

# HİBRİT AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASIYLA ÇÖZÜMÜNE BAŞLANGIÇ POPÜLASYONUN ETKİSİ

## THE EFFECT OF THE INITIAL POPULATION IN THE SOLUTION OF FLOW SHOP SCHEDULING PROBLEM BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

Fatma Selen MADENOĞLU\* 

### Öz

Bu çalışmada, birden fazla aşama, her aşamada özdeş paralel makineler ve makinelerde işlenen işler arası geçişlerde sıraya bağlı hazırlık süresini içeren hibrit akış tipi çizelgeleme problemi sunulmuştur. Metasezgisel yöntemler bu karmaşık problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Metasezgisel yöntemlerde optimum çözüm ararken, oluşturulan başlangıç çözümlerin nihai sonuca etkisi oldukça önemlidir. Hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümüne önerilen parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmasına farklı başlangıç çözüm oluşturma yöntemlerinin etkisi incelenmiştir. Dört farklı başlangıç çözüm oluşturma yaklaşımı sonuçları karşılaştırılmıştır. Nawaz, Ensore, Ham (NEH) sezgiselinin diğer yöntemlerden daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit akış tipi çizelgeleme, metasezgisel, PSO

**JEL Sınıflaması:** M11, C63

### Abstract

In this study, the hybrid flow type scheduling problem includes multiple stages, parallel identical machines at each stage and sequence dependent setup time is presented. Many metaheuristics are used to solve these complex problems. The effect of the initial solutions on the result is very important for searching optimum solution by metaheuristics. The effect of different initial solution generation methods on the proposed particle swarm optimization (PSO) algorithm for the hybrid flow type scheduling problem has been investigated. The results of four different initial solution generation approaches were compared. It is concluded that Nawaz, Ensore, Ham (NEH) heuristic is more competitive than other methods.

**Keywords:** Hybrid flow shop scheduling, metaheuristic, PSO

**JEL Classification:** M11, C63

\* Dr. Öğr. Üyesi, Abdullah Gül University, Faculty of Managerial Sciences, Business Administration Department, selen.madenoglu@agu.edu.tr.

**Bu makaleyi alıntılar için:** Madenoğlu, F. S. (2020). Hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin parçacık sürü optimizasyon algoritmasıyla çözümüne başlangıç popülasyonunun etkisi. *Journal of Research in Business*, 5(2), 160-173.

“Çalışmada Etik Kurul izni gerekmemektedir.”

**Başvuru:** 29.11.2020

**Kabul:** 23.12.2020

**Son Düzeltme:** 22.12.2020

**Online Yayın:** 29.12.2020

## Extended Summary

In this study, the hybrid flow type scheduling problem includes multiple stages, parallel identical machines at each stage and sequence dependent setup time is presented. This problem is combinatorial optimization problem and the problem is known to be NP-hard. Many metaheuristics are used to solve these complex problems. In the problem, it is aimed to minimize the total completion time. PSO algorithm has been proposed to solve the problem. The effect of the initial solutions on the result is very important for searching optimum solution by metaheuristics. In order to improve the performance of the algorithm, the initial solution generation methods in the literature have been adapted. The effect of different initial solution generation methods on the proposed particle swarm optimization (PSO) algorithm for the hybrid flow type scheduling problem has been investigated. The problems are generated in which the number of jobs in different sizes, the number of stages and the number of parallel machines in each stage and setup times are taken into account. RS, EK, EB and NEH methods, which are the initial solution generation methods commonly used in the literature, have been adapted to PSO algorithm. The results of the proposed initial solution generation methods for different problem sizes are compared. Average relative percentage deviation are used to compare the results of four different initial solution generation methods. It has been observed that the randomly generated initial population may be successful in converging the good solution when the problem size is small, but it is not successful in converging to the good solution when the problem size increases. The results show that NEH heuristic has good performance and convergence to good solution in small-scale and large-scale problems. It is concluded that Nawaz, Enscore, Ham (NEH) heuristic is more competitive than other methods.

## 1. Giriş

Üretim ortamlarında artan müşteri taleplerini karşılamak ve tepkiselliği artırabilmek için mevcut olan üretim ortamına teknolojik makineler dâhil etmek yaygın olan yaklaşımlardan biridir. Üretim ortamında teknolojik makineler tercih edilmiş olursa da eğer bu kaynaklar etkin yönetilemezse etkili kullanılamayacaktır. Bu nedenle üretim ortamlarında kaynak kullanımını oldukça önem arz etmektedir. Kaynak kullanımının etkin yapılabilmesi üretim çizelgesinin amaçlara uygun şekilde oluşturularak uygulanmasıyla mümkündür. Küresel pazarda rekabet edebilirliğimize katkı sağlayan araçlardan birisi çizelgelemedir.

Literatürde yaygın olarak incelenen çizelgeleme problemlerinden biri akış tipi çizelgeleme problemidir. Bu problemde iş birden fazla aşamadan geçmekte ve işler aynı üretim sırasını takip etmektedirler. Son yıllarda gerek endüstri uygulamaları gerek akademik literatür akış tipi üretim ortamında her bir aşamada paralel, birden fazla makine olma durumunu ele almaktadır. Gerçek hayatta üretim kapasitesini artırma amaçlı üretim aşamalarına yeni makineler eklenmektedir. Bu durumda oluşan yeni problem hibrit akış tipi çizelgeleme problem olarak adlandırılmaktadır. Problem NP-zor problem sınıfındadır (Gupta, 1988). Küçük boyutlu problemlerin çözümünde geleneksel yöntemlerle optimum sonuç elde edilmektedir. Problem boyutu büyüdüğünde optimum

çözümüne ulaşmada geleneksel yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümü için metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

