

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SIRA BAĞIMLI HAZIRLIK SÜRESİ BULUNAN İLİŞKİSİZ PARALEL
MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MELEZ ATEŞ BÖCEĞİ
ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buğra Davut DAŞKIN

AĞUSTOS 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SIRA BAĞIMLI HAZIRLIK SÜRESİ BULUNAN İLİŞKİSİZ PARALEL
MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MELEZ ATEŞ BÖCEĞİ
ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ**

Buğra Davut DAŞKIN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 07 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 23 / 08 / 2024

Tez Danışmanı : Dr. Kadir BÜYÜKÖZKAN

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın tamamlanmasında emeği geçen herkese derin minnettarlığımı sunmak istiyorum.

İlk olarak, bu çalışmanın yönetimini üstlenen ve bilgi birikimiyle yol gösteren danışman hocam sayın Dr. Kadir BÜYÜKÖZKAN'a teşekkür etmek istiyorum. Sayın hocamın sabrı, bilgeliği ve tez sürecinde sağladığı rehberlikler, bu çalışmanın kalitesini artırmamda önemli rol oynadı. Kendisine saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni eğiterek destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümündeki tüm değerli akademisyenlere ayrı ayrı minnettarım. Özellikle Doç. Dr. Ömer Faruk YILMAZ, Doç. Dr. Gökhan ÖZÇELİK gibi öğretim üyeleri, sundukları bilgi ve deneyimleriyle benim akademik gelişimime katkı sağladılar. Onların özverili çalışmaları ve akademik vizyonları, benim için gerçek bir ilham kaynağı oldu.

Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Endüstri Mühendisi Aybala KILIÇ'a da özel bir teşekkür borçluyum. Onun samimi destekleri ve fikir alışverişi, bu çalışmanın çeşitli aşamalarında benim için büyük önem taşıdı.

Aileme, özellikle de anne ve babama, her zaman moral destekleri ve sabırlarıyla yanımda oldukları için minnettarım. Kardeşlerime de teşekkür etmek istiyorum; onların cesaretlendirici sözleri ve destekleyici tutumları, bu süreci daha kolay geçirmemi sağladı. Ayrıca, sevgili nişanlığımın sıcak desteği ve güveni, her zaman beni motive etti ve ileriye bakmamı sağladı. Ona olan sevgim ve minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Bu önsözü yazarken, tezin bir parçası olarak bu çalışmanın oluşturulmasında emeği geçen herkesin katkısını anmak ve onlara minnettarlığımı ifade etmek istedim. Umarım bu çalışma, ilgili alanlarda faydalı bir katkı sağlar.

Buğra Davut DAŞKIN

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sıra Bağımlı Hazırlık Süresi Bulunan İlişkisiz Paralel Makine Çizelgeleme Probleminin Melez Ateş Böceği Algoritması İle Çözümü” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Kadir BÜYÜKÖZKAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/08/2024

Buğra Davut DAŞKIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Literatür Araştırması	2
1.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	9
1.2.1. Paralel Makineler	9
1.2.2. Hazırlık Süreleri	10
1.2.3. Makine Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Yöntemleri.....	10
1.3. Matematiksel Modelleme	13
1.4. Amaç ve Kapsam.....	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	17
2.1. Benzetimli Tavlama	17
2.2. Genetik Algoritma.....	20
2.3. Ateş Böceği Algoritması	24
2.4. Melez Ateş Böceği Algoritması	30
2.5. Değişken Komşuluk Arama	32
2.5.1. Takaslama Fonksiyonu (Swap).....	32
2.5.2. Geriye Dönme Fonksiyonu (Reverse).....	34
2.5.3. Ekleme Yapma Fonksiyonu (Insertion)	35
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
3.1. Değişken Komşuluk Arama Eşik Değer Analizi.....	36
3.2. Geliştirilmiş Melez Ateş Böceği Algoritması'nın Fizibilite Analizi.....	37
3.3. Algoritma Test Sonuçları	39
3.4. Gerçek Hayat Problemi	59

3.4.1. Problem Tanımı.....	59
3.4.2. Çözüm Sonuçları.....	62
4. SONUÇLAR.....	67
5. ÖNERİLER.....	70
6. KAYNAKLAR.....	71
7. EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SIRA BAĞIMLI HAZIRLIK SÜRESİ BULUNAN İLİŞKİSİZ PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MELEZ ATEŞ BÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Buğra Davut DAŞKIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kadir BÜYÜKÖZKAN
2024, 75 Sayfa

Bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Melez bir yaklaşım benimsenmiş, ateş böceği algoritması ile genetik algoritmanın mutasyon, seçim ve çaprazlama operatörleri birleştirilmiştir. Ayrıca, değişken komşuluk arama algoritması ile çözüm kalitesi artırılmıştır. Test verileri, Python dili ile geliştirilen bir veri üretim programı kullanılarak elde edilmiştir. Melez algoritma MATLAB dilinde kodlanmıştır.

Küçük boyutlu veriler için GAMS ile oluşturulan matematiksel model çözümleri ve büyük boyutlu veriler için benzetimli tavlama, genetik algoritma ve ateş böceği algoritması metasezgisel çözümler, geliştirilen melez yöntemin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, melez ateş böceği algoritmasının bu problem için etkili olduğunu göstermektedir.

Algoritma, Kayseri Organize Sanayi'deki bir fabrikanın verilerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, üretim planlamasında %12,77 zaman tasarrufu sağlayarak mevcut durumu iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Sıra bağımlı hazırlık süresi, İlişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi, Melez algoritma, Ateş böceği algoritması, Genetik algoritma, Benzetimli tavlama, Değişken komşuluk arama, Optimizasyon

Master Thesis

SUMMARY

SOLVING THE UNRELATED PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM WITH SEQUENCE-DEPENDENT SETUP TIMES USING A HYBRID FIREFLY ALGORITHM

Buğra Davut DAŞKIN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Kadir BÜYÜKÖZKAN
2024, 75 Pages

This study addresses the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times. A hybrid approach was developed, combining the firefly algorithm with the mutation, selection, and crossover operators of the genetic algorithm. Additionally, solution quality was enhanced using a variable neighborhood search algorithm.

Test data were generated using a Python-based data production program, and the hybrid algorithm was implemented in MATLAB. For small data sets, solutions from a GAMS-coded mathematical model were compared to those from simulated annealing, genetic algorithm, and firefly algorithm for larger data sets. Results indicate the hybrid firefly algorithm is effective in solving the scheduling problem.

The developed algorithm was applied to a real-life scenario using data from a factory in the Kayseri Organized Industrial Zone. When compared with the company's current situation, it was found to improve production by time saves planning efficiency by 12.77%.

Keywords: Sequence-dependent setup times, Unrelated parallel machine scheduling problem, Hybrid firefly algorithm, Firefly algorithm, Genetic algorithm, Simulated Annealing, Variable neighborhood search, Optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması	3
Şekil 2. Makine çizelgeleme problemi çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması (Durasevic & Jakobovic, 2023)	11
Şekil 3. BT metasezgiseli algoritma akış diyagramı	19
Şekil 4. Tek noktada çaprazlama işlemi	21
Şekil 5. Çift noktada çaprazlama işlemi	21
Şekil 6. Kromozom gen yapısı gösterimi (Chen J.-F. , 2005)	21
Şekil 7. Takaslama operatörü ile mutasyona uğramış kromozom yapısı	22
Şekil 8. Ekleme operatörü ile mutasyona uğramış kromozom yapısı	22
Şekil 9. Rulet tekeri ile ebeveyn seçimi	23
Şekil 10. Ateş böceği algoritması akış şeması.....	27
Şekil 11. Melez ateş böceği algoritması akış şeması.....	31
Şekil 12. Geliştirilmiş değişken komşuluk arama algoritması akış şeması.....	33
Şekil 13. Takaslama fonksiyonunun işlevi.....	34
Şekil 14. Geriye dönme fonksiyonunun işlevi.....	34
Şekil 15. Ekleme yapma fonksiyonunun işlevi	35
Şekil 16. Test verilerinde elde edilen Cmax değerlerinin analizi.....	40
Şekil 17. Test verilerinde elde edilen CPU değerlerinin analizi.....	48
Şekil 18. Test verilerinde elde edilen FDS değerlerinin analizi	49
Şekil 19. Eşit CPU (Sn) değerlerinde algoritmanın yayılım zamanı ortalamalarının minimumdan yüzde sapma değerleri	58
Şekil 20. Eşit CPU (Sn) değerlerinde algoritmaların FDS ortalamalarının minimumdan yüzde sapma değerleri	59
Şekil 21. Gerçek hayat probleminin mevcut makine çizelgesi gantt diyagramı	62
Şekil 22. Geliştirilen MABA ile gerçek hayat probleminin bulunan en iyi çözümünün gantt şeması.....	65
Şekil 23. Geliştirilen MABA ile gerçek hayat probleminde bulunan en iyi çözümün algoritma koşumu esnasında bulunduğu iterasyon değerleri akışı grafiği.....	66

