilmiştir. Miyata ve Nagano (2019), blokaj kısıtıyla m-makine akış atölyesi çizelgeleme problemi üzerine bir literatür taraması sunmuştur. 1969'dan 2019'un başlarına kadar toplam 139 makale gözden geçirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Tomazella ve Nagano (2020), ilk çalışmalardan (1965) son yaklaşımlara (2018) kadar akış atölyesi çizelgeleme problemlerini çözmek için dal sınır algoritmalarının kapsamlı bir incelemesine sahiptir. Makaleler, problemin özelliklerine göre bölünmüş ve daha kolay görüntülenebilmesi için tablolarda özetlenmiştir. Guzman ve diğerleri (2022), farklı plan türlerini ve özelliklerini temsil eden modelleme yaklaşımlarını, uyarlanmış algoritmalarla çözüm yaklaşımlarını, uygulama alanlarını, kurum içi ve kurumlar arası seviyeleri içeren entegrasyonu, modelleri ve algoritmaları doğrulamak için kullanılan veri kümelerinin boyutlarını, geliştirme araçlarını ve elde edilen çözümlerin kalitesini içeren mevcut araştırma çalışmasını bütünsel bir çerçeve ile değerlendirmiştir. Sistematik literatür taraması, bir çerçeve içerisinde düzenlenmiş ve üretim planlama, çizelgeleme ve sıralama ile bunların kombinasyonları dahil olmak üzere farklı plan türleri etrafında gruplanmıştır.

Çoğu yazarın burada önerilen bütünsel çerçeveyi (modelleme ve çözüm yaklaşımı, programlama dili, çözüm aracı, amaç fonksiyonu) dikkate almadığı belirlenmiştir. Bu kapsamda bir tarama çalışmasına literatür araştırması boyunca rastlanmadığı için, bu çalışmanın özgün bir nitelik taşıdığı düşünülmektedir. Bu inceleme çalışması, akış atölyesi çizelgeleme problemlerinin temel unsurlarına genel bir bakış sağlamayı amaçlamaktadır. Bütünsel sınıflandırma çerçevesine dayalı makalelerin bu sistematik incelemesiyle, akış atölyesi çizelgelemedeki mevcut araştırma eğilimlerinin yanı sıra gelecekteki araştırma boşlukları ve yönleri belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

Akış atölyesi çizelgeleme problemleri nasıl analiz edilebilir?

Akış atölyesi çizelgeleme problemlerinde ne tür modelleme yaklaşımları kullanılır?

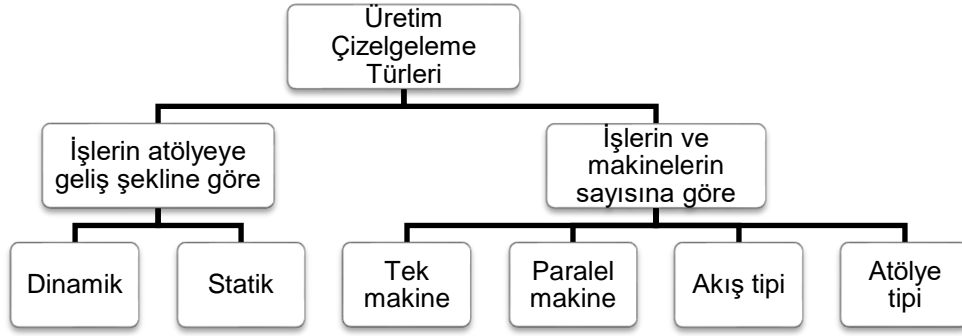
Akış atölyesi çizelgeleme problemlerini çözmek için hangi yöntemler veya teknikler önerilmiştir?

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölüm akış atölyesi çizelgeleme problemini, üçüncü bölüm literatür inceleme metodolojisini, dördüncü bölüm toplanan materyallerden edinilen bazı önemli bulguları ve beşinci bölüm çalışma sonucunun bir özetini ve gelecek çalışmalara yönelik önerileri sunmaktadır.

## 2. AKIŞ ATÖLYESİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Bir çizelgeleme problemi  $\alpha|\beta|\gamma$  notasyonu ile gösterilir:  $\alpha$  üretim ortamını,  $\beta$  işlem özelliklerini ve kısıtlamaları,  $\gamma$  ise genellikle en küçüklenecek amacı temsil eder (Tomazella ve Nagano, 2020).

Üretim çizelgelemede üretim ortamı ( $\alpha$ ) şöyle tanımlanabilir (Şekil 3): Öncelikle işlerin atölyeye geliş şekline ve işlerin ve makinelerin sayısına göre ikiye ayrılır. İşlerin atölyeye geliş şekline göre dinamik ve statik olarak tekrar ikiye ayrılır. Dinamik ortamda rastsal iş gelişleri ve işlem sürelerinde değişiklikler görülür. Ayrıca makine arızaları, teslim tarihlerinde değişiklik ve sipariş iptali gibi durumlarla sıkça karşılaşılır. Statik ortamda ise sonradan iş gelişi ve belirsizlik bulunmaz. İşlerin ve makinelerin sayısına göre ise 4 farklı ortam gözlenir. Bunlar tek makine, paralel makine, akış tipi ve atölye tipi üretim ortamlarıdır. Akış tipi atölyede işlerin izlediği rota aynıdır ve akış tek bir yöne doğrudur. Atölye tipi üretim ortamında ise her iş farklı bir rota izler (Balıkesir Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2020).



**Şekil 3. Üretim çizelgeleme türleri**

Akış tipi üretim yapan atölyeler için literatürde sıkça karşılaşılan bazı  $\beta$  ifadeleri aşağıdaki gibidir:

- Serbest bırakılma zamanı, dış etkenler nedeniyle bir işin yalnızca belirli bir süre geçtikten sonra işlenmek için uygun olduğunda ortaya çıkması neticesinde oluşur. İşlerin işlenmesine izin verilen başlangıç zamanını tanımlar.
- Makine işgali kısıtlaması, makineler arasında depolamanın olmadığı durumlarda ortaya çıkar, bu nedenle bir iş, m'deki işlemi bitmiş olsa bile m+1 kullanılabilir olana kadar makine m'yi işgal etmelidir.
- Bir miktar ara stok depolama olması, ancak boyutunun sınırlı olması durumunda, sınırlı ara stok kısıtlaması kullanılır.
- Bir işin makineler arasında geçirdiği sürenin kısıtı da dikkate alınır. İzin verilen süresiz olduğunda bekleme olmaz. Samarghandi ve Behroozi (2016), Schaller ve Valente (2020), Başar ve Engin (2022) beklemez akış atölyesi çizelgeleme konusunda çalışmışlardır.
- Boş kalmama kısıtı bir makinenin ilk işi işlemeye başladıktan sonra boşta kalmasına izin vermez.
- Arıza kısıtı, makinelerin tüm süre boyunca kullanılmadığı durumlarda görünür. Makine arızası, çalışma süresinin herhangi bir anında meydana gelebilir. Tüm makineler arızalanabilir ve makineyi tekrar çalışır duruma getirmek için bir onarım süresi gerekir. Allahverdi (1996), makinelerin rastgele arızalara maruz kaldığı bir akış atölyesi çizelgeleme problemini ele almıştır.
- Son olarak, iş öncelik kısıtlamaları, dış etkenler bazı işlerin diğerlerinden önce planlanmasını talep ettiğinde ortaya çıkar (Tomazellave Nagano, 2020).

Bu kısıtlamalara ek olarak, literatürde şu terimler de yer almaktadır:

- Gruplama makinesinde, j makinesi bir dizi işi toplu olarak işleyebilir.
- Çoklu görev esnekliği, k makinesinin, p makinesinin ilgili işlemlerini gerçekleştirme yeteneğine sahip olduğu anlamına gelir.
- Kesinti kısıtlamasında, j makinesindeki i işinin işlenmesi kesintiye uğrayabilir. Makine çalışmaya geri döndükten sonra, i işinin işlenmesi ek maliyetlerle veya maliyetler olmadan devam ettirilebilir.
- Permütasyon akış atölyesi, işlerin işlenmesinin tüm makinelerde ilk giren ilk çıkar kuralına uyması anlamına gelir. Permütasyon akış atölyesi çizelgeleme ile ilgili çalışmalara Arish ve diğerleri (2002), Dağ (2013), Bootaki ve Paydar (2018), Belabid ve diğerleri (2020), Azad ve Sarja (2021) örnek verilebilir.
- Parti akışında, bir iş veya çok sayıda iş, ardışık işlemlerin çakışabilmesi için bir makinedeki tamamlanmış alt partileralt makineler taşıma için daha küçük alt partilere bölünebilir. Kalir ve Sarin (2000), Yoon ve Ventura (2002), Tseng ve Liao (2008), Martin (2009), Pan ve diğerleri (2011), Pan ve Ruiz (2012), Meng ve diğerleri (2018), Wang ve diğerleri (2022) parti bölmeli akış atölyesi çizelgeleme konusunda çalışan isimlerden birkaçıdır.
- Sıralı atölyede, şu koşullar geçerlidir: j makinesinde herhangi iki i ve k işi için  $p_{ij} < p_{kj}$  ise, o zaman tüm makinelerde  $p_{ij} < p_{kj}$   $j=1, \dots, m$  (sıralı işler). Herhangi iki makine j ve g için  $p_{ij} < p_{ig}$  ise, tüm  $i=1, \dots, n$  işlerinde  $p_{ij} < p_{ig}$  (sıralı makineler) (Miyata ve Nagano, 2019).