Son yıllarda problemlerin çözümünde metasezgisel algoritmaların tercih edilmesinde önemli bir artış söz konusudur. Matematiksel modelin oluşturulması ve çözümünün, gerçek hayatta karşılaşılan optimizasyon problemlerinin çözümünün zor olmasından metasezgisel algoritmaların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Metasezgisel algoritmalar zor optimizasyon problemlerine, makul sürede optimum çözüme ulaşılacağı veya optimum çözümün bulunacağına garantisini vermeden kaliteli çözümler üretebilmektedirler. Metasezgisel algoritmalar gerçek hayat problemlerinin modellenmesi konusunda kolay uygulanabilir olması, optimizasyon problemlerine kısa sürede tatmin edici sonuçlar sunmaları, değişen durumların uyarlanması ve yeni durumların eklenmesinde esnek olmaları, geliştirilen metasezgisel algoritmaların farklı problemlere uygulanabilmesi metasezgisel algoritmaların tercih edilme nedenlerinden bazılarıdır (Ólafsson, 2006). Yoğunlaştırma ve çeşitlendirme metasezgisel algoritmaların temel iki bileşenidir (Blum & Roli, 2003). Çeşitlendirme, küresel boyutta araştırma alanımızı inceleyebilmek için, çeşitli çözümler üretmek anlamına gelmektedir. Yoğunlaştırma, araştırma alanında iyi bir çözüm olduğunu bilerek o lokal alanda daha detaylı inceleme yaparak lokal alan araştırmasını derinleştirmek anlamına gelmektedir. Algoritmanın en iyi çözüme ulaşmasında yakınsama durumunu geliştirmek için çeşitlendirme ve yoğunlaştırma arasından denge sağlanmalıdır. Bu denge, en iyi olan çözümün seçimi için algoritma çözümlerinin optimum olan çözüme yakınsamasını sağlamaktadır. Çeşitlendirme kısmında rasgeleleştirmenin kullanımı arama alanından lokal optimuma takılmamızı önlemekte ve aynı zamanda arama alanındaki çözüm çeşitliliğimizi artırmaktadır. Çeşitlendirme kısmında sezgisellerin kullanımı daha hızlı en iyi çözüme yakınsama ile sonuçlanmaktadır. İki bileşenin iyi kombinasyonu, küresel optimum sonuca ulaşılmasında oldukça etkilidir.

PSO algoritması kuşların sürü davranışlarından esinlenen popülasyon tabanlı bir metasezgiseldir. Son yıllarda çok sayıda kombinasyonel optimizasyon problemine başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Özellikle de çizelgeleme problemlerine başarıyla uygulanmıştır (Pan vd., 2008; Liao vd., 2012). Bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık süreleri ve aşamalarda paralel özdeş makinelerin olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme problemi ele alınmıştır. PSO algoritması optimizasyon problemlerinde tercih edilen etkili çözüm yöntemlerinden biri olduğundan problemin çözümü için PSO algoritması uygulanmıştır. PSO algoritması popülasyon tabanlı bir algoritma olduğundan, başlangıç popülasyonunun kalitesi genel olarak algoritmanın performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bağlamda, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında seçilen yöntem algoritmanın kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Probleme önerilen PSO algoritmasında, farklı başlangıç çözümü oluşturma yöntemlerinin uygulanarak, bu durumun algoritmanın performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, sıra bağımlı hazırlık süreleri ve aşamalarda paralel özdeş makinelerin olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme problemi için farklı başlangıç çözümü oluşturma yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde ilgili literatür sunulmuştur. Üçüncü bölümde problem tanıtımına, dördüncü bölümde PSO algoritmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde deneysel çalışmalar yer alırken son bölümde de sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

## 2. Literatür Taraması

Akış tipi çizelgeleme problemi literatürde ilk olarak Johnson tarafından 1954 yılında ele alınmıştır. Çalışmada  $n$  adet iş iki makine çizelgelenmesi problemi incelenmiştir. Problemin çözümü için kendi ismini taşıyan bir algoritma ortaya koymuştur. İlerleyen yıllarda daha fazla sayıda makinenin olduğu akış tipi çizelgeleme problemleri üzerinde literatürde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmaların bazıları; Eğim dizisi yöntemi (Palmer, 1965), Campbell Dudek Smith algoritması (Campbell, Dudek & Smith, 1970), Nawaz, Ensore ve Ham sezgiseli (Nawaz vd., 1983), Widmer ve Hertz yöntemi (Widmer & Hertz, 1989), Ho ve Chang yöntemi (Ho & Chang, 1991).

Ben-Daya & Al-Fawzan (1998) tabu araması, Murata, Ishibuchi & Tanaka (1996) çok amaçlı genetik algoritmayı akış tipi çizelgeleme problemi için geliştirmişlerdir. Ruiz, Maroto & Alcaraz (2006), toplam tamamlanma zamanının en azlanması amacını dikkate alan akış tipi çizelgeleme problemine iki yeni güçlü genetik algoritma geliştirmiştir. Yagmahan & Yenisey (2008) çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemine karınca kolonisi algoritması önermişlerdir. Pan, Tasgetiren & Liang (2008) toplam tamamlanma zamanının ve toplam akış zamanının en azlanması amaçlayan beklemez akış tipi çizelgeleme problemine ayrık parçacık sürüsü optimizasyon algoritması sunmuşlardır. Pan, Tasgetiren, Suganthan & Chua (2011), toplam ağırlıklı erken ve geç tamamlanma cezaları kriterlerini amaçlayan parti akışlı akış tipi çizelgeleme problem için ayrık yapay arı kolonisi algoritması önermişlerdir. Ribas, Companys & Tort-Martorell (2011) toplam tamamlanma zamanının en azlandığı blokmalı akış tipi çizelgeleme problemine yinelenen açgözlü algoritma sunmuşlardır. Naderi & Ruiz (2014) çalışmasında dağıtılmış permütasyon akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanını optimize etmek için dağılım arama yöntemini önermişlerdir. Fernandez-Viaga & Framinan (2015) permütasyonlu akış tipi çizelgeleme probleminde toplam gecikmeyi en azlayan NEH bazlı sezgiseller geliştirmişlerdir. Bargaoui, Driss & Ghedira (2017) yayılmış permütasyon akış atölyesi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının en azlanması amacını gerçekleştirmek için yeni bir kimyasal reaksiyon optimizasyonu sunmuşlardır. Abdel-Basset vd. (2018) permütasyon akışı atölye çizelgeleme problem için balina optimizasyon algoritması içerisinde yerel bir arama stratejisinin olduğu bir bütünleştirilmiş algoritma sunmuşlardır.