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Literatür araştırması tablosu.....	7
Tablo 2. Matematiksel model indis ve kümeleri	13
Tablo 3. Matematiksel model parametreleri	13
Tablo 4. Matematiksel model karar değişkenleri (Helal, Rabadi, & Al-Salem, 2006)	14
Tablo 5. Matematiksel model	14
Tablo 6. Rulet tekeri ebeveyn seçilme olasılıkları dağılımı	23
Tablo 7. Veri üretici algoritma değer aralıkları	36
Tablo 8. DKA algoritması eşik değer analizi	37
Tablo 9. MABA fizibilite analizi.....	38
Tablo 10. Test verileri koşum ortalamaları çözüm sonuçları	41
Tablo 11. Test verisi çözüm sonuçlarının minimumdan yüzde sapma değerlerinin kıyaslanması	44
Tablo 12. Eşit CPU değerlerinde test verileri koşum sonuçları	51
Tablo 13. Eşit CPU değerlerinde test verileri minimumdan yüzde sonuçları	54
Tablo 14. Gerçek hayat probleminin çözüm sonuçları.....	64
Tablo 15. Gerçek hayat problemi çözüm sonuçları minimumdan yüzde sapma değerleri	64
Tablo 16. İşletmeden alınan veriler	78
Tablo 17. Makine işlem süreleri	93

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Makine ortamı
β	: Ek kısıtlamalar
γ	: Optimizasyon kriterleri
C_{max}	: Tüm işlerin tamamlanma zamanlarının en büyüğü
s_{ijk}	: Sıra bağımlı hazırlık süresi
İPMÇP	: İlişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi
SBHS	: Sıra bağımlı hazırlık süresi
MÇP	: Makine çizelgeleme problemi
SOA	: Solucan optimizasyonu algoritması
ABA	: Ateş böceği algoritması
MABA	: Melez ateş böceği algoritması
GA	: Genetik algoritma
BT	: Benzetimli tavlama
GBT	: Genetik benzetimli tavlama
TA	: Tabu arama
DSA	: Dal ve sınır algoritması
MIP	: Karışık tamsayılı programlama
SK	: Sevk kuralı
EUİS	: En uzun işlem süresi
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
FDS	: Fonksiyon değerlendirme sayısı

1. GENEL BİLGİLER

Günümüz iş dünyasında verimlilik, rekabet avantajı ve maliyet tasarrufu her zamankinden daha kritik hale gelmiştir. Özellikle imalat endüstrisinde, üretim süreçlerinin düzenlenmesi ve kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, bir şirketin başarısını belirleyen önemli faktörler haline gelmiştir. Bu nedenle, üretim süreçlerinin optimize edilmesi, işletmeler için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır.

Çizelgeleme, üretim ve hizmet veren birçok sektörde sürekli başvurulmuş bir karar verme sürecidir. Elde bulunan kaynakların bir veya daha çok göreve belirli zaman aralıklarında tahsis edilmesiyle ilgilenmektedir ve amacı bir veya daha fazla hedefi optimize etmektir. Kaynaklar atölyede bulunan makineler ise, görevler üretim sürecini oluşturacak olan işlerdir. Her görev belirli bir öncelik düzeyine sahip olabilir. Öncelikler, görevin başlangıç ve bitiş zamanı kısıtlamalarına tabi olduğuna göre değişmektedir. Amaçlar farklılık gösterebilmektedir. Bir amaç son görevin tamamlanma zamanının en aza indirilmesi iken, diğeri önceden belirtilen işlerin bitiş tarihlerinden sonra tamamlanan işlerin sayısının ya da geciken işlerin, gecikme miktarlarını en aza indirilmesi olabilir (Pinedo, 2008).

Çizelgeleme problemleri gerçek hayatta genellikle bütün itibariyle karmaşıktır, büyük ölçeklidir, zorlayıcı konulardır ve çeşitli spesifik kısıtlamalar ile tanımlanırlar. Probleme çözüm bulabilmek için, gerçek dünyada karşılaşılan sorunlar optimizasyon problemleri olarak formüle edilmelidir. Formüle edilen sistemin sürdürülebilir ve sık kullanılabilir olması için, verimli ve maliyeti azaltan stratejiler uygulamak da çok önemlidir. Bu sorunların çözümüne yönelik çeşitli çözüm stratejileri geliştirilmesine rağmen, yine de daha uygun sonuçlar elde eden yöntemlere ihtiyaç vardır (Ravetti, Mateus, & Rocha, 2007).

Günlük hayatta hizmet ve üretim sektörlerinde bulunan çizelgeleme problemlerinde git gide artan bir öneme sahip olan konu da hazırlık ya da kurulum süresi ve bu süreçlerden doğacak olan maliyetlerdir. Hazırlık/kurulum süresi ve maliyetlerini işlerin işlem süresi ve maliyetlerinden ayrı düşünmeksizin problem yapısını kurmak, hazırlık ve makine işlem sürelerinin, hesaplama yapılırken aynı anda yapılmasını sağlar ve işlerin tamamlanma zamanlarını kısaltabilmektedir. Bu sayede işletmelerde, tam zamanında üretim, rekabete dayalı üretim gibi sistemsel uygulamalarda fayda elde edilir. Bu faydalara üretim sisteminden daha az maliyet, çıktı miktarları ve üretim hızında artış, sipariş teslimat

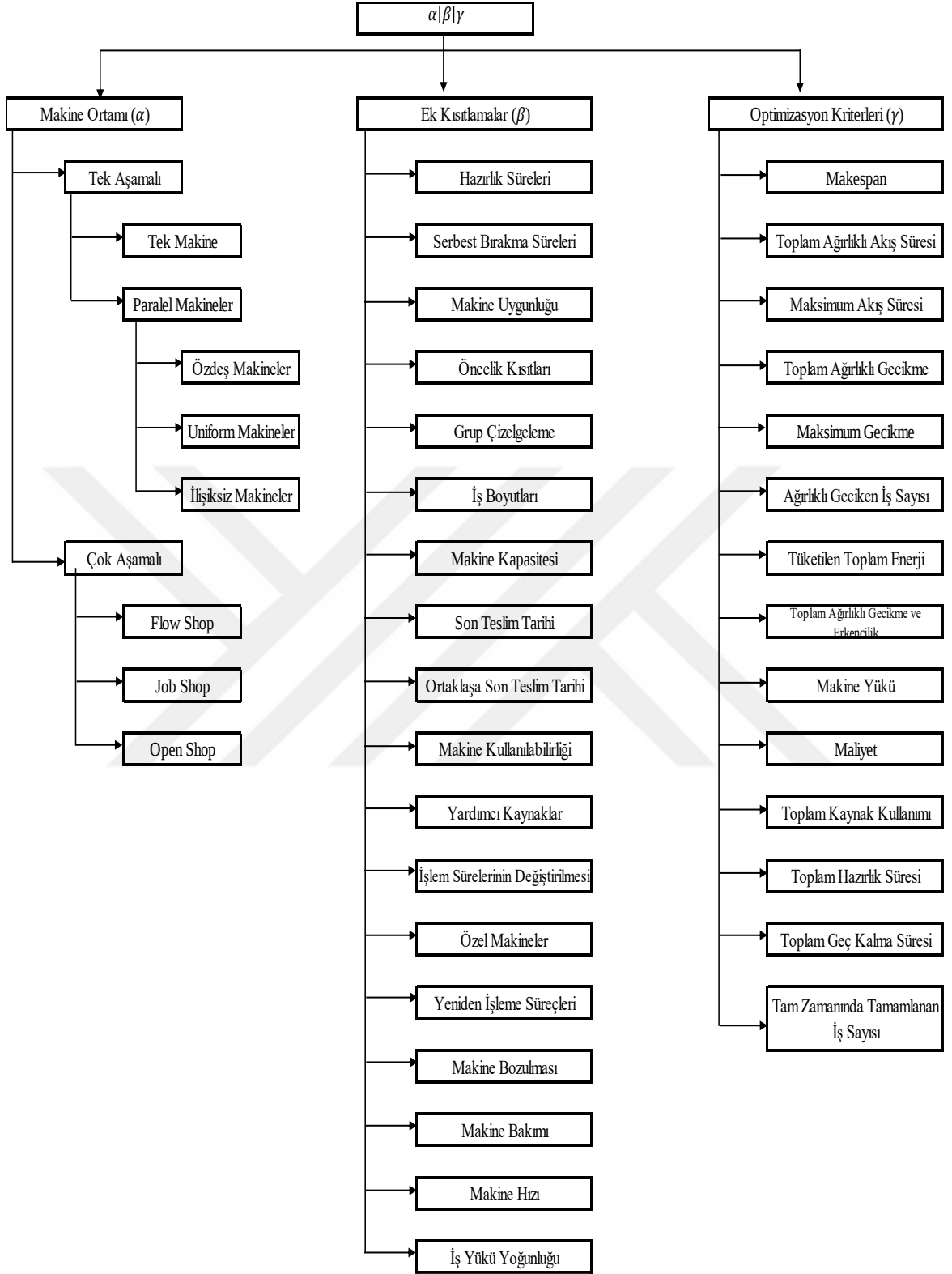
zamanlarında azalış, makinelerde işler arası daha hızlı geçişler ve tüm bunlara bağlı olarak artan rekabet gücü, artan kar oranı ve müşteri memnuniyeti, üretimde yalın üretim süreçlerine entegrasyonda artış ve daha az stok ile çalışma örnek olarak verilebilir. Bu sayede işlerin çizelgelenerek planlanması işletmede karlılığı artıracaktır (Allahverdi, 2015).