Çizelgeleme problemleri için üç grup hedef vardır:

- (1) tamamlanma süresine dayalı hedefler,
- (2) teslim tarihine dayalı hedefler,
- (3) envanter ve kullanım maliyetlerine dayalı hedefler.

Akış atölyesi çizelgeleme problemlerinde birinci ve ikinci hedef grupları daha yaygın olarak kullanılmasına rağmen, literatürde üçüncü hedef grubunu temel alan çalışmalara da rastlamak mümkündür (Yenisey ve Yagmahan, 2014).

En büyük tamamlanma zamanı ve toplam akış süresi, uygulamada en yaygın ve önemli hedeflerdir. En büyük tamamlanma zamanı, sistemden ayrılan son işin tamamlanma süresine karşılık gelir. Toplam akış süresi, son makinedeki tüm işlerin tamamlanma sürelerinin toplamıdır (Miyata ve Nagano, 2019). En büyük tamamlanma zamanı değerinin enaza indirilmesi, kullanım ve üretim hattı verimliliğini en üst düzeye çıkarırken, akış süresinin enaza indirilmesi, kaynakların istikrarlı bir şekilde kullanılmasını ve süreç içindeki yarı bitmiş ürünün enaza indirilmesini sağlar (Yenisey ve Yagmahan, 2014).

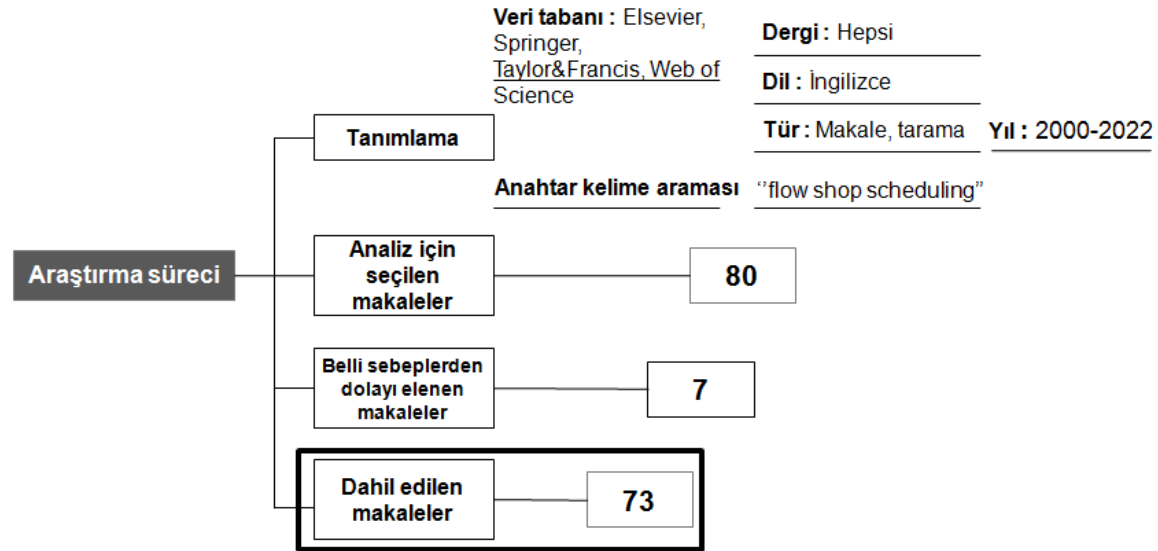
Müşteri talebini karşılamak için kullanılan teslim tarihleriyle ilgili performans kriterleri, genellikle erkenlik ve geçlik ölçüsüdür. Gecikme değerinden bağımsız olarak, teslim tarihlerinden sonra tamamlanan işlerin sayısını enaza indiren hedef geciken işlerin sayısıdır. Akış atölyesi çizelgeleme problemlerinde çok amaçlı yaklaşım, bahsedilen faydaların eşzamanlı olarak elde edilmesini sağlar (Yenisey ve Yagmahan, 2014).

### 3. LİTERATÜR İNCELEME METODOLOJİSİ

Literatür araştırma aşamasında, yapılandırılmış bir metodoloji kullanılmış ve kapsamlı bir literatür taraması ile makalelerin seçim yanlılığını azaltmak için bilimsel ve şeffaf bir süreç izlenmiştir. Bu çalışmada 4 adımlı bir metodoloji izlenmiştir: (1) materyal toplama, (2) tanımlayıcı analiz, (3) kategorilerin seçilmesi ve tanımlanması, (4) materyalin değerlendirilmesi.

#### 3.1. Materyal Toplama

Şekil 4, yapılandırılmış literatür inceleme sürecini takip etmek için benimsenen stratejiyi göstermektedir.



Şekil 4. Yapılandırılmış literatür inceleme süreci

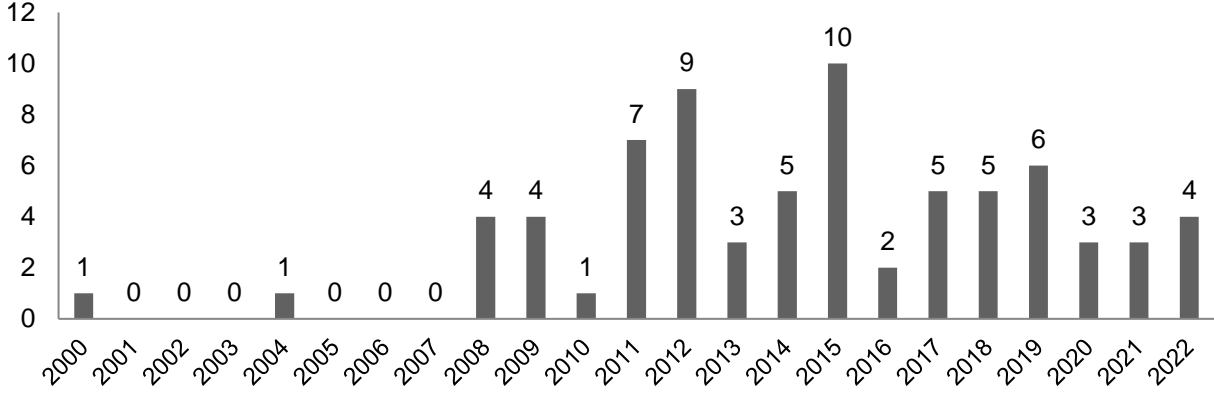
Bu çalışma için toplanan referanslar 22 yıllık (2000-2022) bir zaman dilimini kapsamaktadır. Makaleler, Nisan 2022'de Elsevier, Mart 2023'te Springer, Taylor&Francis ve Web of Science bilimsel veritabanında "flow shop scheduling" anahtar kelimesi kullanılarak aranmıştır. Dergi ayrımı gözetilmemiştir. Yalnızca İngilizce makaleler seçilmiştir.

Bu makalelerin özetleri, araştırma sorularımızla uyuşup uyuşmadıklarını değerlendirmek için gözden geçirilmiştir. Bu derlemenin kapsamını belirlemek ve hangi makalelerin dahil edileceğini seçmek için şu kriterler belirlenmiştir. İlk olarak, üretim ortamı, permütasyon akış atölyesi olmalıdır. Permütasyon akış atölyesinde tüm işler tüm makinelerde aynı yola ve m işleme sahiptir ve her iş ilk makine ile başlar ve son makine ile döngüsünü bitirir. Esnek, hibrit ve dağıtılmış akış atölyeleri ile ilgili problemler incelemeye dahil edilmemiştir.