Hibrit akış tipi çizelgeleme problem ile ilgili yapılan çalışmaları Ribas, Leisten & Framiñan (2010) ve Ruiz & Vaquez Rodriguez (2010) literatür taraması çalışmalarında sunmuşlar ve toplam tamamlanma zamanının en çok kullanılan performans göstergesi olduğunu vurgulamışlardır. Gupta (1988) iki aşamalı ve aşamalarda tek makinenin olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme problemine yaklaşık çözüm veren yöntem sunmuştur. Hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümü için metasezgisel yaklaşımlar önermişlerdir. Engin & Döyen (2004) hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının en azlanması için yapay bağışıklık sistemi sunmuşlardır. Tang, Liu & Liu (2005) dinamik hibrit akış tipi çizelgeleme problemine bir sinir ağı modeli ve algoritması önermişlerdir. Jin, Yang & Ito (2006) her aşamada paralel ve özdeş makinelerin olduğu çok aşamalı hibrit akış tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Tavlama benzetimi ve değişken derinlikli arama algoritmalarına dayanan algoritmalar önermişlerdir. Alaykýran, Engin & Döyen (2007) hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümüne geliştirdikleri karınca kolonisi optimizasyon algoritmasını

sunmuşlardır. Janiak, Kozan, Lichtenstein & Oğuz (2007) hibrit akış tipi çizelgeleme problemine tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmaları temelli üç yeni algoritma geliştirmişlerdir. İncelenen problemde toplam ağırlıklı erkenlik, toplam ağırlıklı geç kalma ve toplam ağırlıklı bekleme süreleri çizelgeleme kriterleri olarak ele alınmıştır. Liao, Tjandradjaja & Chung (2012) parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasını darboğaz sezgiseli ve benzetimli tavlama yöntemleriyle melezleştirerek yeni bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Pan, Wang, Li & Duan (2014) çalışmalarında hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının en azlanması için yeni bir ayrık yapay arı kolonisi algoritması sunmuşlardır. Li, Pan & Wang (2014) hibrit akış tipi çizelgeleme problemleri için kimyasal reaksiyon optimizasyonu ve dağılım tahmininin birleştirildiği yeni bir hibrit değişken komşu arama algoritması önermişlerdir. Probleme uygun sekiz komşuluk yapısı geliştirmişlerdir. Ayrıca kinetik enerjiye duyarlı komşuluk değiştirme yaklaşımı ve dinamik bir komşuluk kümesi güncelleme mekanizması kullanmışlardır. Çalışmada etkili dağılım tahmini tabanlı küresel arama yaklaşımı sunulmuştur. Lin & Chen (2015) probleme simülasyon optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşım performans değerlendirmesi için bir simülasyon modeli, optimizasyon kısmı için bir genetik algoritmanın uygulanması ve bir hızlandırma tekniğini içermektedir. Komaki, Teymourian & Kayvanfar (2016) iki aşamalı ve her aşamada tek makinenin olduğu hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının en azlanması için yapay bağıklık sistemlerini önermişlerdir. Fernandez-Viaga, Molina-Pariente & Framinan (2018) toplam tamamlanma zamanının ez azlandığı hibrit akış tipi çizelgeleme probleminde etkili yeni yapıcı sezgisel yöntemler önermişlerdir. Lu, Gao, Pan, Li & Zheng (2019) gürültü kirliliğini kapsayan hibrit akış tipi çizelgeleme problemine matematiksel model ve çok amaçlı hücreselel gri optimizasyon çözüm olarak geliştirilmiştir.

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) farklı, kompleks optimizasyon problemlerine uygulanmıştır. Sha & Hsu (2006), Lin vd. (2010) atölye tipi çizelgeleme problemine; Sha & Hsu (2008) açık atölye çizelgeleme problemine; Zhang vd. (2009), Moslehi & Mahnam (2011), Huang vd. (2016) çok amaçlı esnek atölye çizelgeleme problemine, Nouri vd. (2017), Zarrouk, Bennour & Jemai (2019) esnek atölye çizelgeleme problemine, Chen vd. (2010), Chen (2011), Jia & Seo (2013), Koulinas, Kotsikas & Anagnostopoulos (2014) kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine, Liao, Tjandradjaja & Chung (2012), Marichelvan, Geetha & Tosun (2020) hibrit akış tipi çizelgeleme problemine, Suresh & Kumarappan (2013) bakım çizelgeleme problemine, Torabi vd. (2013) bağlantısız paralel makine çizelgeleme problemine, Zhang vd. (2008) akış tipi çizelgeleme problemine farklı PSO yaklaşımları önermişlerdir. Sunulan çalışma, özdeş paralel makineler ve sıraya bağlı hazırlık süresini içeren hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümünde PSO algoritmasının çözüm kalitesine başlangıç çözüm oluşturma yöntemlerinin etkisini ortaya koyarak literatüre katkı sunmaktadır.