1.1. Literatür Araştırması

İlişkisiz Paralel Makine Çizelgeleme Problemi (İPMÇP), günümüz imalat süreçlerinde bulunan, verimliliği artırmada yalın çözümler arayan işletmeler için büyük ilgi görmektedir. Bu literatür araştırması, sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan İPMÇP'nin, meta sezgisel yöntemler ile çözümüne odaklanmıştır. İPMÇP, makinelerin işlem sürelerine göre işlerin çizelgelenmesini ele alırken, sıra bağımlı hazırlık süresi (SBHS); makinelerin işlerin geçişleri süresince zamanı verimli kullanmayı, amaç fonksiyonu; tüm işlerin tamamlanma zamanını (C_{max}) ya da gecikme ve erkenlik değerlerini optimize etmeye odaklanır. Bu bağlamda araştırmanın amacı İPMÇP ve üretim planlama alanlarında yapılan çalışmaları sistemli bir şekilde inceleyerek, bu alanlar arasındaki ilişkileri ve mevcut yöntemleri, uygulamaları ve araştırma trendlerini değerlendirmektir. Bu bölümde genelden özele doğru, literatürde yer alan çizelgeleme problemlerine yer verilmiştir.

Çizelgeleme problemleri literatürde yapılan araştırmalara göre, Şekil 1'de verildiği $\alpha|\beta|\gamma$ notasyonuna göre sınıflandırılabilen ve notasyon kombinasyonuna göre problem türleri üretilebilmektedir.

Yapılan ilk çalışmalarda, Ibarra ve Kim (1977), yayılım zamanının en aza indirilmesini düşünmüşlerdir ve en uzun işlem süresine sahip işleri önce çizelgeleyen en uzun işlem süresi (EUIS) kuralına dayalı olarak 5 sevk kuralını (SK) uyarlamışlardır. Önerilen kurallar, yayılım zamanı minimizasyonu için en popüler ve en iyi performans gösteren sevk kuralları arasında yer alan, daha sonra yaygın olarak kullanılan min-min ve maks-min sevk kurallarını içermektedir. Bu nedenle, bu çalışma, İPMÇP alanındaki öncü çalışmalardan biri olarak kabul edilebilir, çünkü bu problem için sevk kurallarını inceleyen ilk çalışmalardan biridir. Ayrıca, önerilen iki SK, gelecekteki çeşitli çalışmalarda temel olarak kullanılmıştır ve bu da alan üzerindeki önemini ve etkisini göstermektedir. De ve Morton (1980) çalışmalarına ilk önce başka bir SK kullanmış, böylelikle yayılma zamanına yaklaşan yeni bir SK önererek önceki araştırmayı genişletmişlerdir. Daha sonra, belirli makineler belirli bir faktörle çarpılan üretim süresine eşit bir yüke ulaştığında, kural bu makineleri sonraki çizelgeleme



Şekil 1. Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması

kararlarında dikkate almamıştır. Bu şekilde SK, yükü tüm makinelerle eşit olarak dağıtmaktadır. Önerilen kural ilginç bir konsepti temsil etmektedir, lakin yayılma zamanının yaklaşık olarak tahmin edilmesi gerekliliği nedeniyle, çalışmanın kullanılabilirliği sınırlandırılmaktadır. Yalnızca statik ortamlarda uygulanabilecek bir yöntemdir.

Braun vd. (1999) ve Braun vd. (2001), yayılma zamanının minimizasyonu için 11 SK yöntemini göz önünde bulundurarak önceki çalışmaları genişletmişlerdir. Ele alınan yöntemler, tümü farklı heterojenlik özelliklerine sahip problemler üzerinde incelenen 5 SK, bir genetik algoritma (GA), benzetimli tavlama (BT), genetik benzetimli tavlama (GBT), tabu arama (TA) içermektedir. Sonuçlar, GA'nın en iyi performansı elde ettiğini ve bunu min-min kuralının yakından takip ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, metasezgisel ve sevk kuralları arasındaki koşum sürelerindeki büyük farkı da göstermiştir ve metasezgisel yöntemlerin hesaplama açısından önemli ölçüde daha hızlı olduğunu ortaya koymuştur. Böylelikle literatürde İPMÇP'ni çözmek için metasezgisellerin kullanımı, sonraki çalışmalarda artış göstermektedir.

İPMÇP'ni çözmek için yapılan ilk sezgisel çalışmalar incelendiğinde, Bitran ve Gilbert (1990), kimya endüstrisinde küçük ve büyük hazırlık süreleri arasındaki büyüklük sırası farkını içeren bir problemi melez yöntem ile ele almışlardır. Hazırlık maliyetini temsil etmek için eski bir ağ, büyük kurulum süreleriyle başa çıkmak için bir dal ve sınır algoritması (DSA) ve üretilen ürünü aileler içinde sıralamak için bir sezgisel yöntem oluşturmuşlardır. Guinet (1993), bunun bir araç rotalama problemi olduğunu öne sürmüştür ve dolayısıyla NP-zor olduğunu göstermek için bir karışık tamsayılı programlama (MIP) modeli ile $R_m|s_{ij}|C_{max}$ (ve başka bir $R_m|s_{ij}|C_{max}$) formüle etmiştir. Atama problemi algoritmasına dayalı bir sezgisel yöntem önermiştir. Takip eden yıllarda $R_m|s_{ij}|C_{max}$ için, Franca vd. (1996), TA'ya dayalı üç aşamalı bir sezgisel yöntem önermiştir.

İPMÇP'ni çözmede metasezgisel yöntem kullanımları yapılan çalışmalarda yaygınlaştıkça, yöntemlerin birbiri ile kıyaslanarak en iyi çözümü veren yöntemi aramak kaçınılmaz bir fikir haline gelmiştir. Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan biri, Mendes vd.'nin (2002), $R_m|s_{ij}|C_{max}$ için iki metasezgisel yöntemi karşılaştırmasıdır. Bunlar: TA'ya dayalı bir sezgisel yöntem ve GA'yı yerel arama prosedürleriyle birleştiren bir memetikti. Sonuçlar, memetiğin hazırlık sürelerinin işlem sürelerine göre küçük olduğu durumlarda üstün olduğunu, ancak TA'nın uzun hazırlık sürelerinin ve çok sayıda makinenin (testlerinde altı veya sekiz makine) olduğu örneklerde üstün olduğunu göstermiştir.

Aradan geçen yıllarda yeni metasezgisel yöntemlerin geliştirilmesi ile İPMÇP'ni çözmede bu yeni nesil metasezgisellerin performansının eski yöntemlerle kıyaslanması türünde çalışmalar literatürde çalışılmıştır. Örneğin Arnaout (2019), $R_m|s_{ij}|C_{max}$ için geliştirmiş olduğu solucan optimizasyonu algoritmasından (SOA) elde ettiği sonuçları literatürde bu problemi çözmek için kullanılan diğer altı metasezgisel yöntemin çözümleri ile kıyaslamış ve çözüm kalitesinde iyileşmeler gözlemlemiştir. Diğer yandan Ezugwu ve Akutsah (2018), $R_m|s_{ij}|C_{max}$ problemini optimuma yakın çözebilmek için ateş böceği algoritmasının (ABA) yerel arama çözümü mekanizmasını geliştirerek diğer metasezgisel yöntemlerin (Karınca kolonisi algoritması, genetik algoritma, istilacı ot optimizasyonu ve klasik ateş böceği algoritması) çözümleri ile kıyaslamışlar ve geliştirmiş oldukları ateş böceği algoritmasının büyük boyutlu problemleri çözmedeki başarısını literatüre sunmuşlardır.

İncelenen çalışmalar, literatür araştırması tablosu kapsamında Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda farklı çalışmalarda yer alan İPMÇP'ne yönelik amaç fonksiyonları, kısıtlar, çözüm yöntemleri ve gerçek hayattan alınan verilerin çözümüne yönelik bir çalışma yapıp yapılmadığı gösterilmektedir. Tabloda verilen çalışmalar analiz edildiğinde aşağıdaki durumlar, bu literatür araştırmasında dikkat çekmektedir:

1.Çalışmaların büyük çoğunluğunda, İPMÇP'ni çözme amacı C_{max} minimizasyonunu sağlamaktır. Problem kısıtlarında genellikle sıra bağımlı hazırlık süresi kısıt olarak alınmış, ilaveten kısıtlamalara da yer verilmiştir. Bu durum, ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemlerinde kullanılan amaç fonksiyonu ve kısıt türünün, literatürde daha yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir.

2.Çalışmaların büyük bölümünde var olan metasezgisel yöntemler geliştirilerek İPMÇP'ne uygulanmıştır. Bu yöntemler, İPMÇP'nin karmaşıklığı ve NP-zor olmasından dolayı belirlenen hedefler doğrultusunda efektif sonuçlar elde etmek ve diğer metasezgisel yöntemlere göre üstün ve zayıf yönlerini belirleyebilmek için geliştirilmiştir.

3.Çalışmaların hemen hemen beşte birinde melez metasezgisel yöntemler geliştirilerek İPMÇP'ne çözüm aranmıştır. Bu problem türünde melezleme çalışmalarının çoğu GA'dan yararlanılarak yapılmıştır. Bu durum, GA'da yer alan algoritmik adımların diğer metasezgiseller ile sentezlendiğinde ortaya başarılı

özmler üretebilen yeni melez metasezgisel yöntemlerin çıkabileceğini göstermektedir.

4.Yapılan çalışmaların çok azında gerçek verilerden yararlanıldığı görülmektedir. Bu durum, yapılan çalışmaların dinamik endüstriyel ortamlarda kullanılabilir olup olmadığını düşündürmektedir. Günümüz endüstriyel dünyasında yer alan İPMP'nin gerçek hayat problemlerine çözüm üretimi bu alanda azdır.