### 3.2. Tanımlayıcı Analiz

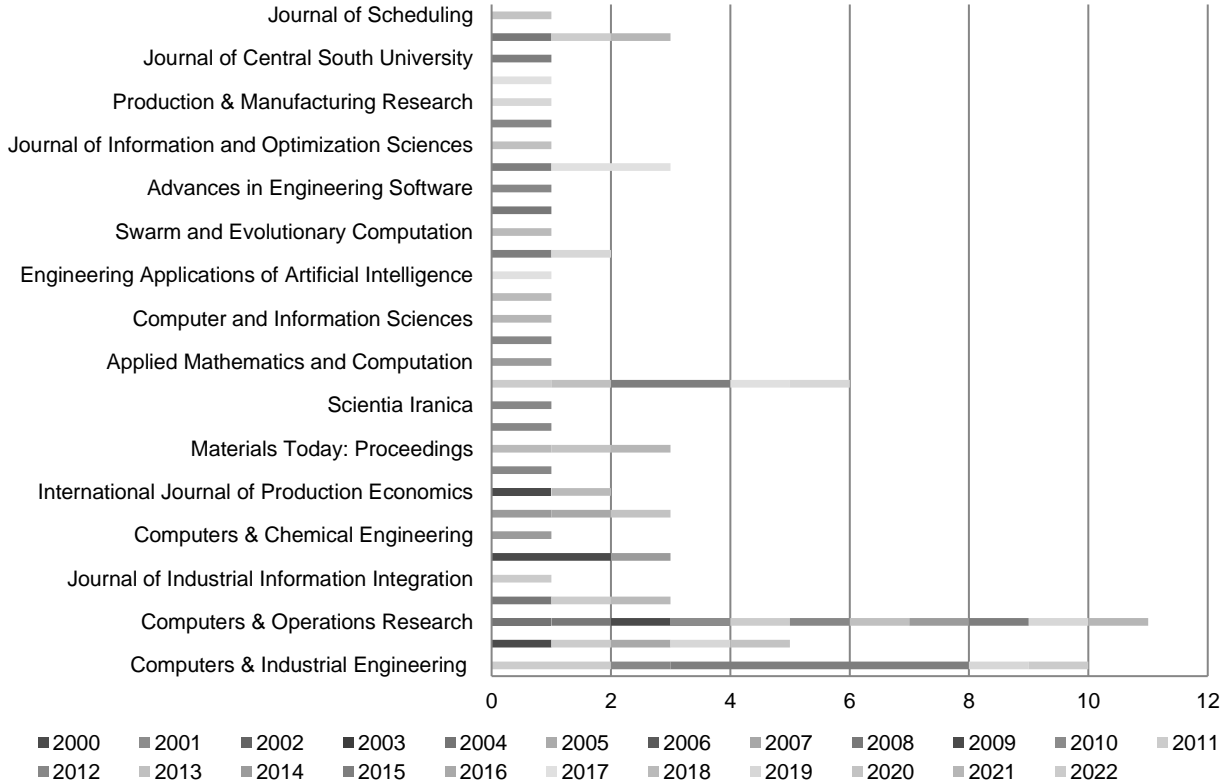
Özetler analiz edildikten sonra, tam okuma için 80 makale seçilmiştir. 80 makalenin bu alt kümesinden 7'si, araştırma sorularını tatmin edici bir şekilde yanıtlamadıkları için incelemeyle ilgili görülmemiştir. Analiz, değerlendirme ve sınıflandırma süreçleri için 2000-2022 yıllarına ait 73 makale kalmıştır.

Şekil 5 bu makalelerin yıllara göre yayın eğilimini göstermektedir.



Şekil 5. İncelenen makalelerin yıllara göre dağılımı

Nihai inceleme için seçilen makaleler 31 farklı dergide yayınlanmıştır. Şekil 6, bu dergilerde incelenen makalelerin dağılımını göstermektedir. 31 dergi içerisinde, Computers&Operations Research, Computers&Industrial Engineering ve Applied Soft Computing, incelenen tüm makalelerin %37'si ile en çok makaleyi yayınlayan dergilerdir.



Şekil 6. İncelenen makalelerin yayın yılı ve dergilere göre dağılımı

### 3.3. Kategorilerin Seçilmesi ve Tanımlanması

Birinci araştırma sorusuna cevap olabilmesi için akış atölyesi çizelgeleme problemini karakterize eden en önemli hususları özetleyen bütünsel bir çerçeve önerilmiştir. Bu çerçeve, bir dizi kategoriyi detaylandırır. Bu kategoriler modelleme yaklaşımı, çözüm yaklaşımı, geliştirme aracı ve amaç fonksiyonudur.

Bu bütünsel çerçeve, literatür incelemelerinin entegre edilmesi ile oluşturulmuştur. İncelenen çalışmalarda yer alan modelleme yaklaşımları, çözüm yaklaşımları, geliştirme araçları ve amaçlar çerçevesinin alt kategorilerini oluşturmaktadır. Bu kategorilerin tümünün birden tek bir çalışmada analiz ediliyor olmasından dolayı bütünsel çerçeve ifadesi kullanılmıştır. Tablo 1, bu çalışmanın önemli bir katkısını temsil eden ve genel olarak herhangi bir üretim çizelgeleme problemine uygulanabilecek çerçeveyi sunmaktadır.

**Tablo 1. Akış atölyesi çizelgeleme problemlerini temsil etmek için önerilen çerçeve**

<i>Ana Kategoriler</i>	<i>Alt Kategoriler</i>
Modelleme Yaklaşımı	Dinamik Programlama (DP) Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Programlama (KTDP) Karmaşık İki Değişkenli Tamsayılı Programlama (KİDTP) Sağlam Karmaşık Tamsayılı Doğrusal Programlama (SKTDP)
Çözüm Yaklaşımı	Kesin Çözüm Algoritması - Dal Sınır (DS) Sezgisel Algoritma - Nawaz, Ensore ve Ham (NEH) Metasezgisel Algoritma - Karınca Kolonisi (KK) Metasezgisel Algoritma - Evrimsel Algoritmalar (EA) Metasezgisel Algoritma - Genetik Algoritma (GA) Metasezgisel Algoritma - Yerel Arama (YA) Metasezgisel Algoritma - Açgözlü Algoritma (AA) Metasezgisel Algoritma - Memetik Algoritma (MA) Metasezgisel Algoritma - Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Metasezgisel Algoritma - Tavlama Benzetimi (TB) Metasezgisel Algoritma - Tabu Arama (TA) Metasezgisel Algoritma - Gucuk Kuşu (GK) Metasezgisel Algoritma - Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) Metasezgisel Algoritma - Göçmen Kuşlar Algoritması (GKA) Metasezgisel Algoritma - Maymun Arama Algoritması (MAA) Metasezgisel Algoritma - Harmoni Arama (HA) Metasezgisel Algoritma - Geri İz Sürme (GIS) Metasezgisel Algoritma - Yapay Arı Kolonisi (YAK)
Geliştirme Aracı	Programlama dili, çözüm aracı
Amaç Fonksiyonları	Zaman, gelir, maliyet

Modelleme yaklaşımı olarak 4 farklı model ile karşılaşılmıştır. Çözüm yaklaşımları 3 başlık altında incelenmiştir. Buna göre; kesin çözüm algoritmaları bir alt kategori ile sınırlı kalmıştır ve bu da dal sınır tekniğidir. Sezgisel algoritmalarından da yalnızca NEH sezgiseli çalışmaya dahil edilebilmiştir. Metasezgisel algoritmaların ise 16 farklı çeşidine değinilmiştir. Geliştirme aracı kategorisinde programlama dili ve çözüm aracı değerlendirilmiştir. Son olarak amaç fonksiyonları analiz edilmek istenmiştir.

#### 4. DEĞERLENDİRME ve BULGULAR

Tüm makaleler Tablo 1'de önerilen bütüncül çerçeveye göre değerlendirilmiş ve kodlanmıştır (Tablo 2). Literatürde akış atölyesi çizelgeleme problemlerini çözmek için çok çeşitli modeller ve yaklaşımlar vardır. Bu çalışmanın amacı, farklı model türlerini oluşturmak için izlenen matematiksel programlama yöntemlerini, bunları çözmek için tekniklerini ve bu problemleri çözmek için kullanılan yazılımları sunmaktır. Tablo 2, ikinci ve üçüncü araştırma sorularını yanıtlamak için, incelenen çalışmalarda uygulanan modelleme yaklaşımını ve çözüm tekniklerini sunmaktadır.

Tablo 2'deki ikinci sütun modelleme yaklaşımına atıfta bulunmaktadır. Bu analiz, akış atölyesi çizelgeleme problemleri için en yaygın kullanılan modelin karmaşık tamsayılı doğrusal programlama (KTDP) modelleri olduğu sonucuna varmamızı sağlamıştır (Tablo 3). Modelleme yaklaşımı belirtilen makalelerin %67'sinde bu yaklaşım benimsenmiştir.