### 3. Hibrit Akış Tipi Çizelgeleme

Bu çalışmada ele alınan problem şu şekilde tanımlanabilir:  $n$  adet iş,  $k$  sıralı aşamadan geçerek işlenmektedir. Her aşamada  $m_k$  paralel makine bulunmaktadır. Aşama sayısı en az iki olmalı ve en az bir aşamada birden fazla paralel makine bulunması gerekmektedir. Her ürün bir aşamada sadece

bir makinede işlenebilmektedir. Tüm işler aynı sırada tüm aşamaları tamamlamalıdır. Aşamalarda yer alan paralel makineler özdeştir. Bir işin bir aşamada yer alan paralel tüm makinelerdeki işlem süresi aynıdır.  $i$  işinin  $j$ 'nci aşamadaki işlem süresi  $p_{ji}$  ile gösterilmektedir. Birbirini takip eden aşamalar arasındaki stok alanının kapasite kısıtı bulunmamaktadır. Tüm makineler ve tüm işler başlama zamanında hazırdır. Makinelerde işlenen işler arasında geçişte sıra bağımlı hazırlık süreleri dikkate alınmaktadır. Her bir makinede belli bir zamanda sadece bir operasyon işlenebilmektedir. Makinelerden kaynaklı duruşlar dikkate alınmamıştır. Probleme makinelerde işlenecek işlerin sıralanması ve işlerin aşamalarda hangi makinelerde işleneceği toplam tamamlanma zamanını en azlayacak şekilde belirlenmesi amaçlanmaktadır.

#### 4. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Parçacık sürü optimizasyon algoritması kuşların sosyal davranışından ilham alarak geliştirilen popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Parçacık sürü optimizasyon algoritması, optimizasyon, çizelgeleme uygulamalarında neredeyse her alanda ele alınmıştır. Parçacık sürü optimizasyon algoritması kodlanmasının diğer yöntemlere göre daha kolay olması, az sayıda parametresinin olması, diğer stokastik algoritmalara kıyasla kararlı yakınsama özelliğine sahip olması algoritmasının avantajlarıdır.

Parçacık sürü optimizasyon algoritmasında, her bir çözüm parçacık olarak tanımlanmaktadır. Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması parçacıklardan oluşan popülasyonla başlamaktadır. PSO'nun başlangıç popülasyonunda yer alan başlangıç çözümleri rassal olarak oluşturulmaktadır. Popülasyon parçacıklardan oluşmakta ve her bir parçacığın hız ve pozisyonu bulunmaktadır. Arama uzayı içerisinde yer alan her bir parçacık  $i$ 'nin,  $t$ 'nci iterasyondaki hız  $x_i(t)$  ve pozisyonu  $v_i(t)$  şeklinde gösterilmektedir. PSO algoritmasında, tüm parçacıklar durdurma kriterine ulaşılan kadar güncellenmektedir. Durdurma kriteri sonucunda elde edilen çözüm esas çözümdür.  $(t+1)$ 'inci iterasyonda hızı Eşitlik (1) ve pozisyonu Eşitlik (2)'de sunulduğu şekilde güncellenmektedir (Marichelvam, Geetha & Tosun, 2020).

$$v_i(t+1) = w * v_i(t) + c_1 * [x_i^*(t) - x_i(t)] + c_2 * [x_g^*(t) - x_i(t)] \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2)$$

Burada yer alan  $w$  atalet ağırlığı;  $c_1$  ve  $c_2$  sıfır ve bir arasında yer alan rassal sayılar;  $x_i^*(t)$  yerel en iyi değer;  $x_g^*(t)$  küresel en iyi değerdir. Parçacık sürü optimizasyon algoritmasının genel adımları aşağıdaki gibidir:

- Adım 1: Sürü boyutu, sonlandırma kriteri, atalet ağırlığı,  $c_1$ ,  $c_2$ , amaç fonksiyonun belirlenmesi
- Adım 2: Parçacıkların başlatılması
- Adım 3: Parçacıkların yerel en iyi pozisyonunun belirlenmesi

- Adım 4: Parçacıkların hızlarının başlatılması
- Adım 5: Her parçacığın amaç fonksiyonu değerinin hesaplanması
- Adım 6: Parçacıkların küresel en iyi pozisyonunun belirlenmesi
- Adım 7: Parçacıkların hız ve pozisyonlarının güncellenmesi
- Adım 8: Durdurma kriterinin kontrol edilmesi, kriter sağlanıyorsa dur; aksi halde Adım 3'e geri dön.

Parçacık sürü optimizasyon algoritmasının başlangıç popülasyonu rassal olarak oluşturulmaktadır. İşler ilk aşamadan başlamak üzere gönderilme zamanlarına göre aşamada yer alan makineler içerisinde en uygun olan makineye atanır ve işlemleri tamamlanınca takip eden aşamaya geçer. Takip eden aşamada bir önceki üretim aşamasından gönderilme zamanına bağlı olarak aşamada yer alan makinelerden en uygun olanına atanır ve atanmış makine de işlemi gerçekleştirilir. Süreç bu şekilde tüm üretim aşamalarına uygulanır ve işler tüm üretim aşamalarından geçerek gerekli üretim sürecini tamamlar. Burada anlaşılacağı üzere her üretim aşamasında işlerin sıralanması farklı olabilmektedir. Bu şekilde işlerin her aşamada işleneceği makinenin sıranın belirlenmesiyle başlangıç çözümü elde edilmektedir.