Bu çalışmalarda da görüldüğü üzere İPMP literatürde kapsamlı bir şekilde araştırılmış olmasına rağmen, özellikle geliştirilmış algoritmalar ile desteklenen metasezgisel yöntemlerin melezlenmesi çalışmaları ve bu çalışmaların gerçek hayat problemine çözüm bulmaları çok az sayıdadır. Literatürdeki bu eksiklikleri göz önünde bulundurarak, yapılan bu çalışma ile literatüre katkıda bulunulacağı dşnlmektedir.

Tablo 1. Literatür araştırması tablosu

Çalışma	Problem Tipi	Amaç Fonksiyonu	Kısıtlar	Çözüm Yöntemi	Gerçek Veri
Logendran ve Subur (2004)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı gecikme süresi minimizasyonu	İşlerin bölünebilirliği, teslim ve bırakma zamanları	TA tabanlı geliştirilmiş sezgisel	Yok
Chen (2005)	İPMÇP	C_{max}	S_{ijk} ve kaynak kısıtları	Geliştirilmiş sezgisel	Yok
Helal vd. (2006)	İPMÇP	C_{max}	S_{ijk}	Geliştirilmiş TA	Yok
Zhou vd. (2007)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı gecikme süresi minimizasyonu	Teslim zamanları	Melez karınca kolonisi optimizasyonu	Yok
Rocha vd. (2008)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı gecikme süresi minimizasyonu	S_{ijk} ve teslim zamanları	Geliştirilmiş dal ve sınır algoritması	Yok
Tavakkoli-Moghaddam vd. (2009)	İPMÇP	C_{max} ve geciken iş sayısı minimizasyonu	S_{ijk} , teslim zamanları, iş öncelik ilişkileri	Geliştirilmiş GA	Yok
Fanjul-Peyro ve Ruiz (2010)	İPMÇP	C_{max}	Yok	Geliştirilmiş aç gözlü algoritma	Yok
Vallada ve Ruiz (2011)	İPMÇP	C_{max}	S_{ijk}	Geliştirilmiş GA	Yok
Bozorgirad ve Logendran (2012)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı gecikme ve tamamlanma zamanları minimizasyonu	S_{ijk} , teslim ve bırakma zamanları, makine uygunluğu	Geliştirilmiş TA	Yok
Kerkhove ve Vanhoucke (2013)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı gecikme süresi minimizasyonu	Kaynak kısıtları, teslim ve bırakma zamanları	GBT melez metasezgiseli	Var
Canıyılmaz vd. (2014)	İPMÇP	C_{max} ve Toplam gecikme süresi minimizasyonu	S_{ijk} , makine uygunluğu ve teslim zamanları	Geliştirilmiş yapay arı kolonisi ve GA	Var
Joo ve Kim (2015)	İPMÇP	C_{max}	S_{ijk}	Sevk kuralları ile melezlenmiş GA	Yok

Tablo 1'in devamı

Çalışma	Problem Tipi	Amaç Fonksiyonu	Kısıtlar	Çözüm Yöntemi	Gerçek Veri
Afzalirad ve Rezaeian (2016)	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk} , kaynak kısıtları, bırakma zamanları, makine uygunluğu ve iş öncelik ilişkileri	Geliştirilmiş GA ve yapay bağışıklık sistemi algoritması	Yok
Shahvari ve Logendran (2017)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı tamamlanma ve gecikme süresi minimizasyonu	s_{ijk} , parti büyüklüğü belirleme, teslim ve bırakma zamanları, makine uygunluğu	Geliştirilmiş TA	Yok
Ezugwu ve Akutsah (2018)	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk}	Geliştirilmiş ABA	Yok
Arnaout (2019)	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk}	Geliştirilmiş SOA	Yok
Soleimani vd. (2020)	İPMÇP	Toplam ağırlıklı ortalama gecikme süresi ve birikmiş elektrik tüketimi minimizasyonu	s_{ijk} , teslim zamanları, ürün bozulabilirliği, elektrik tüketimi	GA, interaktif yapay arı kolonisi, geliştirilmiş kedi sürü optimizasyonu	Yok
Ewees vd. (2021)	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk}	Geliştirilmiş salp sürü algoritması	Yok
Chen vd. (2022)	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk} , bırakma zamanları ve ürün bozulabilirliği	Melez TA	Var
Srinath vd. (2023)	İPMÇP	C_{max} ve toplam gecikme süresi minimizasyonu	s_{ijk} ve iş öncelik ilişkileri	Evrimsel algoritma ve melez GA	Yok
Muñoz-Díaz vd (2024)	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk} , destek makineleri ve iş öncelik ilişkileri	TA, BT ve geliştirilmiş sezgisel	Var
Bu çalışma	İPMÇP	C_{max}	s_{ijk}	Geliştirilmiş MABA	Var

1.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

α ; Makine ortamını temsil etmektedir. Makine ortamları tek ve çok aşamalı olmak üzere kendi içerisinde iki sınıfa ayrılabilir. Tek aşamalı makine ortamı tek makineler ve paralel makineler olarak kendi içerisinde iki sınıfa ayrılmaktadır.

Tek makineler (1), Olası üretim ortamlarının en yalın hali olan tek makineyi ifade eder.

Paralel makineler (P), m tane eş makinenin paralel olarak yerleştiği sistemlerdir. Her iş yalnız bir operasyona sahiptir ve bu operasyonlar m makinenin herhangi birinde işlenebilmektedir. Genellikle makine sayısı, iş sayısından az olmaktadır.

Literatürde yapılan araştırmalara göre paralel makine çeşitleri üç grup altında toplanabilmektedir. Bunlar:

- Özdeş Makineler (P_m)
- Uniform Makineler (Q_m)
- İlişkisiz Makineler (R_m)

1.2.1. Paralel Makineler

Paralel makineli bir üretim sisteminde özdeş, benzer ve birbirinden bağımsız makinelerden söz edilebilmektedir. Üretim sisteminde yer alan makineler aynı işi yapan, aynı hıza sahip makinelerden oluştuğunda, “özdeş makine çizelgeleme” probleminden bahsedilmektedir. İşlemlerden her biri, sistemde yer alan herhangi bir makinede işlem görebilmekte ve işlem süresi değişmemektedir. Yani bir işlem m adet özdeş makineden hangisinde işlem görürse görsün, aynı işlem süresine sahip olmaktadır.

Genel olarak, literatürde, birbirinden farklı hızlara sahip makineler; “benzer makineler” olarak adlandırılırken, makine hızlarının işlere bağlı olarak değiştiği makineler ise “birbirinden bağımsız paralel makineler” adını almaktadır (Kılıç G. , 2023).

İlişkisiz makinelerde, paralel şekilde m sayıda birbirinden farklı makine vardır. j işi i makinesinde v_{ij} hızı ile işlem görebilmekte ve işlem süresi p_j/v_{ij} olarak gerçekleşmektedir.

Makine hızlarının tüm işlerden bağımsız olması durumunda makine hızı v_{ij} yerine v_i gelmektedir. Başka bir deyişle, aynı işin aynı makinede farklı işlem süreleri ile işlenebildiği durumlardır. Bu tür makinelere uniform makine denilir.

1.2.2. Hazırlık Süreleri

Literatürün çoğunda makinelerin işleri işlemek üzere hazır bulunduğu veya herhangi bir hazırlık süresine ihtiyaç duymadığı varsayılır. Diğer durumlarda ise hazırlık sürelerinin işlem zamanının içine gömülü olarak verildiği düşünülür. Her iki durum da birbirinden çok farklı değildir. Oysa gerçek hayat problemlerinde yoğunlukla hazırlık süreleri mevcuttur ve bunlar çizelgeyi ciddi şekilde etkileyecek kadar önemli düzeydedir.

Tek makine problemlerinde bırakma zamanı (r_j) = 0 olduğunda ve sıra bağımlı hazırlık süreleri (s_{ij}, s_{ijk}) olmadığında tamamlanma zamanı sıralamadan bağımsız ve işlem sürelerinin toplamına eşit olmaktadır. Sıra bağımlı hazırlık süreleri olduğunda ise tamamlanma zamanı çizelgeye bağlı olmaktadır. Bu durum sıra bağımlı hazırlık süreli problemleri NP (Polinomal olmayan)- zor sınıfına sokmaktadır (Pinedo, 2008).

1.2.3. Makine Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

Makine çizelgeleme problemleri (MÇP) literatür araştırmasına göre Şekil 2’de verildiği gibidir. Buna göre MÇP 3 ana başlık altında çözülebilmektedir.