Tablo 2. İncelenen çalışmaların özellikleri

Kaynak	Modelleme Yaklaşımı	Çözüm Yaklaşımı	Programlama Dili	Çözüm Aracı	Amaç Fonksiyonları
Suliman (2000)		HA			enk $C_{max}$
Grabowski ve Wodecki (2004)		MA/TA	C++		enk $C_{max}$
Kalczynski ve Kamburowsk (2008)		HA/NE H			enk $C_{max}$
Lian ve diğerleri (2008)		MA/PSO			enk $C_{max}$
Pan ve diğerleri (2008)		MA/AA			enk $C_{max}$
Qian ve diğerleri (2008)		HA/EA			enk $C_{max}$
Kuo ve diğerleri (2009)		MA/PSO	C++		enk $C_{max}$
Laha ve Sarin (2009)		HA	C		enk $\sum_j F_j$
Li ve diğerleri (2009)		HA			enk $\sum_j F_j$
Zobolas ve diğerleri (2009)		MA	C++		enk $C_{max}$
Ribas ve diğerleri (2010)		HA			enk $C_{max}$
Chiang ve diğerleri (2011)		MA/MA	C++		enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$
Dubois-Lacoste ve diğerleri (2011)		MA/YA	C++		enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$ enk $\sum_j T_j$
Gao ve diğerleri (2011)		MA/HA			enk $\sum_j F_j$
Geiger (2011)		MA/YA			enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$
Lei ve Wang (2011)		MA/YA	C++		enk $T_{max}$
Pan ve diğerleri (2011)		MA/HA	C++		enk $C_{max}$
Varmazyar ve Salmasi (2011)	KTDP	MA/TA			enk $N_T$
Ahmadizar (2012)		MA/KK	C++		enk $C_{max}$
Ahmadizar ve Barzinpour (2012)		MA/KK MA/YA			enk $C_{max}$ enk $\sum_j E_j$ enk $\sum_j T_j$
Akhshabi ve diğerleri (2012)		MA/GA	MATLAB		enk $C_{max}$
Bank ve diğerleri (2012)		MA/PSO MA/TB	C++		enk $\sum_j T_j$
Deng ve Gu (2012)		MA/EA			enk $C_{max}$
Guanlong ve diğerleri (2012)		MA/YAK	C++		enk $\sum_j F_j$
Hwang ve diğerleri (2012)	DP				enk $\sum_j F_j$
Li ve Yin (2012)		MA/YAK	MATLAB		enk $C_{max}$
Svancara ve Kralova (2012)		HA			enk $C_{max}$
Chang ve diğerleri (2013)					enk $C_{max}$
Moslehi ve Khorasanian (2013)	KİDTP	A/EA KÇA/DS	C#	CPLEX	enk $\sum_j F_j$
Tang (2013)		KÇA/DS			enk $C_{max}$
Benavides ve diğerleri (2014)	KTDP	MA/EA	C++	CPLEX	enk $C_{max}$
Liu ve diğerleri (2014)		MA/EA	MATLAB		enk $C_{max}$
Moslehi ve Khorasanian (2014)		MA/YA			enk $C_{max}$
Abdollahpor ve Rezaeian (2015)		MA/YBS MA/AA	C++		enk $C_{max}$

Tablo 2. (Devamı)

Kaynak	Modelleme Yaklaşımı	Çözüm Yaklaşımı	Programlama Dili	Çözüm Aracı	Amaç Fonksiyonları
Cheng ve diğerleri (2015)	KTDP	KÇA/DS			enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$
Dasgupta ve Das (2015)		MA/GK	MATLAB		enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$
Dong ve diğerleri (2015)		MA/YA	C++		enk $\sum_j F_j$
Lin ve diğerleri (2015)		MA/GİS	MATLAB		enk $C_{max}$
Rahman ve diğerleri (2015)		MA/GA	C++		enk(maliyet)
Ribas ve Companys (2015)		HA			enk $\sum_j F_j$
Sadaqa ve Moraga (2015)		MA	MATLAB		enk $C_{max}$
Zhang ve Gu (2015)		MA/YAK			enk $C_{max}$
Esmailbeigi ve diğerleri (2016)	KTDP		C++	CPLEX	enk(gelir)
Shao ve Pi (2016)		MA/EA			enk $C_{max}$
Etiler ve diğerleri (2017)		MA/GA			enk $C_{max}$
Liu ve Chung (2017)		MA/YBS			enk $C_{max}$
Marichelvam ve diğerleri, 2017		MA/MAA			enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$
Tajbakhsh ve diğerleri, 2017	KTDP	MA/GA MA/PSO			enk $C_{max}$ enk(erkenlik maliyeti) enk(geçlik maliyeti)
Zhao ve diğerleri (2017)		MA/HA	MATLAB		enk $C_{max}$
Baskar ve diğerleri (2018)		MA/YA HA/NE H	MATLAB		enk $C_{max}$
Li ve diğerleri (2018)		HA/NEH	PYTHON	CPLEX	enk $\sum_j F_j$
Meng ve diğerleri (2018)		MA/GKA	C++		enk $C_{max}$
Saraçoğlu ve Süer (2018)		MA/GA			enk $C_{max}$ enk $\sum_j F_j$
Bacha ve diğerleri (2019)		HA			enk $C_{max}$
Doush ve diğerleri (2019)		MA/HA MA/YA	MATLAB		enk $\sum_j F_j$
Goli ve diğerleri (2019)	SKTDP				enk $C_{max}$ enk (dış kaynak kullanım maliyeti)
Khatami ve diğerleri (2019)	KTDP	MA/YA		CPLEX	enk $C_{max}$
Zhang ve diğerleri (2019)		MA/EA			enk $C_{max}$ enk $T_{max}$
Anjana ve diğerleri (2020)		MA/PSO			enk $C_{max}$ enk $T_{ort}$
Gmys ve diğerleri (2020)		KÇA/DS	C++		enk $C_{max}$
Maricvelhamve Geetha (2021)		MA/MA MA/YA			enk (enerji maliyeti)
Puka ve diğerleri (2021)		HA/NEH			enk $C_{max}$
Ramesh ve diğerleri (2021)		MA/TB	MATLAB		enk $C_{max}$
Goyal ve Kaur (2022)		HA	MATLAB		enk $\sum_j W_j$
Umam ve diğerleri (2022)		MA/GA MA/TA			enk $C_{max}$

**Tablo 3. Modelleme yaklaşımı ile ilgili özet bilgiler**

<i>Kaynak</i>	<i>Modelleme Yaklaşımı</i>
Varmazyar ve Salmasi (2011)	KTDP
Hwang ve diğerleri (2012)	DP
Moslehi ve Khorasanian (2013)	KİDTP
Benavides ve diğerleri (2014)	KTDP
Cheng ve diğerleri (2015)	KTDP
Esmailbeigi ve diğerleri (2016)	KTDP
Tajbakhsh ve diğerleri (2017)	KTDP
Goli ve diğerleri (2019)	SKTDP
Khatami ve diğerleri (2019)	KTDP

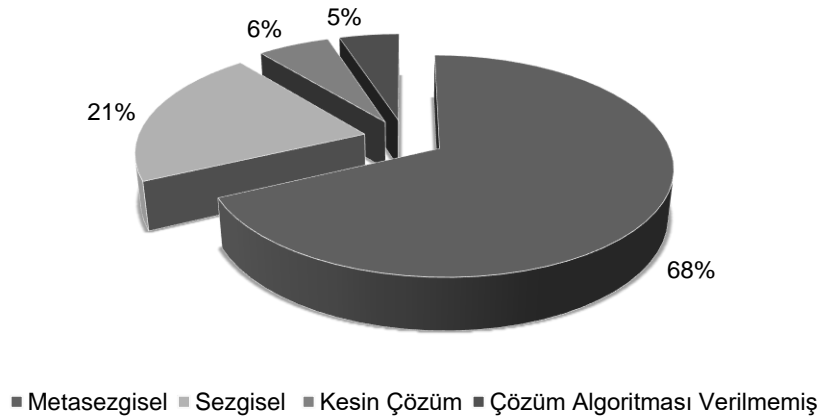
Tablo 2'deki üçüncü sütun, incelenen çalışmalarda önerilen çözüm algoritmalarına atıfta bulunmaktadır. Modellerin karmaşıklığı ve uygulama alanları göz önüne alındığında, farklı üretim problemlerini çözmek için farklı teknikler kullanılmıştır. Referansların çoğu, problemiğin çözüm yöntemleri, yani kesin çözüm, sezgisel ve metasezgisel yöntemler önermeyi amaçlamıştır: (1) Kesin çözüm algoritmaları (KÇA), mümkün olan eniyi çözümü sağlayan tekniklere yanıt veren ve önceden belirlenmiş çözümlere yaygın olarak entegre edilen, (2) sezgisel algoritmalar (SA), eniyi çözümü garanti etmeyen ancak global eniyiye yaklaşarak nispeten iyi olan bir çözüm sunan, (3) metasezgisel algoritmalar (MA), üst düzey sezgisel yöntemlerden oluşan ve alt sezgisel operasyonları yönlendiren ve değiştiren yinelemeli bir ana süreç aracılığıyla yeterince yüksek kaliteli bir çözüm sağlayabilen algoritmalar. 73 adet makalenin dördüncü bir yüzdesi (%10) çözüm algoritması sunmayan akış atölyesi çizelgeleme probleminin analizi ve literatür incelemesine yöneliktir.