Çalışmada ele alınan PSO algoritmasında başlangıç çözümlerinin sonuç üzerine etkisini analiz etmek için farklı sezgiseller kullanılmıştır. Rasgele oluşturma (RS), en kısa işlem süresi (EK) kuralı, en uzun işlem süresi (EB) kuralı ve NEH (Nawaz, Ensore & Ham,1983) başlangıç çözümleri oluşturulmasında kullanılan sezgisellerdir. NEH, akış tipi çizelgeleme probleminde toplam tamamlanma zamanının en azlanması amacıyla için geliştirilen yapıcı bir sezgiseldir. NEH sezgiseli üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada işler toplam işlem sürelerine göre azalan biçimde sıralanmaktadır. İkinci aşamada sıralamanın ilk iki sırasında yer alan işlerin oluşabilecek olası iki sıralaması değerlendirilir. En iyi olan sıralama seçilerek, mevcut kısmi çözüm olarak güncellenir. Üçüncü aşamada, iş sıralamasında takip eden sırada yer alan iş mevcut kısmi çözüme eklenerek olası tüm sıralamaların sonuçları hesaplanarak en iyi sonuca sahip olan sıralama mevcut kısmi çözüm olarak güncellenir. Tüm işler mevcut kısmi çözüme eklenerek tüm işler mevcut kısmi çözümde yer alana kadar bu aşama tekrarlanır. Elde edilen mevcut kısmi çözüm üretim ortamına uygulanacak olan nihai sıralamadır.

## 5. Deneysel Çalışma ve Bulgular

Bu çalışmada yer alan deneysel çalışmalar, hibrit akış tipi çizelgeleme problemine çözümler sunan PSO algoritmasının performansını başlangıç çözümlerinin nasıl etkilediğini analiz etmek için gerçekleştirilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar, 2.40 GHz, 16 GB RAM ve Microsoft Windows 10 64 bit ile Intel Core i7-4700 CPU özelliklerine sahip bilgisayarla yapılmıştır. MATLAB programı, bu çalışmada kullanılan algoritmaları kodlamak için kullanılmıştır.

PSO algoritmasının performansını değerlendirmek için test problemleri oluşturulmuştur. Test problemleri iş sayısı 20, 35, 50, aşama sayısı 5, 8, 10 olmak üzere üç seviye ve aşamalarındaki makine sayıları 3 ve 5 olmak üzere iki seviye olarak oluşturulmuştur. İşlem süresi, hazırlık süresi sırasıyla

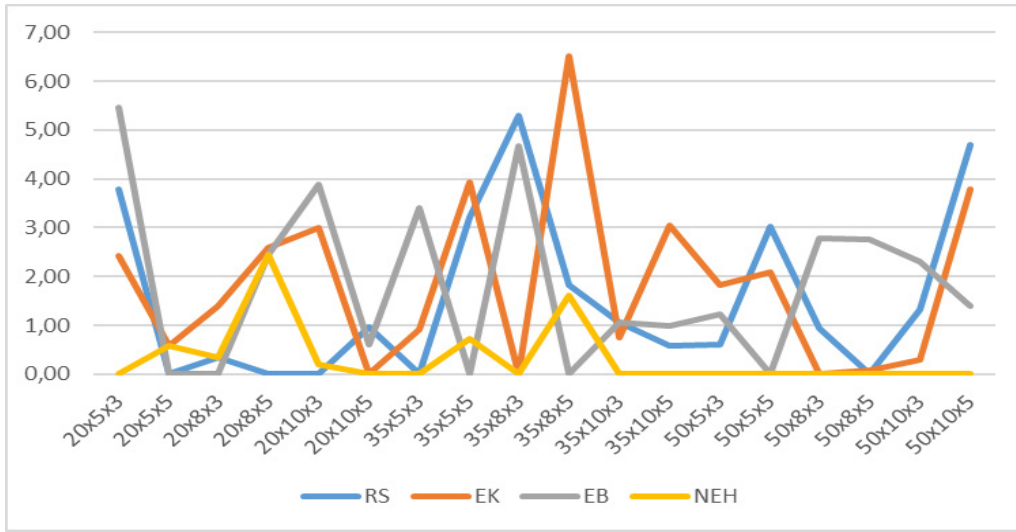
uniform dağılıma uygun olarak [1,100] ve [1,20]'dir. Çalışmada performans ölçęi olarak bağıl yüzde sapma (BYS) kullanılmıştır. YYS, Eşitlik (3)'de sunulan şekilde hesaplanmaktadır.

$$BYS = \frac{C_{max} - C_{max}^{best}}{C_{max}^{best}} \cdot 100 \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de yer alan  $C_{max}$  toplam tamamlanma zamanını,  $C_{max}^{best}$  problem için elde edilen en iyi tamamlanma zamanını, ifade etmektedir. Yapılan çalışmada başlangıç çözümlerinin tamamının RS olarak oluşturulduğu PSO, başlangıç çözümlerinin yüzde onunun EK'ya göre kalan başlangıç çözümlerinin rassal olarak oluşturulduğu PSO, başlangıç çözümlerinin yüzde onunun EB'ye göre kalan başlangıç çözümlerinin rassal olarak oluşturulduğu PSO, başlangıç çözümlerinin yüzde onunun NEH'e göre kalan başlangıç çözümlerinin rassal olarak oluşturulduğu PSO olarak dört farklı şekilde PSO algoritması probleme uygulanmıştır. Her bir yöntemle elde edilen YYS değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. n iş sayısını, m makine sayısını, g aşamalarda yer alan paralel makine sayısını ifade etmektedir. Başlangıç çözümünün rassal olarak oluşturulduğu yöntemde beş problem setinde, EK yönteminde üç problem setinde, EB yönteminde beş problem setinde, NEH yönteminde on iki problem setinde en düşük YYS değerlerine ulaşılmıştır. Her bir başlangıç çözüm oluşturma yönteminin tüm problem setlerinde ortalama bağıl yüzde sapma değerlerine bakıldığında en düşük ortalama YYS değeri olan 0.33 ile NEH yöntemidir. NEH yöntemini, RS, EB ve EK yöntemleri sırayla takip etmektedirler. şekilde 1'de EK ve EB yöntemleri daha yüksek YYS değerleri, NEH ve RS daha düşük YYS değerleri üretmişlerdir.