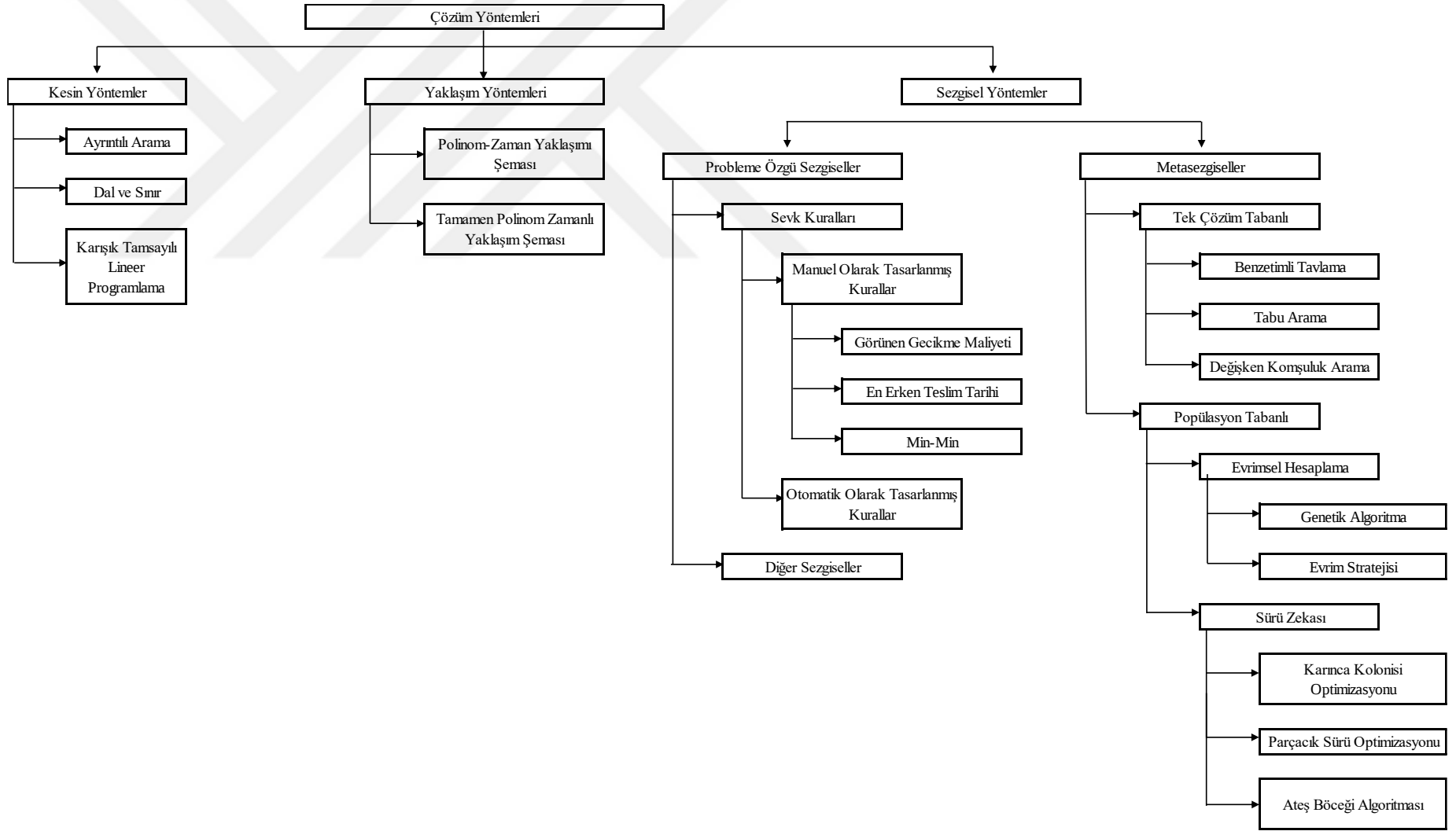
Kesin yöntemler ile problemin optimum sonucuna ulaşılabilir ve çözüm optimallliği garanti edilir. Yaklaşım ve Sezgisel yöntemler ise optimum çözümü garanti etmemektedir.

Sezgisel yöntemler problem spesifikasyonlarına göre entegre edilebilirler ve çözüm uzayında en uygun olurlu (feasible) sonucu ararlar. Sezgisel yöntemler kendi içerisinde iki sınıfa ayrılırlar. Bunlar probleme özgü sezgiseller ve metasezgisellerdir.

Probleme özgü sezgiseller kendi içinde Sevk kurallarına ve diğerlerine göre iki sınıfa ayrılabilir. Sevk kuralları da manuel ve otomatik olarak tasarlanan kural ilkeleri olarak kendi içerisinde iki sınıfa ayrılabilirler.

Metasezgiseller (Meta-Heuristik), yakınsama (approximate – tahmini / yakınsayan) metotlarının bir sınıfıdır. Bunlar, klasik sezgisellerin etkili ve verimli olmadığı durumlarda “zor” birleşik eniyileme problemlerine etki edecek şekilde tasarlanmışlardır.

Metasezgiseller; klasik sezgiseller, yapay zeka, biyolojik evrim, sinir sistemleri gibi konulardan sağlanan farklı konseptlerin bir araya gelmesi ile yeni “hibrit” durumların yaratılmasına izin veren, genel bir çerçeveyi oluşturmaktadır.



Şekil 2. Makine çizelgeleme problemi çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması (Durasevic & Jakobovic, 2023)

Metasezgisel, tekrarlı oluşum prosesidir. Burada, ikincil bir sezgisel, etkili bir yakın optimal çözümün bulunması için, yapısal bilgiye götüren “öğrenme” stratejileri kullanılarak, araştırma uzayını keşfetmek ve kullanmak için yetenekli-farklı konseptlerin birleşimi sağlanmaktadır. Bazı kabuller altında, bir kısım metasezgiseller için, kuramsal yakınsamaların olduğu unutulmamalıdır. Bununla beraber, bu kabullerin pek çok pratik uygulamada, tahmini veya hoşnut edici durumları sağlamadığı da bilinmelidir. Bu yüzden optimallik, kanıtlanma yeteneği düşük ve “yakın” çözümler olarak sağlanmaktadır. Bu kusura rağmen, meta sezgiseller, optimal veya yakın optimal çözümlerin bulunmasında, pek çok alan içinde, kendi ikincil sezgisellerine oranla oldukça yüksek başarılarla sahiptirler (Karacan, 2019).

Metasezgisel yöntemlerin özelliklerini özetlememiz gerekirse řu şekildedir:

- Metasezgiseller, arama sürecine rehberlik eden stratejilerdir.
- Amaç, en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulmak için arama uzayını hızlı bir şekilde araştırmaktır.
- Metasezgiseller, basit yerel arama algoritmalarından, karmaşık öğrenme proseslerine kadar geniş bir yelpazeyi içermektedir.
- Metasezgiseller, yaklaşık algoritmalardır ve genellikle deterministik değildir.
- Arama uzayındaki yerel en iyi tuzaklardan kurtulmak için çeşitli mekanizmaları kullanırlar.
- Metasezgiseller, probleme özgü değildirler.
- Metasezgiseller, üst seviye stratejiler tarafından kontrol edilen sezgiseller ile probleme özgü bilgi kullanımına izin verirler.
- İleri seviye metasezgiseller, aramaya rehberlik etmesi amacıyla arama sırasında elde edilen bilgiyi (hafızayı) kullanırlar.
- Metasezgisellerin en önemli özelliği: çeşitlendirme (diversification) ve yoğunlaşma (intensification) arasındaki dinamik dengeyi oluşturmasıdır.

Buradan yapılacak olan probleme özgü sezgiseller ile metasezgiseller arasındaki fark çıkarımı, metasezgisel yöntemler sezgisel yöntemlerin aksine probleme bağımlı olmadığından; problem alanındaki bilgilerle ilgilenmemektedir. Problemden bağımsız olarak geliştirildiklerinden her problem alanında kullanılabilirler. Bu, metasezgisel yöntemlerin probleme özgü sezgisellerden en önemli farkıdır.

1.3. Matematiksel Modelleme

Çalışma kapsamında kullanılacak olan İPMÇP matematiksel modeli bu bölümde ele alınmıştır. İPMÇP’inde her bir işin her bir makinede tamamlanma süreleri değişkenlik göstermekte, işler makinelerde farklı zamanlarda tamamlanmaktadır. İşlerin farklı zamanlarda tamamlanmasının asıl nedeni makinenin o işi işlemedeki olan kapasitesi ve hızı ile alakalı olarak doğru orantılı olarak artmakta ya da azalmaktadır. Ayrıca, işlerin makinelere girme sırasına göre hazırlık süreleri değişkenlik göstermektedir. Bu yüzden işlerin hangi sırada makinelerde işleneceğini belirleyebilmek, ekonomik üretim yapmanın temel anahtarı niteliğindedir. Bu noktada, ele alınan problemin yapısı literatürde iyi bilinen $\alpha|\beta|\gamma$ notasyonuna göre $R_m|s_{i,j,k}|C_{max}$ sınıfında yer alacaktır. Bu problem yapısında amaç tüm işlerin tamamlanma zamanının en büyüğünü (C_{max}) en küçüklemeektir.