Akış atölyesi çizelgeleme problemlerini çözmek için kullanılan algoritma türleri ile ilgili olarak, 66 adet makalenin %95'i bu problemleri çözmek için kullanılan algoritmayı açıklarken, %5'i açıklamamıştır. İncelenen makalelerin büyük çoğunluğunda metasezgisel algoritmalar (%68) uygulanmış olup, algoritmaların kullanım sıklığı aşağıda bulunan Tablo 4'te verilmiştir. En sık kullanılan algoritmaların yerel arama, evrimsel algoritmalar ve genetik algoritma olduğu görülmektedir.

**Tablo 4. Metasezgisel algoritmaların kullanım sıklığı**

<i>Metasezgisel Algoritma Türü</i>	<i>Kullanım Sıklığı</i>
Yerel Arama	<b>10</b>
Evrimsel Algoritmalar	<b>7</b>
Genetik Algoritma	<b>6</b>
Parçacık Sürü Optimizasyonu	5
Harmoni Arama	4
Tabu Arama	3
Yapay Arı Kolonisi	3
Açgözlü Algoritma	2
Karınca Kolonisi	2
Memetik Algoritma	2
Tavlama Benzetimi	2
Yapay Bağışıklık Sistemi	2
Geri İz Sürme	1
Göçmen Kuşlar Algoritması	1
Gucuk Kuşu	1
Maymun Arama Algoritması	1

Sezgisel algoritmalar içerisinde (%21) en yaygın kullanılan tekniğin NEH algoritması olduğu görülmüştür. Kesin çözüm algoritmaları (%6) için sık kullanılan tekniklerden biri ise dal sınır algoritmasıdır. İncelenen çalışmalardaki çözüm yaklaşımlarının oranı Şekil 7'de verilmiştir.



**Şekil 7. İncelenen çalışmalarda çözüm yaklaşımlarının oranı**

Tablo 2, programlama dilleri ve çözümler olarak sınıflandırılan her geliştirme aracının çeşitli kombinasyonlarını veya ilişkilerini göstermektedir. Programlama dilleri ile ilgili olarak, sadece birkaç yazar (%48) araştırmalarını yaparken kullandıkları programlama dilini belirtirken, diğerleri belirtmemiştir. Kullanılan diller MATLAB, C, C#, C++ ve Python iken, en çok tercih edilen (%53) C++ olmuştur. Bunu %34 ile MATLAB takip etmektedir.

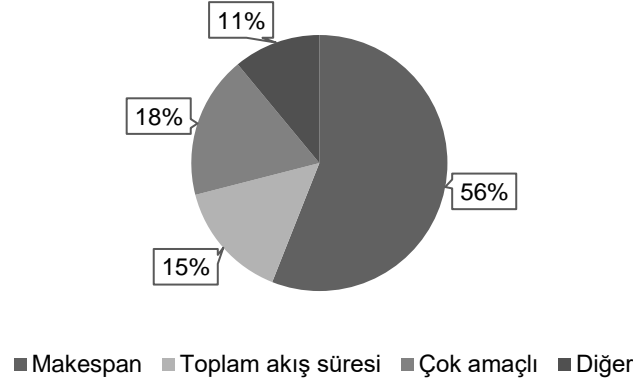
Çalışmaların %8'inde, akış atölyesi çözelgeleme problemlerini çözmek için kullanılan çözümler olarak CPLEX kullanıldığı görülmüştür. Matematiksel modeller genellikle bir problemi amaç fonksiyonu aracılığıyla ve ayrıca problemin yapısını tanımlamaya yönelik kısıtlamaları ile tanımlar. Çalışmalarda gözlemlenen amaç fonksiyonları Tablo 5'teki gibidir.

**Tablo 5. Amaç fonksiyonu türleri**

*Amaç fonksiyonları*

En büyük tamamlanma zamanının ( $C_{max}$ ) en küçüklenmesi
Toplam akış zamanının ( $\sum_j F_j$ ) en küçüklenmesi
Gelirin en büyüklenmesi
Toplam gecikmenin ( $\sum_j T_j$ ) en küçüklenmesi
Bekleme süresinin ( $\sum_j W_j$ ) en küçüklenmesi
En büyük gecikmenin ( $T_{max}$ ) en küçüklenmesi
Maliyetin en küçüklenmesi
Erkenlik ve geçlik değerlerinin ( $\sum_j T_j, \sum_j E_j$ ) en küçüklenmesi
Toplam dış kaynak kullanım maliyetinin en küçüklenmesi
Erkenlik ve geçlik maliyetinin en küçüklenmesi
Geciken iş sayısının ( $N_T$ ) en küçüklenmesi
Toplam enerji maliyetinin en küçüklenmesi
Ortalama gecikmenin ( $T_{ort}$ ) en küçüklenmesi

Araştırmacılar tarafından en çok benimsenen amaç fonksiyonunun %56 ile en büyük tamamlanma zamanı olduğu, bunu çok amaçlı (%18), toplam akış süresine dayalı (%15) ve diğer amaç fonksiyonlarının (%11) izlediği görülmüştür (Şekil8).



Şekil 8. Amaç fonksiyonuna göre makalelerin yüzdesi

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Üretim çizelgeleme modelleri, daha kısa planlama ufuklarında farklı alanlardaki tesisleri ve kaynakları eniyi şekilde kullanmaya odaklanır. Programlama modellerinin takip ettiği hedefler, kurulum, stok tutma ve üretim maliyetlerini ve sürelerini azaltmayı, üretim süresini ve gecikmeyi enaza indirmeyi amaçlar.

Üretim çizelgeleme genellikle bir şirketin gerçekleştirdiği en kritik faaliyettir. Şirketler için bu faaliyetin amacı, talebi karşılamak için mümkün olan en kısa sürede en az kaynağı kullanmaktır. Son yıllarda bu tür problemlerin üstesinden gelmek için literatürde çeşitli yöntem ve çözüm teknikleri ortaya çıkmıştır.

Akış atölyesi çizelgeleme konusu altında çok sayıda uzantının olması ve farklı kaynaklarda yayınlanmış geçmişten günümüze fazla sayıda çalışmanın mevcut olması bu çalışmayı sınırlandırmıştır. Bu çalışmada 2000'den 2022'ye kadar yayınlanan permütasyon akış atölyesi çizelgeleme problemlerine kapsamlı bir bakış açısı sunmak için sistematik bir literatür taraması yapılmıştır. Bu inceleme üç ana katkı sağlamıştır. İlk olarak, incelenen ve analiz edilen makalelerden çizelgeleme problemlerini karakterize eden bütünsel bir çerçeve sunulmuştur. İkinci olarak, mevcut makaleler önerilen bütünsel çerçeveye göre düzenlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Son olarak, katkımız araştırma fırsatlarını belirlemekten ibarettir.

Makalenin amacı ile ilgili olarak, makalelerin yaklaşık %95'i çözüm yöntemleri önermiş, makalelerin %68'i metasezgisel yöntemler, %21'i sezgisel yöntemler ve %6'sı kesin çözüm algoritmaları geliştirmiştir. En sık kullanılan programlama dilleri C++ (%53) ve MATLAB (%34) iken model çözücüsü olarak sadece CPLEX'in kullanıldığı görülmüştür. En çok benimsenen amaç fonksiyonunun %56 ile enbüyük tamamlanma zamanı olduğu, bunu çok amaçlı (%18), toplam akış süresine dayalı (%15) ve diğer amaç fonksiyonlarının (%11) izlediği görülmüştür.