**Tablo 1:** Yöntemlerin YYS Değerleri

Test Problemleri nxm xg	RS	EK	EB	NEH
20x5x3	3,79	2,42	5,45	0,00
20x5x5	0,00	0,57	0,00	0,57
20x8x3	0,35	1,39	0,00	0,35
20x8x5	0,00	2,60	2,45	2,45
20x10x3	0,00	2,99	3,89	0,20
20x10x5	0,96	0,00	0,60	0,00
35x5x3	0,00	0,93	3,41	0,00
35x5x5	3,21	3,94	0,00	0,73
35x8x3	5,30	0,00	4,68	0,00
35x8x5	1,83	6,51	0,00	1,60
35x10x3	1,06	0,76	1,06	0,00
35x10x5	0,59	3,06	0,99	0,00
50x5x3	0,61	1,84	1,23	0,00
50x5x5	3,01	2,09	0,00	0,00
50x8x3	0,93	0,00	2,79	0,00
50x8x5	0,00	0,09	2,77	0,00
50x10x3	1,33	0,30	2,30	0,00
50x10x5	4,70	3,79	1,40	0,00
Ortalama	1,54	1,85	1,83	0,33



Şekil 1: Problemlere Göre BYS Değerleri

Yöntemlerin istatistiksel olarak analizi için Friedman testi ve Wilcoxon işaretli sıra testi uygulanmıştır. Tablo 2'de Friedman test sonuçları sunulmuştur. Çıkan  $p$  0.001 değeri açık olarak test edilen dört yöntemin arasında anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir. Friedman testi sonuçlarına göre NEH yöntemi en düşük ortalama sıralama değerine sahiptir.

Tablo 2: Friedman Sonuçları

Yöntemler	Ort. Sıralama değerleri
NEH	0.17
RS	0.95
EK	1.20
EB	1.25

Wilcoxon işaretli sıra testi, ikili yöntemlere uygulanmıştır. İlk olarak seçilen iki yöntemin bağıl yüzde sapma değerleri farkı hesaplanmış ve sonrasında test uygulanmıştır. Tablo 3'te sunulan Wilcoxon işaretli sıra testi sonuçlarına göre NEH yöntemi RS, EK, EB yöntemlerine göre daha iyi performans göstermektedir. NEH yönteminin literatürde yer alan geçmişte yapılan çalışmalardaki başarısı bilinmektedir. Özet olarak, hibrit akış tipi çizelgeleme probleminin çözümünde PSO algoritmasının farklı başlangıç yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların istatistiksel analizi, ele alınan problem için başlangıç çözümünde NEH yönteminin kullanımının algoritma performansına etkisinin diğer üç yöntemden daha önemli ölçüde iyi olduğunu doğrulamaktadır.

**Tablo 3:** Wilcoxon İşaretli Sıra Testi Sonuçları

Test Edilen Yöntemler	$p$ değerleri
RS-NEH	0.010
EK-NEH	0.001
EB-NEH	0.008

## 6. Sonuç

Hibrit akış tipi üretim ortamı günümüzde farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemidir. Hibrit akış tipi üretim ortamında kaynakların etkili şekilde kullanılmasında çizelgeleme faaliyetinin önemi oldukça fazladır. Bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin dikkate alındığı hibrit akış tipi üretim ortamının çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Ele alınan çizelgeleme problemi kombinasyonel optimizasyon problemidir ve problemin NP-zor olduğu bilinmektedir. Problemden toplam tamamlanma zamanının en azlanması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için problemin çözümüne PSO algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmanın başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında dört farklı yöntem kullanılarak bu yöntemlerin çözüme etkisi gözlemlenmiştir. Algoritmada başlangıç çözümleri oluşturulurken literatürde yaygın olarak kullanılan başlangıç çözüm oluşturma yöntemleri olan RS, EK, EB ve NEH yöntemleri uygulanmıştır. Farklı boyutlarda problemler için, önerilen başlangıç çözüm oluşturma yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin performansının karşılaştırılmasında ortalama bağıl yüzde sapma kullanılmıştır.

Elde edilen ortalama bağıl yüzde sapma değerlerine göre en uzun işlem süresi (EB) kuralı en yüksek bağıl sapmayı elde eden yöntemdir. En uzun işlem süresi (EB) kuralını azalan ortalama bağıl sapma değerleriyle takip eden yöntemler en kısa işlem süresi (EK) kuralı, rasgele oluşturma (RS) kuralı ve NEH'dir. Problem boyutlarına göre bağıl yüzde sapma değerleri başlangıç popülasyonu oluşturma da NEH sezgiselinin kullanımının problem boyutu büyüdükçe artan performansı ve iyi çözüme yakınsaması göstermektedir. Rassal olarak oluşturulan başlangıç popülasyonunun, arama alanında farklı noktalara doğru yönelme eğilimi problem boyutu küçükken rekabetçi bir yöntem olabilirken, problem boyutu büyüdüğünden iyi çözüme yakınsanmasında başarılı olmadığı görülmüştür. İncelenen problem için PSO algoritmasının başlangıç çözümünde NEH sezgiseli kullanımının çözümün güçlülüğünü etkilediği istatistiksel olarak da doğrulanmıştır.