Problemin matematiksel modeli (Rabadi, 2006) tarafından geliştirilmiş olup, karışık tam sayılı programlama modeli içermektedir. İPMÇP’nin matematiksel modeline ait gösterimler Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 2. Matematiksel model indis ve kümeleri

İndisler ve Kümeler	
k	Makine indisi
i, j	İş işleme sırası indisi
h	Kukla iş indisi
n	İş sayısı
m	Makine sayısı

Tablo 3. Matematiksel model parametreleri

Parametreler	Açıklaması
C_j	j işinin tamamlanma zamanı
$p_{j,k}$	j işinin k makinesinde işlenme süresi
$s_{i,j,k}$	k makinesinde i işinden sonra işlenecek j işinin sıra bağımlı hazırlık süresi

Tablo 3'ün devamı

Parametreler	Açıklaması
$s_{0,j,k}$	k makinesinde ilk olarak j işinin işlenmesi durumunda hazırlık süresi
M	Büyük bir sayı

Tablo 4. Matematiksel model karar değişkenleri (Helal, Rabadi, & Al-Salem, 2006)

Karar Değişkenleri	Değerlendirmesi
$x_{i,j,k}$	Eğer j işi i işinden sonra k makinesinde direkt olarak işlenecek ise 1, diğer durumlarda 0
$x_{0,j,k}$	Eğer j işi k makinesinde ilk işlenecek iş ise 1, diğer durumlarda 0
$x_{j,0,k}$	Eğer j işi k makinesinde son işlenecek iş ise 1, diğer durumlarda 0

Sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan İPMÇP'nin matematiksel modellemesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Matematiksel model

Amaç Fonksiyonu;	
Min C_{max}	(1)
Kısıtlar;	
$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^n \sum_{k=1}^m x_{i,j,k} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n$	(2)
$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq h}}^n x_{i,h,k} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq h}}^n x_{h,j,k} = 0 \quad \forall h = 1, \dots, n, \forall k = 1, \dots, m$	(3)
$C_j \geq C_i + \sum_{k=1}^m x_{i,j,k} (s_{i,j,k} + p_{j,k}) + M \left(\sum_{k=1}^m x_{i,j,k} - 1 \right) \quad \forall i = 0, \dots, n,$	(4)
$\forall j = 1, \dots, n$	

Tablo 5'in devamı

$\sum_{j=0}^n x_{0,j,k} = 1 \quad \forall k = 1, \dots, m$				(5)
$x_{i,j,k} \in \{0,1\}$	$\forall i = 0, \dots, n,$	$\forall j = 0, \dots, n,$	$\forall k = 1, \dots, m$	(6)
Kısıtlar;				
$C_0 = 0$				(7)
$C_j \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$				(8)

Tablo 5'te Eşitlik (1)'de amaç fonksiyonunu belirtilmektedir. Eşitlik (2) her bir işin yalnızca bir makinede işlem görerek çizelgelenmesini sağlamaktadır. Eşitlik (3) her bir işin çizelgelenirken birden fazla işin öncesinde veya sonrasında makinelere atanmamasını sağlar. Eşitlik (4) işlerin tamamlanma sürelerini hesaplamak ve makinelerde iş ataması yaparken işlenen işlerin üzerine yeni iş atamasını sağlamak için kullanılır. Eşitlik (5) makinelerde başlangıçta birden fazla iş işlenemeyeceğini garanti altına almaktadır. Eşitlik (3) ve Eşitlik (5) sayesinde her makinede işlerden bir tanesinin en son çizelgeleneyeceği sağlandığından dolayı bunun için ek bir eşitlik eklemeye gerek duyulmamıştır. Eşitlik (6) karar değişkeni olan x 'in ikili değer alacak şekilde kodlandığını belirtmektedir. Eşitlik (7)'de kukla iş 0'ın tamamlanma zamanlarının sıfıra eşit olduğu belirtilmiştir ve Eşitlik (8) ile işlerin tamamlanma sürelerinin negatif olmaması sağlanır.

1.4. Amaç ve Kapsam

Bu tez, endüstriyel işlemlerin düzenlenmesinde karşılaşılan zorlu bir problem olan "İlişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi" ne odaklanmaktadır. İlişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi, çeşitli işlerin belirli makineler üzerinde işlenmesi gerektiği bir senaryoyu ele almaktadır. Ancak burada karmaşıklık, işlerin sadece sıralarının belirlenmesiyle sınırlı değildir. Aynı zamanda işler arasında sıra bağımlılığı bulunmakta ve her işin hazırlık süresi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın temel amacı, ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini çözebilmek için bir melez ateş böceği algoritması (MABA) geliştirmek ve geliştirilen melez algoritmanın performansını İPMÇP'ni çözmek için literatürde çokça ele alınan genetik algoritma (GA) ve benzetimli tavlama (BT) metasezgisel yöntemlerinin çözüm performansı

ile kıyaslamaktır. Ayrıca, MABA için bir komşu arama algoritması geliştirilmiş, bu sayede problemin çözüm kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Ardından, gerçek hayat problemini çözerek işletmenin mevcut durumdaki siparişlerinin tamamlanma zamanı ile kıyaslamamıştır. Bu bağlamda, metasezgisel yöntemlerin endüstriyel problemleri çözmekteki performansı gerçek veriler ve gerçek kısıtlar üzerinden incelenerek, bu alanda yeni bir bakış açısı sunmak hedeflenmektedir.

Bu çalışmada ele alınan metasezgisel yöntemler, literatürde karmaşıklığı yüksek olan optimizasyon problemlerini ele almak için etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı geliştirilen MABA'nın çözüm kalitesini kıyaslamak için tercih edilmişlerdir. Ele alınacak olan gerçek hayat probleminde ise, işletmenin planlanan çalışma periyodu ile siparişlerinin üretimi incelenmiş, işletmedeki tüm işlerin (siparişlerin) tamamlanma zamanı minimizasyonu hedeflenmiştir. İşletmenin geliştirilecek olan üretim planlama modelinde çalışması durumunda zaman tasarrufu oranı incelenecektir.

Bu tez, sıra bağımlı hazırlık süreleri bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanılan genetik algoritma ve benzetimli tavlama gibi metasezgisel yöntemlerin yanı sıra, bu çalışmada geliştirilen melez ateş böceği algoritması (MABA), söz konusu problemin çözümünde yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Geliştirilen algoritma, genetik ve ateş böceği algoritmalarının güçlü yönlerini birleştirerek, çözüm kalitesini ve hesaplama verimliliğini artırmayı başarmıştır. Ayrıca, değişken komşu arama stratejisinin entegrasyonu, büyük boyutlu ve karmaşık problemler için yerel optimum noktalardan kaçınma yeteneğini geliştirmiştir. Bu yönüyle, MABA'nın literatürdeki mevcut yöntemlere kıyasla daha etkili ve uygulanabilir çözümler sunduğu ve endüstriyel üretim süreçlerinde belirgin iyileştirmeler sağlayabileceği ortaya konulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde İPMÇP'ni çözmek için kullanılacak olan metasezgisel yöntemlerin açıklamalı anlatımlarına ve tanımlamalara yer verilmiştir.

2.1. Benzetimli Tavlama

Benzetimli tavlama (BT) algoritması, kombinatorial eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan etkili bir stokastik arama algoritmasıdır. Kirkpatrick ve diğerleri (1983), katı maddelerin fiziksel tavlama sürecinden esinlenerek geliştirilmiş bir yöntem olarak tanımlamışlardır. Bu algoritma, yerel arama yöntemlerinin, yerel bir en iyi çözüme ulaştıktan sonra global en iyi çözüm için daha fazla arama yapmamasından kaynaklanan zayıflığı, rassal çözüm kabulleriyle gidermeye çalışır. Benzetimli tavlama algoritması, problem alanına kolay entegrasyonu, yerel en iyi çözümden kurtulma esnekliği ve iyi sonuçlara yakınsamadaki performansı ile tanınır. Bu nedenle, geniş bir kullanım alanına sahip olan ve çeşitli endüstriyel ve bilimsel alanlarda başarıyla uygulanan bir yöntemdir (Kim, Kim, Jang, & Chen, 2002).

Fiziksel tavlama süreci, katı bir malzemenin belli bir sıcaklığa kadar ısıtılması, belirli bir süre boyunca bu sıcaklıkta bekletilmesi ve sonrasında uygun yöntemlerle soğutulması işlemlerinden oluşmaktadır. Bu süreç, malzemenin daha istikrarlı bir yapı kazanmasını sağlar. Simüle edilen tavlama sürecinde, başlangıç sıcaklığı her adımda belirli bir oranda azaltılır ve bu süreçte çeşitli çözümler üretilir. Soğutma sürecinde, yeni bir çözüm, mevcut çözümden daha iyi ise otomatik olarak kabul edilmektedir. Ancak, daha kötü bir çözüm elde edildiğinde, kabul ya da reddetme kararı belirli bir olasılığa göre alınır. Bu olasılık, mevcut sıcaklık değeri ile belirlenmektedir. Rassal bir sayı oluşturulur ve bu sayı, çözüm için hesaplanan olasılık değeri ile karşılaştırılır. Eğer rassal değer, hesaplanan olasılık değerinden büyükse, yeni çözüm kabul edilir. Sıcaklık değeri yüksek olduğunda, iyileşme sağlamayan çözümlerin kabul olasılığı artar. Algoritmanın ilerleyen aşamalarında ise sıcaklık değeri azaldıkça, iyileşme sağlamayan çözümlerin kabul olasılığı da azalır. Algoritmanın başlangıcında, geniş bir arama yapabilmesi için başlangıç sıcaklığı yüksek bir değer almalıdır. Bu sayede, rassal olarak iyileşmeyen birçok çözümün kabul edilmesi sağlanır ve bu özellik, global en iyi çözüme yakınsama olasılığını artırır.

BT algoritmasının bir probleme uygulanabilmesi için belirli parametrelerin dikkatlice belirlenmesi gerekir. Bu parametreler arasında başlangıç sıcaklığı, her sıcaklık seviyesinde yapılacak iterasyon sayısı, soğutma fonksiyonu ve algoritmanın durdurulması için bir kriter bulunmaktadır. Aynı şekilde, problemle ilgili özgün seçimlerin de yapılması gerekmektedir. Bu seçimler arasında çözümün doğru bir şekilde ifade edilmesi, amaç fonksiyonunun tanımlanması, başlangıç sıcaklığının (T) belirlenmesi, soğutma fonksiyonu ve komşu çözümlerin nasıl üretilceğinin belirlenmesi yer almaktadır. Bu parametreler ve seçimler, BT algoritmasının etkili bir şekilde çalışabilmesi için büyük önem taşımaktadır (Abdullah, Golafshan, & Nazri, 2011).