Bütün bulgular değerlendirildiğinde gelecek çalışmalar için öneriler şu şekildedir:

- Literatürde çok sık rastlanan enbüyük tamamlanma zamanının enküçüklenmesi ve toplam akış süresinin enküçüklenmesi amaç fonksiyonları yerine ya da bunlarla birlikte gelir ve maliyet fonksiyonları çeşitlendirilebilir. Aynı zamanda erkenlik ve geçlik ölçülerine daha fazla çalışılıp yeni amaç fonksiyonları türetilebilir.
- Matematiksel modellerin çok sık kullanılmadığı görülmüştür. Son 20 yılda metasezgisel algoritmaların ağırlıklı olarak kullanıldığı yorumu yapılabilir. Matematiksel model ve sezgisel/metasezgisel algoritmaların birlikte kullanılıp kıyaslandığı çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Kesin çözüm algoritmaları ile ilgili makalelerin neredeyse tamamında dal sınır tekniğinin uygulandığı görülmüştür. Aynı şekilde sezgisel algoritmalar içerisinde de NEH algoritmasının ön planda olduğu diğer algoritmalara çok yer verilmediği görülmüştür. Bu kapsam genişletilip diğer yöntemlerin kullanılması da faydalı olacaktır.
- Son olarak aynı çalışmanın bir benzeri permütasyon olmayan, hibrit, dağıtılmış ve esnek akış atölyesi çizelgeleme problemlerinin kapsama dahil edilmesi ile gerçekleştirilebilir.

### Yazar Katkıları

*Hatice Vurğun Koç*: Literatür Taraması, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri Derleme, Analiz, Makale Yazımı-rijinal taslak *Prof. Dr. Ertan Güner*: Makale Yazımı-inceleme ve düzenleme

*Hatice Vurğun Koç*: Literature Review, Conceptualization, Methodology, Data Curation, Analysis,

*Writing-original draft Prof. Dr. Ertan Güner: Writing-review and editing*

#### **Çatışma Beyanı / Conflict of Interest**

Yazarlar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.  
*No potential conflict of interest was declared by the authors.*

#### **Fon Desteği**

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.  
*Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.*

#### **Etik Standartlara Uygunluk**

Yazarlar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.  
*It was declared by the authors that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.*

#### **Etik Beyanı**

Yazarlar tarafından bu çalışmada bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan edilmiştir.  
*It was declared by the authors that scientific and ethical principles have been followed in this study and all the sources used have been properly cited.*



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.  
*The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.*

## KAYNAKÇA

- Ahmadizar, F. (2012). "A New Ant Colony Algorithm for Makespan Minimization in Permutation Flowshops", *Computers&Industrial Engineering*, 63, 355-361, DOI: 10.1016/j.cie.2012.03.015.
- Ahmadizar, F. ve Barzinpour, F. (2012). "A Hybrid Algorithm to Minimize Makespan for the Permutation Flow Shop Scheduling Problem", *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3, 853-861.
- Akhshabi, M., Haddadnia, J. ve Akhshabi, M. (2012). "Solving Flow Shop Scheduling Problem Using a Parallel Genetic Algorithm", *Procedia Technology*, 1, 351-355, DOI: 10.1016/j.protcy.2012.02.073.
- Allahverdi, A. (1996). "Two-Machine Proportionate Flowshop Scheduling with Breakdowns to Minimize Maximum Lateness", *Computers & Operations Research*, 23, 909-916, DOI: 10.1016/0305-0548(96)00012-3.
- Allahverdi, A., Pesch, E., Pinedo, M. ve Werner, F. (2018). "Scheduling in Manufacturing Systems: New Trends and Perspectives", *International Journal of Production Research*, 56, 6333-6335. DOI: 10.1080/00207543.2018.1504252.
- Anjana, V., Sridhanan, R. ve Ram Kumar, P.N. (2020). "Metaheuristics for Solving a Multi-Objective Flow Shop Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times", *Journal of Scheduling*, 23, 49-69.
- Arish, A., Young, P. ve El Baradie, M. (2002). "Flow Shop Scheduling Problem: a Computational Study", Sixth International Conference on Production Engineering and Design for Development, Cairo, Egypt, 543-557.
- Azad, T. ve Sarja, A.A. (2021). "A Comparative Analysis of Heuristic Metaheuristic and Exact Approach to Minimize Make Span of Permutation Flow Shop Scheduling", *American Journal of Industrial Engineering*, 8, 1-8. DOI: 10.12691/ajie-8-1-1.
- Bacha, S.Z.A., Belahdji, M.W., Benatchba, K. ve Tayeb, F.B. (2019). "A New Hyper-Heuristic to Generate Effective Instance GA for the Permutation Flow Shop Problem", *Procedia Computer Science*, 159, 1365-1374, DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.307.
- Balıkesir Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, (2020). "EMM4129 Çizelgeleme Ders Notları", <http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4129/EMM4129-Cizelgeleme-BirlesikDersNotlari.pdf>, (Erişim Tarihi: 11.03.2023).
- Bank, M., Ghomi, S.M.T.F., Jolai, F. ve Behnamian, J. (2012). "Applications of Particle Swarm Optimization and Simulated Annealing Algorithms in Flowshop Scheduling Problem Under Linear Deterioration", *Advancing Engineering Software*, 47, 1-6, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.12.001.
- Baskar, A., Anthony, X.M. ve Nithyanandan, N. (2018). "Analysis of a Few Simple Heuristics for the Permutation Flowshop Scheduling Problem for any Batch Processing Industry", *Material Today: Proceedings*, 5, 11762-11770.
- Başar, R. ve Engin, O. (2022). "Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Analizi ve Hibrit Dağınık Arama Yöntemi ile Çözümü", *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8(2), 293-308, DOI: 10.28979/jarnas.936151.
- Belabid, J. Aqil, S. ve Allali, K. (2020). "Solving Permutation Flow Shop Scheduling Problem with Sequence-Independent Setup Time", *Journal of Applied Mathematics*, DOI: 10.1155/2020/7132469.
- Benavides, A.J., Ritt, M. ve Miralles, C. (2014). "Flowshop Scheduling with Heterogeneous Workers", *European Journal of Operational Research*, 237, 713-720, DOI: 10.1016/j.ejor.2014.02.012.
- Bootaki, B. ve Paydar, M.M. (2018). "On the n-Job, m-Machine Permutation Flow Shop Scheduling Problems with Makespan Criterion and Rework", *Scientia Iranica*, 25(3), 1688-1700, DOI: 10.24200/sci.2017.4443.
- Chang, P., Chen, M., Tiwari, M.K. ve Iquebal, A.S. (2013). "A Block-Based Evolutionary Algorithm for Flow-Shop Scheduling Problem", *Applied Soft Computing*, 13, 4536-4547, DOI: 10.1016/j.asoc.2013.07.018.
- Chen, C., Tzeng, Y. ve Chen, C. (2015). "A New Heuristic Based on Local Best Solution for Permutation Flow Shop Scheduling", *Applied Soft Computing*, 29, 75-81, DOI: 10.1016/j.asoc.2014.12.011.
- Cheng, M., Tadikamalla, P.R., Shang, J. ve Zhang, B. (2015). "Two-Machine Flow Shop Scheduling with Deteriorating Jobs: Minimizing the Weighted Sum of Makespan and Total Completion Time", *Journal of the Operational Research Society*, 66, 709-719.
- Chiang, T., Cheng, H. ve Fu, L. (2011). "NNMA: an Effective Memetic Algorithm for Solving Multiobjective Permutation Flow Shop Scheduling Problems", *Expert Systems with Applications*, 38, 5986-5999, DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.022.
- Dağ, S. (2013). "Akış Tipi Çizelgeleme Üzerine Bir Uygulama", *Alphanumeric Journal*, 1(1), 47-56.
- Dasgupta, P. ve Das, S. (2015). "A Discrete Inter-Species Cuckoo Search for Flowshop Scheduling Problems", *Computers&Operations Research*, 60, 111-120, DOI: 10.1016/j.cor.2015.01.005.
- Deng, G. ve Gu, X. (2012). "A Hybrid Discrete Differential Evolution Algorithm for the No-Idle Permutationflow Shop Scheduling Problem with Makespan Criterion", *Computers & Operations Research*, 39, 2152-2160. DOI: 10.1016/j.cor.2011.10.024.