Çalışmada gerçek hayat uygulayıcıların farklı sektörlerde tercih ettiği hibrit akış tipi üretim ortamının çizelgelenmesi probleminin metasezgisel algoritma ile çözümü ele alınmıştır. Farklı büyüklükte iş sayıları, aşama sayıları ve her aşamada yer alan paralel makine sayılarının olduğu ve makine hazırlık sürelerinin dikkate alındığı farklı zor problem çeşitleri oluşturulmuştur. Literatürde çizelgeleme problemlerinde tercih edilen PSO algoritması probleme uygulanmıştır. Algoritmanın performansını geliştirmek için başlangıç çözümünde literatürde başlangıç çözümü oluşturmada

kullanılan yöntemler uyarlanmıştır. Hibrit akış tipi çizelgeleme problemi çeşidinin çözümü için uygulanan PSO algoritmasında başlangıç çözüm oluşturmada kullanılan yöntemin çözüm kalitesini etkilediği çalışmada yapılan deneysel çalışmalarla ortaya konması, PSO algoritmasında başlangıç çözümlerinin belirli kısmının NEH kuralına göre oluşturulmasının algoritmanın güçlülüğünü artırdığı gözlemlenmesi çalışmanın literatüre katkısıdır.

Hibrit akış tipi çizelgeleme problemlerine çözüm sunmada, PSO algoritmasının başlangıç çözüm oluşturulmasında NEH sezgiselinin kullanımını algoritmanın uygulanması kolaylığı ve iyi çözüme ulaşmada oldukça güçlü bir yöntem sunması nedeniyle çalışma araştırmacıları, uygulayıcıları bu alanda çalışmaya teşvik edecektir. Bundan sonraki çalışmalarda aynı problemin çözümüne farklı metasezgisel algoritmalar sunularak metasezgisel algoritmaların performansları karşılaştırılabilir. Aynı problem işlerin gönderilme zamanları, makine arızaları, bloklama sınırlamaları gibi durumlar dikkate alınarak daha kompleks gerçek hayat çizelgeleme problemi haline getirilerek çeşitli algoritmalarla çözülebilir. Aynı problemin farklı metasezgisel algoritmalarla çözümünde, farklı metasezgisel algoritmaların başlangıç çözümlerinin algoritma kalitesine etkisi incelenebilir.

#### **Yazar Katkısı**

Çalışmanın bütün aşamaları Dr. Madenoğlu tarafından yürütülmüştür.

#### **Çıkar Çatışması**

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

#### **Finansal Destek**

Yazar bu çalışma için herhangi bir kurumdan destek almamıştır.

#### **Kaynaklar**

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., El-Shahat, D., & Mirjalili, S. (2018). A hybrid whale optimization algorithm based on local search strategy for the permutation flow shop scheduling problem. *Future Generation Computer Systems*, 85, 129-145.
- Alaykýran, K., Engin, O., & Döyen, A. (2007). Using ant colony optimization to solve hybrid flow shop scheduling problems. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 35(5-6), 541-550.
- Bargaoui, H., Driss, O. B., & Ghédira, K. (2017). A novel chemical reaction optimization for the distributed permutation flowshop scheduling problem with makespan criterion. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 239-250.
- Ben-Daya, M., & Al-Fawzan, M. (1998). A tabu search approach for the flow shop scheduling problem. *European journal of operational research*, 109(1), 88-95.
- Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(3), 268-308.

- Campbell HG, Dudek RA, Smith BL. (1970). A heuristic algorithm for the n job, m machine sequencing problem. *Management Science*, 16(10), 630-637.
- Chen, R. M., Wu, C. L., Wang, C. M., & Lo, S. T. (2010). Using novel particle swarm optimization scheme to solve resource-constrained scheduling problem in PSPLIB. *Expert systems with applications*, 37(3), 1899-1910.
- Chen, R. M. (2011). Particle swarm optimization with justification and designed mechanisms for resource-constrained project scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7102-7111.
- Engin, O., & Döyem, A. (2004). A new approach to solve hybrid flow shop scheduling problems by artificial immune system. *Future generation computer systems*, 20(6), 1083-1095.
- Fernandez-Viagas, V., & Framinan, J. M. (2015). NEH-based heuristics for the permutation flowshop scheduling problem to minimise total tardiness. *Computers & Operations Research*, 60, 27-36.
- Fernandez-Viagas, V., Molina-Pariente, J. M., & Framinan, J. M. (2018). New efficient constructive heuristics for the hybrid flowshop to minimise makespan: A computational evaluation of heuristics. *Expert Systems with Applications*, 114, 345-356.
- Gupta, J. N. (1988). Two-stage, hybrid flowshop scheduling problem. *Journal of the operational Research Society*, 39(4), 359-364.
- Ho JC, Chang Y. (1991). A new heuristic for the n-Job, m-Machine flow-shop problem. *European Journal of Operational Research*, 52(2), 194-202.
- Huang, S., Tian, N., Wang, Y., & Ji, Z. (2016). Multi-objective flexible job-shop scheduling problem using modified discrete particle swarm optimization. *SpringerPlus*, 5(1), 1432.
- Janiak, A., Kozan, E., Lichtenstein, M., & Oğuz, C. (2007). Metaheuristic approaches to the hybrid flow shop scheduling problem with a cost-related criterion. *International Journal of Production Economics*, 105(2), 407-424.
- Jia, Q., & Seo, Y. (2013). An improved particle swarm optimization for the resource-constrained project scheduling problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(9-12), 2627-2638.
- Jin, Z., Yang, Z., & Ito, T. (2006). Metaheuristic algorithms for the multistage hybrid flowshop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 322-334.
- Johnson, S. M. (1954). Optimal two-and three-stage production schedules with setup times included. *Naval research logistics quarterly*, 1(1), 61-68.
- Komaki, G. M., Teymourian, E., & Kayvanfar, V. (2016). Minimising makespan in the two-stage assembly hybrid flow shop scheduling problem using artificial immune systems. *International Journal of Production Research*, 54(4), 963-983.
- Koulinas, G., Kotsikas, L., & Anagnostopoulos, K. (2014). A particle swarm optimization based hyper-heuristic algorithm for the classic resource constrained project scheduling problem. *Information Sciences*, 277, 680-693.
- Li, J. Q., Pan, Q. K., & Wang, F. T. (2014). A hybrid variable neighborhood search for solving the hybrid flow shop scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 24, 63-77.
- Liao, C. J., Tjandradjaja, E., & Chung, T. P. (2012). An approach using particle swarm optimization and bottleneck heuristic to solve hybrid flow shop scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 12(6), 1755-1764.
- Lin, T. L., Horng, S. J., Kao, T. W., Chen, Y. H., Run, R. S., Chen, R. J., ... & Kuo, I. H. (2010). An efficient job-shop scheduling algorithm based on particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2629-2636.