Başlangıç Sıcaklığı: İyi olmayan çözümlerin kabul olasılığını değerlendirmek için başlangıç sıcaklığı parametresi kullanılır. Bu olasılığın yakın bir değere sahip olabilmesi için başlangıç sıcaklığı yeterince büyük olmalıdır. Ancak, çok yüksek bir başlangıç sıcaklığı, uzun hesaplama sürelerine veya kötü bir performansa neden olabilmektedir.

Soğutma Fonksiyonu: Her bir iterasyondaki sıcaklık değeri, bir önceki iterasyondaki sıcaklık değeri kullanılarak hesaplanır. Kaliteli çözümlerin elde edilebilmesi için soğutma işlemi yavaş yavaş gerçekleştirilmelidir. Algoritmanın son aşamalarında, sıcaklık değeri kötü çözümleri kabul etme olasılığını sıfıra yaklaştıracak şekilde azaltılmalıdır.

Durdurma Kriteri: Algoritmanın sonlandırılması için belirlenen kriter, belirli bir iterasyon sayısına, belirli bir sıcaklık değerine veya belirli bir amaç fonksiyonu değerine ulaşılması olabilir.

Başlangıç Çözümü Oluşturma: İşletmede bulunan tüm makineler üzerinde rastgele işleme seçimleri yapılarak başlangıç çözümü oluşturulur (S).

Amaç Fonksiyonunun Hesaplanması: Mevcut çözümün (ilk iterasyonda bulunan başlangıç çözümünün) amaç fonksiyonu değeri (E), tüm işlerin makinelere atandıktan sonraki tamamlanma zamanlarının en büyüğüdür, makinelerin sıra bağımlı hazırlık süresi ve işlem süresi matrislerinden yararlanılarak hesaplanır.

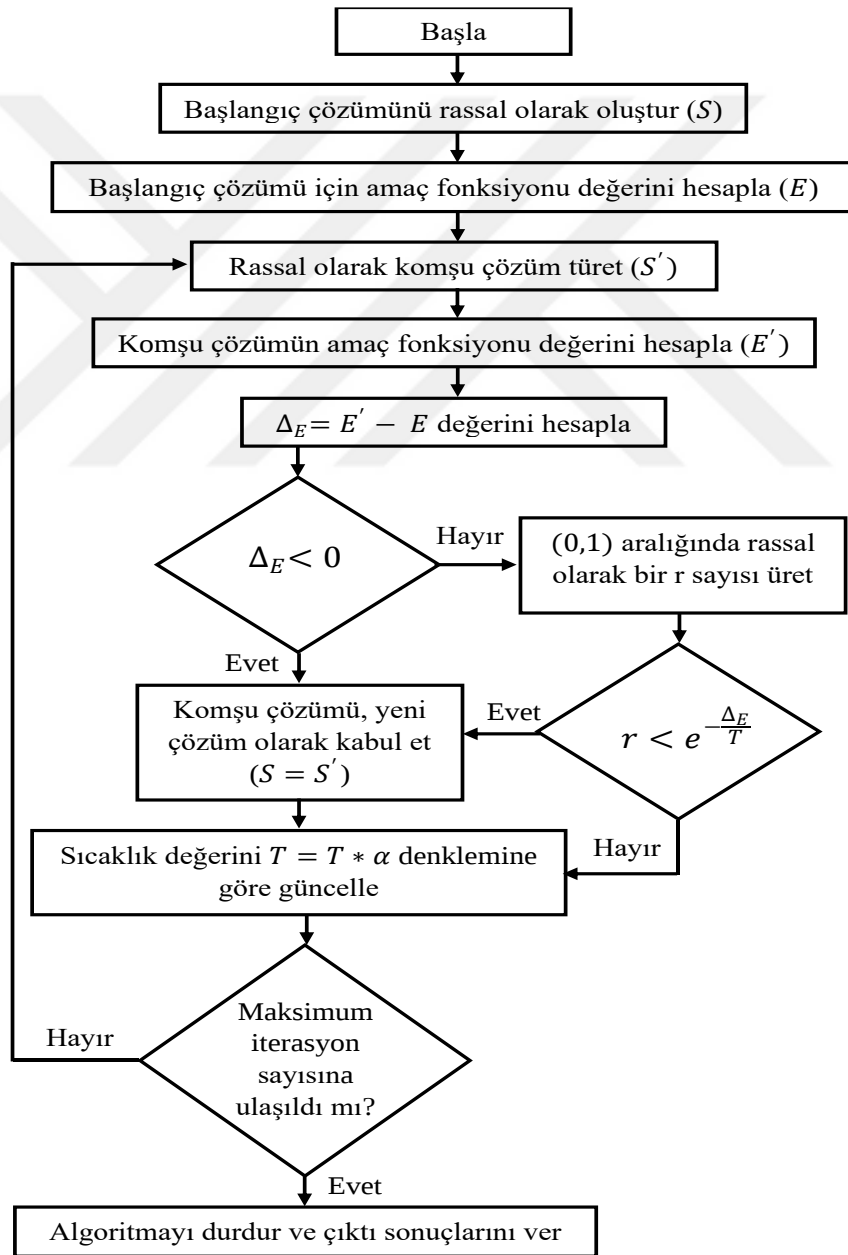
Komşu Çözüm Oluşturma: Mevcut çözüm üzerinde rastgele değişiklikler yapılarak komşu çözüm üretilir ve komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri (E') hesaplanır. Bu çalışmada, rastgele seçilen 2 işin yerleri, sonradan değinilecek olan takaslama, geriye dönme ya da ekleme yaptıırma komşu arama operatörlerinden birinin rastgele seçilerek uygulanması sonucu değiştirilerek komşu çözüm üretilir.

Kabul Aşaması: Eğer komşu çözüm için hesaplanan C_{max} değeri, mevcut çözüm için hesaplanan C_{max} değerinden daha iyiye, komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak kabul

edilecektir. Aksi durumlarda, (daha kötü komşu çözümler için), $\Delta_E = E' - E$ için 0 ve 1 aralığında rastgele bir r sayısı üretilir. Eğer bu sayı, $r < e^{-\frac{\Delta_E}{T}}$ koşulunu sağlarsa komşu çözüm yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Daha kötü komşu çözümün kabul edilmediği durumlarda, mevcut çözümün başka bir komşu çözümü rastgele üretilerek aynı sorgulama işlemi tekrarlanacaktır.

Sıcaklık Güncelleme: Soğuma katsayısı α kullanılarak mevcut sıcaklık değeri (T), $T = T * \alpha$ formülüyle güncellenir.

Durdurma Kriteri: Belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritma sonlandırılır.



Şekil 3. BT metasezgiseli algoritma akış diyagramı

Bu tez çalışmasının kapsamında, problemin benzetimli tavlama algoritması kullanılarak çözümü yer almaktadır. Metasezgisel yöntemler genel olarak, karmaşıklık içeren zorlu optimizasyon problemlerinin çözümünde etkilidirler. Bu bağlamda, BT algoritması kullanılarak kabul edilebilir çözümler elde etmeye çalışılmıştır. BT metasezgiseli algoritma akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

2.2. Genetik Algoritma

GA'ya yönelik ilk çalışma John Holland ve ark. tarafından 1975 yılında Michigan Üniversitesi'nde yapılmıştır (Vallada & Ruiz, 2011). GA, bu çalışmalar sonucunda keşfedilen sezgisel bir arama algoritmasıdır. Doğadan ilham alarak, canlı genetiğinde var olan kromozomların yeni dizilimler üretme esasını temel alır. En iyi kromozomun hayatta kalacağı prensibi ile çalışan bir algoritmadır. Geleneksel çözüm yöntemleri ile çözümü zor olan karmaşık problemlerin çözümüne kıyasla daha hızlı ve daha iyi sonuçlar verir (Lee & Kim, 1995).

Her bir GA, popülasyon adı verilen başlangıç rassal çözümler kümesi ile başlamaktadır. Popülasyonda bulunan her bir bireye kromozom adı verilir. Kromozom eldeki problemin çözümüne karşılık gelen bir semboldür. Kromozomlar iteratif şekilde kendilerine evrim geçirerek yeni nesilleri oluşturmaktadır. Her nesilde kromozomların uygunluk değerleri değerlendirilmektedir. Yeni nesilin oluşumu, yavru adı verilmekte olan yeni kromozomlar ile, 2 şekilde oluşturulmaktadır (Chu & Beasley, 1996).

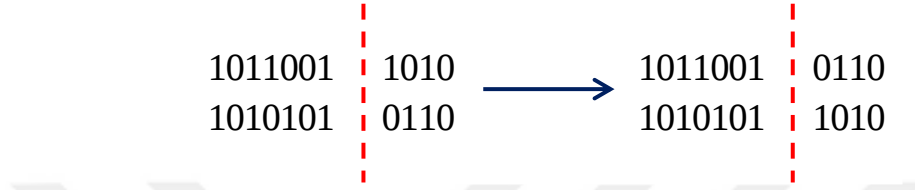
Bunlardan ilki, çaprazlama operatörü kullanılarak mevcut nesilden 2 adet kromozomun birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. İkinci olarak, mutasyon operatörü kullanılarak kromozomun yapısında değişim meydana getirilir.

Uygunluk değeri yüksek olan kromozomların seçilme olasılıkları da daha yüksektir. Nesiller üretildikçe GA, elde edilen en iyi kromozoma yakınsamaya başlamaktadır. Yakınsanan bu kromozomun değeri, global en iyi ya da yerel en iyi çözüme denk gelebilir. GA' da yapılmakta olan işlemleri iki türde sınıflandırmak mümkündür (Chen vd., 1996).