- Dong, X., Nowak, M., Chen, P. ve Lin, Y. (2015). "Self-Adaptive Perturbation and Multi-Neighborhood Search for Iterated Local Search on the Permutation Flow Shop Problem", *Computers&Industrial Engineering*, 87, 176-185, DOI: 10.1016/j.cie.2015.04.030.
- Doush, I.A., Al-Betar, M.A., Awadallah, M.A., Santos, E., Hammouri, A.I., Mafarjeh, M. ve AlMeraj, Z.(2019). "Flowshop Scheduling with Blocking Using Modified Harmony Search Algorithm with Neighboring Heuristics Methods", *Applied Soft Computing Journal*, 85, 105861, DOI: 10.1016/j.asoc.2019.105861.
- Dubois-Lacoste, J., Lopez-Ibanez, M. ve Stützle, T. (2011). "A Hybrid TP+PLS Algorithm for Bi-Objective Flow-Shop Scheduling Problems", *Computers&Operations Research*, 38, 1219-1236, DOI: 10.1016/j.cor.2010.10.008.
- Esmailbeigi, R., Charkhgard, P. ve Charkhgard, H. (2016). "Order Acceptance and Scheduling Problems in Two-Machine Flowshops: New Mixed Integer Programming Formulations", *European Journal of Operational Research*, 251, 419-431, DOI: 10.1016/j.ejor.2015.11.036.
- Etiler, O., Toklu, B., Atak, M. ve Wilson, J. (2017). "A Genetic Algorithm for Flow Shop Scheduling Problem", *Journal of the Operational Research Society*, 55, 830-835, DOI: 10.1057/palgrave.jors.2601766.
- Gao, K-Z., Pan, Q-K. ve Li, J-Q. (2011). "Discrete Harmony Search Algorithm for the No-Wait Flow Shop Scheduling Problem with Total Flow Time Criterion", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56, 683-692.
- Geiger, M.J. (2011). "Decision Support for Multi-Objective Flow Shop Scheduling by the Pareto Iterated Local Search Methodology", *Computers&Industrial Engineering*, 61, 805-812, DOI: 10.1016/j.cie.2011.05.013.
- Gemba Danışmanlık, (2023). "6 Sigma Danışmanlığı", <https://gembadanismanlik.com/6-sigma-danismanligi/>, (Erişim Tarihi: 11.03.2023).
- Gmys, J., Mezmaç, M., Melab, N. ve Tuyttens, D. (2020). "A Computationally Efficient Branch-and-Bound Algorithm for the Permutation Flow-Shop Scheduling Problem", *European Journal of Operational Research*, 284, 814-833. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.01.039.
- Goli, A., Tirkolaee, E.B. ve Saltani, M. (2019). "A Robust Just In Time Flow Shop Scheduling Problem with Outsourcing Option on Subcontractors", *Production & Manufacturing Research*, 7, 294-315, DOI: 10.1080/21693277.2019.1620651.
- Goyal, B. ve Kaur, S. (2020). "Minimizing Waiting Time of Jobs in Flow-Shop Scheduling: a Heuristic Approach", *Materials Today: Proceedings*, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.797.
- Grabowski, J. ve Wodecki, M. (2004). "A Very Fast Tabu Search Algorithm for the Permutation Flow Shop Problem with Makespan Criterion", *Computers&Operations Research*, 31, 1891-1909, DOI: 10.1016/S0305-0548(03)00145-X.
- Guanlong, D., Zhenhao, X. ve Xingsheng, G. (2012). "A Discrete Artificial Bee Colony Algorithm Forminimizing the Total Flow Time in the Blocking Flow Shop Scheduling", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20 (6), 1067-1073.
- Guzman, E., Andres, B. ve Poler, R. (2022). "Models and Algorithms for Production Planning, Scheduling and Sequencing Problems: a Holistic Framework and a Systematic Review", *Journal of Industrial Information Integration*, DOI: 10.1016/j.jii.2021.100287.
- Harjunkoski, I., Maravelias, C.T., Bongers, P., Castro, P.M., Engell, S., Grossmann, I.E., Hooker, J., Mendez, C., Sand, G. ve Wassick, J. (2014). "Scope for Industrial Applications of Production Scheduling Models and Solution Methods", *Computers and Chemical Engineering*, 62, 161-193, DOI: 10.1016/j.compchemeng.2013.12.001.
- Hwang, F.J., Kovalyov, M.Y. ve Lin, B.M.T. (2012). "Total Completion Time Minimization in Two-Machine Flowshop Scheduling Problems with a Fixed Job Sequence", *Discrete Optimization*, 9, 29-39, DOI: 10.1016/j.disopt.2011.11.001.
- Kalczynski, P.J. ve Kamburowski, J. (2008). "An Improved NEH Heuristic to Minimize Makespan in Permutation Flowshops", *Computers&Operations Research*, 35, 3001-3008, DOI: 10.1016/j.cor.2007.01.020.
- Kalir, A.A. ve Sarin, S.C. (2000). "Evaluation of the Potential Benefits of Lot Streaming in Flow-Shop Systems", *International Journal of Production Economics*, 66, 131-142, DOI: 10.1016/S0925-5273(99)00115-2.
- Khatami, M., Salehipour, A. ve Hwang, F.J. (2019). "Makespan Minimization for the M-Machine Ordered Flowshop Scheduling Problem", *Computers and Operations Research*, 111, 400-414, DOI: 10.1016/j.cor.2019.06.012.
- Kuo, I., Horng, S., Kao, T., Lin, T., Lee, C., Terano, T. ve Pan, Y. (2009). "An Efficient Flow-Shopscheduling Algorithm Based on a Hybrid Particle Swarm Optimization Model", *Expert Systems with Applications*, 36, 7027-7032, DOI: 10.1016/j.eswa.2008.08.054.
- Laha, D. ve Sarin, S.C. (2009). "A Heuristic to Minimize Total Flow Time in Permutation Flowshop", *Omega*, 37, 734-739, DOI: 10.1016/j.omega.2008.05.002.
- Lei, D. ve Wang, T. (2011). "An Effective Neighborhood Search Algorithm for Scheduling a Flow Shop of Batch Processing Machines", *Computers&Industrial Engineering*, 61, 739-743, DOI: 10.1016/j.cie.2011.05.005.



- Li, G., Li N., Sambandam, N., Sethi, S.P. ve Zhang, F. (2018). "Flow Shop Scheduling with Jobs Arriving at Different Times", *International Journal of Production Economics*, 206, 250-260, DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.10.010.
- Li, X. ve Yin, M. (2012). "A Discrete Artificial Bee Colony Algorithm with Composite Mutation Strategies for Permutation Flowshop Scheduling Problem", *Scientia Iranica*, 19(6), 1921-1935, DOI: 10.1016/j.scient.2012.10.034.
- Li, X., Wang, Q. ve Wu, C. (2009). "Efficient Composite Heuristics for Total Flowtime Minimization in Permutation Flowshops", *Omega*, 37, 155-164, DOI: 10.1016/j.omega.2006.11.003.
- Lian, Z., Gu, X. ve Jiao, B. (2008). "A Novel Particle Swarm Optimization Algorithm for Permutation Flow-Shop Scheduling to Minimize Makespan", *Chaos, Solutions and Fractals*, 35, 851-861, DOI: 10.1016/j.chaos.2006.05.082.
- Lin, Q., Gao, L., Li, X. ve Zhang, C. (2015). "A Hybrid Backtracking Search Algorithm for Permutation Flow-Shop Scheduling Problem", *Computers & Industrial Engineering*, 85, 437-446, DOI: 10.1016/j.cie.2015.04.009.
- Liu, X. ve Chung, T-P. (2017). "A Modified Immunoglobulin-Based Artificial Immune System Algorithm for Solving the Permutation Flow Shop Scheduling Problem", *Journal of Industrial and Production Engineering*, 34, 542-550, DOI: 10.1080/21681015.2017.1383313.
- Liu, Y., Yin, M. ve Gu, W. (2014). "An Effective Differential Evolution Algorithm for Permutation Flowshop Scheduling Problem", *Applied Mathematics and Computation*, 248, 143-159, DOI: 10.1016/j.amc.2014.09.010.
- Marichelvam, M.K., Tosun, Ö. ve Geetha, M. (2017). "Hybrid Monkey Search Algorithm for Flow Shop Scheduling Problem Under Makespan and Total Flowtime", *Applied Soft Computing*, 55, 82-92, DOI: 10.1016/j.asoc.2017.02.003.
- Martin, C.H. (2009). "A Hybrid Genetic Algorithm/Mathematical Programming Approach to the Multi-Family Flowshop Scheduling Problem with Lot Streaming", *Omega*, 37, 126-137, DOI: 10.1016/j.omega.2006.11.002.
- Meng, T., Pan, Q., Li, J. ve Sang, H. (2018). "An Improved Migrating Birds Optimization for an Integrated Lot-Streaming Flow Shop Scheduling Problem", *Swarm and Evolutionary Computation*, 38, 64-78. DOI: 10.1016/j.swevo.2017.06.003.
- Miyata, H.H. ve Nagano, M.S. (2019). "The Blocking Flow Shop Scheduling Problem: a Comprehensive and Conceptual Review", *Experts Systems With Applications*, 137, 130-156, DOI: 10.1016/j.eswa.2019.06.069.
- Moslehi, G. ve Khorasanian, D. (2014). "A Hybrid Variable Neighborhood Search Algorithm for Solving the Limited-Buffer Permutation Flowshop Scheduling Problem with the Makespan Criterion", *Computers & Operations Research*, 52, 260-268. DOI: 10.1016/j.cor.2013.09.014.
- Moslehi, G. ve Khorasanian, D. (2013). "Optimizing Blocking Flow Shop Scheduling Problem with Total Completion Time Criterion", *Computers & Operations Research*, 40, 1874-1883. DOI: 10.1016/j.cor.2013.02.003.
- Pan, Q-K. ve Ruiz, R. (2012). "An Estimation of Distribution Algorithm for Lot-Streaming Flow Shop Problems with Setup Times", *Omega*, 40, 166-180, DOI: 10.1016/j.omega.2011.05.002.
- Pan, Q-K., Tasgetiren, M.F., Suganthan, P.N. ve Chua, T.J. (2011). "A Discrete Artificial Bee Colony Algorithm for the Lot-Streaming Flow Shop Scheduling Problem", *Information Sciences*, 181, 2455-2468, DOI: 10.1016/j.ins.2009.12.025.
- Pan, Q., Wang, L. ve Gao, L. (2011). "A Chaotic Harmony Search Algorithm for the Flow Shop Scheduling Problem with Limited Buffers", *Applied Soft Computing*, 11, 5270-5280, DOI: 10.1016/j.asoc.2011.05.033.
- Pan, Q-K, Wang, L. ve Zhao, B-H. (2008). "An Improved Iterated Greedy Algorithm for the No-Wait Flow Shop Scheduling Problem with Makespan Criterion", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38, 778-786.
- Puka, R., Duda, J., Stawowy, A. ve Skalna, I. (2021). "N-NEH+ Algorithm for Solving Permutation Flowshop Problems", *Computers and Operations Research*, 132, 105296, DOI: 10.1016/j.cor.2021.105296.
- Qian, B., Wang, L., Huang, D.X. ve Wang, X. (2008). "An Effective Hybrid DE-Based Algorithm for Flow Shop Scheduling with Limited Buffers", *International Journal of Production Research*, 47, 1-24. DOI: 10.1080/00207540701528750.
- Raguram, K.S. ve Jayanthi, G. (2021). "Implementation of Heijunka for Improving Performance Indicators: a Process Sector Case Study", *Gorteria Journal*, 34, 20-28.
- Rahman, H.F., Sarker, R. ve Essam, D. (2015). "A Genetic Algorithm for Permutation Flowshop Scheduling Under Make to Stock Production System", *Computers & Industrial Engineering*, 90, 12-24, DOI: 10.1016/j.cie.2015.08.006.
- Ramesh, C., Kamalakannan, R., Karthik, R., Pavin, C. ve Dhivaharan, S. (2021). "A Lot Streaming Based Flowshop Scheduling Problem Using Simulated Annealing Algorithm", *Materials Today: Proceedings*, 37, 241-244, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.05.108.