- Lin, J. T., & Chen, C. M. (2015). Simulation optimization approach for hybrid flow shop scheduling problem in semiconductor back-end manufacturing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 51, 100-114.
- Lu, C., Gao, L., Pan, Q., Li, X., & Zheng, J. (2019). A multi-objective cellular grey wolf optimizer for hybrid flowshop scheduling problem considering noise pollution. *Applied Soft Computing*, 75, 728-749.
- Marichelvam, M. K., Geetha, M., & Tosun, Ö. (2020). An improved particle swarm optimization algorithm to solve hybrid flowshop scheduling problems with the effect of human factors–A case study. *Computers & Operations Research*, 114, 104812.
- Moslehi, G., & Mahnam, M. (2011). A Pareto approach to multi-objective flexible job-shop scheduling problem using particle swarm optimization and local search. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 14-22.
- Murata, T., Ishibuchi, H., & Tanaka, H. (1996). Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 30(4), 957-968.
- Naderi, B., & Ruiz, R. (2014). A scatter search algorithm for the distributed permutation flowshop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 323-334.
- Nawaz M, Ensore EJ, Ham I. (1983). A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem. *Omega, the International Journal Of Management Science*, 11(1), 91-95.
- Nouiri, M., Bekrar, A., Jemai, A., Trentesaux, D., Ammari, A. C., & Niar, S. (2017). Two stage particle swarm optimization to solve the flexible job shop predictive scheduling problem considering possible machine breakdowns. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 595-606.
- Ólafsson, S. (2006). Metaheuristics. *Handbooks in operations research and management science*, 13, 633-654.
- Palmer D. (1965). Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time-a quick method of obtaining a near optimum. *Operational Research Quarterly*, 16(1), 101-107.
- Pan, Q. K., Tasgetiren, M. F., & Liang, Y. C. (2008). A discrete particle swarm optimization algorithm for the no-wait flowshop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 35(9), 2807-2839.
- Pan, Q. K., Tasgetiren, M. F., Suganthan, P. N., & Chua, T. J. (2011). A discrete artificial bee colony algorithm for the lot-streaming flow shop scheduling problem. *Information sciences*, 181(12), 2455-2468.
- Pan, Q. K., Wang, L., Li, J. Q., & Duan, J. H. (2014). A novel discrete artificial bee colony algorithm for the hybrid flowshop scheduling problem with makespan minimisation. *Omega*, 45, 42-56.
- Ribas, I., Leisten, R., & Framiñan, J. M. (2010). Review and classification of hybrid flow shop scheduling problems from a production system and a solutions procedure perspective. *Computers & Operations Research*, 37(8), 1439-1454.
- Ribas, I., Companys, R., & Tort-Martorell, X. (2011). An iterated greedy algorithm for the flowshop scheduling problem with blocking. *Omega*, 39(3), 293-301.
- Ruiz, R., Maroto, C., & Alcaraz, J. (2006). Two new robust genetic algorithms for the flowshop scheduling problem. *Omega*, 34(5), 461-476.
- Ruiz, R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2010). The hybrid flow shop scheduling problem. *European journal of operational research*, 205(1), 1-18.
- Sha, D. Y., & Hsu, C. Y. (2006). A hybrid particle swarm optimization for job shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 51(4), 791-808.
- Sha, D. Y., & Hsu, C. Y. (2008). A new particle swarm optimization for the open shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 35(10), 3243-3261.
- Suresh, K., & Kumarappan, N. (2013). Hybrid improved binary particle swarm optimization approach for generation maintenance scheduling problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 9, 69-89.

- Tang, L., Liu, W., & Liu, J. (2005). A neural network model and algorithm for the hybrid flow shop scheduling problem in a dynamic environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 16(3), 361-370.
- Torabi, S. A., Sahebjamnia, N., Mansouri, S. A., & Bajestani, M. A. (2013). A particle swarm optimization for a fuzzy multi-objective unrelated parallel machines scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 13(12), 4750-4762.
- Widmer M, Hertz A. (1989). A new heuristic method for the flowshop sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 41, 186-193, 1989.
- Yagmahan, B., & Yenisey, M. M. (2008). Ant colony optimization for multi-objective flow shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 411-420.
- Zarrouk, R., Bennour, I. E., & Jemai, A. (2019). A two-level particle swarm optimization algorithm for the flexible job shop scheduling problem. *Swarm Intelligence*, 13(2), 145-168.
- Zhang, C., Sun, J., Zhu, X., & Yang, Q. (2008). An improved particle swarm optimization algorithm for flowshop scheduling problem. *Information Processing Letters*, 108(4), 204-209.
- Zhang, G., Shao, X., Li, P., & Gao, L. (2009). An effective hybrid particle swarm optimization algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4), 1309-1318.

## Özgeçmiş

**Dr. Fatma Selen Madenoğlu**, lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini Endüstri Mühendisliği alanında tamamlamıştır. Yazar halen Abdullah Gül Üniversitesi İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı'nda doktor öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Operasyonel araştırma, metasezgisel algoritmalar, karar verme, çizelgeleme çalışma alanlarıdır.