- Ribas, I., Companys, R. ve Tort-Martorell, X. (2010). "Comparing Three-Step Heuristics for the Permutation Flow Shop Problem", *Computers & Operations Research*, 37, 2062-2070, DOI: 10.1016/j.cor.2010.02.006.
- Ribas, I. ve Companys, R. (2015). "Efficient Heuristic Algorithms for the Blocking Flowshop Scheduling Problem with Total Flowtime Minimization", *Computers&Industrial Engineering*, 87, 30-39, DOI: 10.1016/j.cie.2015.04.013.
- Sadaqa, M. ve Moraga, R.J. (2015). "Scheduling Blocking Flowshops Using Metaraps", *Procedia Computer Science*, 61, 533-538, DOI: 10.1016/j.procs.2015.09.211.
- Samarghandi, H. ve Behroozi, M. (2016). "On the Exact Solution of the No-Wait Flow Shop Problem with Due Date Constraints", *Computers & Operations Research*, 81, 141-159, DOI: 10.1016/j.cor.2016.12.013.
- Saraçoğlu, İ. ve Süer, G.A. (2018). "Multi-Objective Fuzzy Flowshop Scheduling Model in a Manufacturing Company", *Procedia Manufacturing*, 17, 214-221, DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.039.
- Schaller, J. ve Valente, J.M.S. (2020). "Minimizing Total Earliness and Tardiness in a Nowait Flow Shop", *International Journal of Production Economics*, 224, 107542, DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.107542.
- Shao, W. ve Pi, D. (2016). "A Self-Guided Differential Evolution with Neighborhood Search for Permutation Flowshop Scheduling", *Expert Systems with Applications*, 51, 161-176, DOI: 10.1016/j.eswa.2015.12.001.
- Suliman, S.M.A. (2000). "A Two-Phase Heuristic Approach to the Permutation Flow-Shop Scheduling Problem", *International Journal of Production Economics*, 64,143-152.
- Svancara, J. ve Kralova, Z. (2012). "High-Mix Low-Volume Flow Shop Manufacturing System Scheduling", *Proceedings of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, Romania.
- Tang, H-C. (2013). "A New Lower Bounding Rule for Permutation Flow Shop Scheduling", *Journal of Information and Optimization Sciences*, 22, 249-257. DOI:10.1080/02522667.2001.10699488.
- Tajbakhsh, Z., Fattahi, P. ve Behnamian, J. (2017). "Multi Objective Assembly Permutation Flow Shop Scheduling Problem: a Mathematical Model and a Meta-Heuristic Algorithm", *Journal of the Operational Research Society*, 65, 1580-1592, DOI: 10.1057/jors.2013.105.
- Tomazella, C.P. ve Nagano, M.S. (2020). "A Comprehensive Review of Branch-and-Bound Algorithms: Guidelines and Directions for Further Research on the Flowshop Scheduling Problem", *Expert Systems with Applications*, 158, 113556, DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113556.
- Tseng, C-T. ve Liao, C-J. (2008). "A Discrete Particle Swarm Optimization for Lot-Streaming Flowshop Scheduling Problem", *European Journal of Operational Research*, 191, 360-373, DOI: 10.1016/j.ejor.2007.08.030.
- Umam, M.S., Mustafid, M. ve Suryono, S. (2021). "A Hybrid Genetic Algorithm and Tabu Search Forminimizing Makespan in Flow Shop Scheduling Problem", *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, DOI: 10.1016/j.jksuci.2021.08.025.
- Varmazyar, M. ve Salmasi, N. (2011). "Sequence-Dependent Flow Shop Scheduling Problem Minimising the Number of Tardy Jobs", *International Journal of Production Research*, 50, 5843-5858, DOI: 10.1080/00207543.2011.632385.
- Wang, W., Xu, Z. ve Gu, X. (2022). "A Two-Stage Discrete Water Wave Optimization Algorithm for the Flowshop Lot-Streaming Scheduling Problem with Intermingling and Variable Lot Sizes", *Knowledge-Based Systems*, 238, 107874, DOI: 10.1016/j.knosys.2021.107874.
- Yenisey, M.M. ve Yagmahan, B. (2014). "Multi-Objective Permutation Flow Shop Scheduling Problem: Literature Review, Classification and Current Trends", *Omega*, 45, 119-135, DOI: 10.1016/j.omega.2013.07.004.
- Yoon, S-H. ve Ventura, J.A. (2002). "Minimizing the Mean Weighted Absolute Deviation from Due Dates in Lot-Streaming Flow Shop Scheduling", *Computers & Operations Research*, 29, 1301-1315, DOI: 10.1016/S0305-0548(01)00032-6.
- Zhang, S-J. ve Gu, X-S. (2015). "An Effective Discrete Artificial Bee Colony Algorithm for Flow Shop Scheduling Problem with Intermediate Buffers", *Journal of Central South University*, 22, 3471-3484.
- Zhang, W., Wang, Y., Yang, Y. ve Gen, M. (2019). "Hybrid Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Differential Evolution for Flow Shop Scheduling Problems", *Computers & Industrial Engineering*, 130, 661-670, DOI: 10.1016/j.cie.2019.03.019.
- Zhao, F., Liu, Y., Zhang, Y., Ma, W. ve Zhang, C. (2017). "A Hybrid Harmony Search Algorithm with Efficient Job Sequence Scheme and Variable Neighborhood Search for the Permutation Flow Shop Scheduling Problems", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 178-199, DOI: 10.1016/j.engappai.2017.07.023.
- Zobolas, G.I., Tarantilis, C.D. ve Ioannou, G. (2009). "Minimizing Makespan in Permutation Flow Shop Scheduling Problems Using a Hybrid Metaheuristic Algorithm", *Computers & Operations Research*, 36, 1249-1267, DOI: 10.1016/j.cor.2008.01.007.