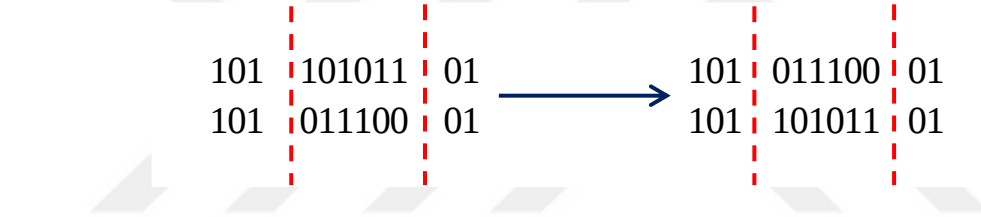
İlk sınıflandırma genetik işlemlerdir. Genetik işlemlerde çaprazlama ve mutasyon operatörleri çalıştırılmaktadır. İkinci olarak evrim işlemi sınıfı bulunmaktadır. Evrim işlemi seçim operatörü ile gerçekleştirilmektedir.

GA'nın performansına çaprazlama operatörünün performansının etkisi büyük olmaktadır. Çaprazlama sıklığı "Çaprazlama oranı" ile elde edilir ve çaprazlama oranı: Her

bir nesilde oluşturulan yavru sayısı / popülasyon büyüklüğü olarak literatürde tanımlanmaktadır. Çaprazlama oranını yüksek tutmak, çözüm uzayında daha fazla alanın taranmasına olanak tanır ve yerel en iyi noktalara takılma ihtimalini azaltır. Ancak bu oranı çok büyük tutmak problemin çözüm hızına etki eder, böylelikle problem daha uzun sürede çözülür. Aşağıda Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla tek noktada ve çift noktada çaprazlama örnekleri verilmiştir:



Şekil 4. Tek noktada çaprazlama işlemi



Şekil 5. Çift noktada çaprazlama işlemi

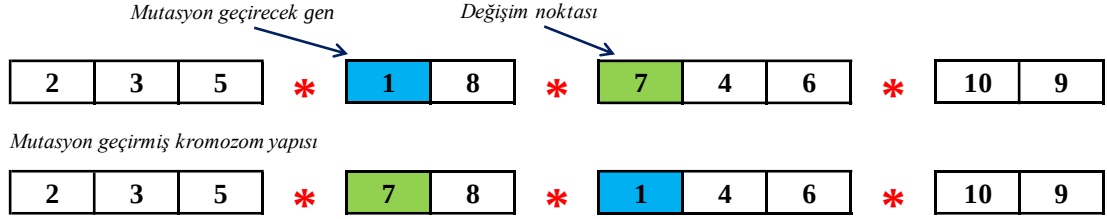
GA'da kullanılmakta olan mutasyon operatörü ile algortmada üretilen çözümlerde çeşitlilik sağlanarak farklı kromozomda bulunan genlerde rassal olarak değişime gidilir. Bu sayede bir veya birden fazla kromozom geninin yapısı değiştirilir. Mutasyona ihtiyacı, nesiller geçtikçe popülasyonda bulunan kromozomların gen çeşitliliğinin standartlaşarak aynı tipte durağanlaşmasının önüne geçmek içindir. Böylelikle, mutasyon uygulanmadığında popülasyon içerisinde yeni karakterlere sahip kromozomların oluşması engellenmiş olur. Bundan dolayı, algortma iteratif çözümler üretirken yerel en iyi noktalarda takılabilir. Mutasyon oranını iyi ayarlamak gerekir, GA'da mutasyon oranı yüksek tutulursa algortma rassal aramaya dönüşecektir (Vallada ve Ruiz, 2011). Kromozomda bulunan gen yapısı örneği, 10 iş 4 makine için Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Kromozom gen yapısı gösterimi (Chen J.-F. , 2005)

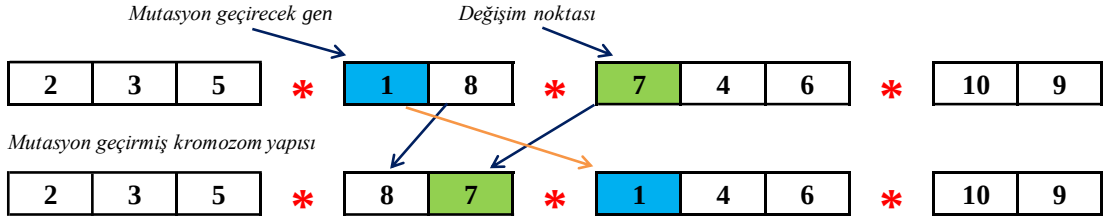
Mutasyon takaslama ve ekleme operatörleri ile sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında takaslama operatörü kullanılmıştır.

Takaslama operatöründe her gen mutasyon geçirebilme olanağına sahiptir. Uygunluk değerine göre başarılı olan gen, Şekil 7’deki gibi rassal bir nokta seçilerek bu yerde bulunan gen ile yerleri değiştirilmektedir.



Şekil 7. Takaslama operatörü ile mutasyona uğramış kromozom yapısı

Ekleme operatöründe de her gen mutasyon geçirebilme olanağına sahiptir. Uygunluk değerine göre başarılı olan gen, Şekil 8’deki gibi rassal bir yerde bulunan gen seçilerek, bu noktaya taşınır. Başarılı olan gen ile rassal seçilen genlerin arasındaki yerlerde bulunan genler kaydırılmaktadır.



Şekil 8. Ekleme operatörü ile mutasyona uğramış kromozom yapısı

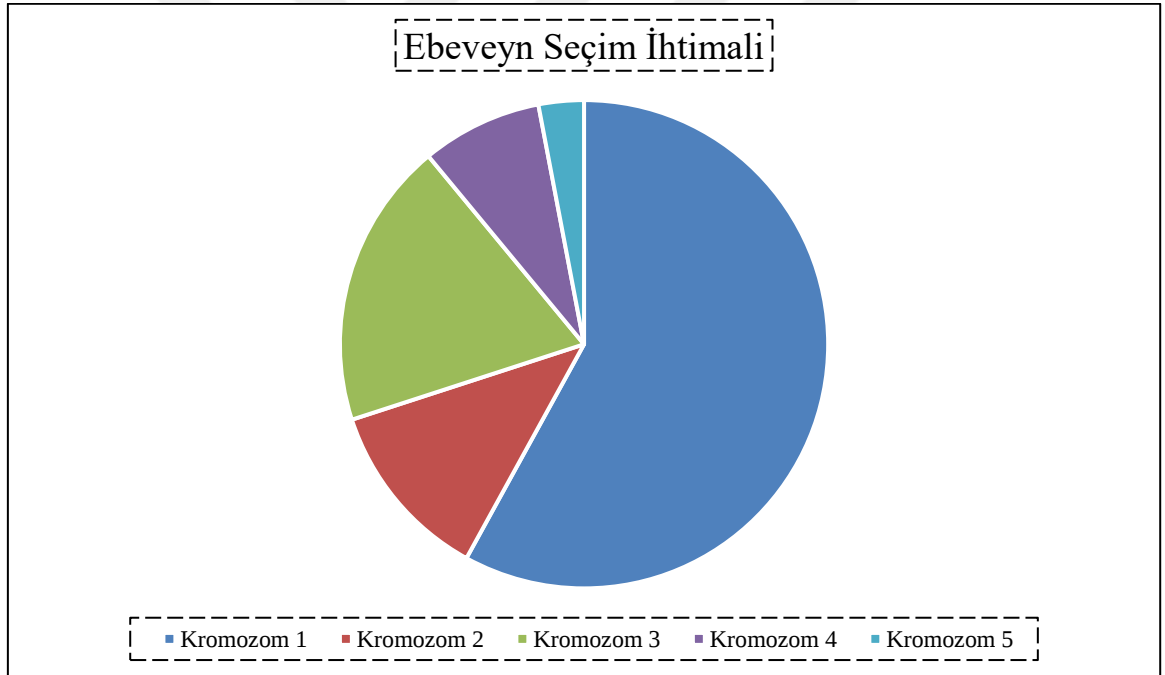
Seçim yöntemleri çaprazlama işleminde kullanılacak olan ebeveynleri belirlemek için başvurulan yöntemlerdir. Seçilecek olan birey (kromozom), gen karakteristik özelliklerini sonraki nesillere aktaracaktır. GA’da kullanılacak farklı seçim yöntemleri mevcuttur. Rulet tekeri seçimi, rassal evrensel örnekleme, turnuva yöntemi ve sıra tabanlı seçim bu yöntemlere örnek olarak gösterilmektedir (Talbi, 2009). Bu çalışma kapsamında rulet tekeri seçimi kullanılmıştır.

Rulet tekeri seçiminde her birey için uyum değeri (f_i) hesaplaması yapılmaktadır. Her bir bireyin seçilme olasılığı (p_i); bireyin uyum değerinin, popülasyondaki tüm bireylerin

uyum değerleri toplamına bölünmesi ile elde edilmektedir. Burada rulet tekeri n adet ebeveyn seçmek için en az n kez döndürülecektir. Her bir bireyin seçilme olasılığı bulunmaktadır, fakat bazı bireylerin seçilme ihtimali diğerlerine göre daha fazla olacaktır. Rulet dönmeye başladıktan sonra sadece bir değer yani ebeveyn seçimi yapacaktır. Rulet tekeri ile ebeveyn seçimi örnekleme 5 kromozom için Tablo 6 ve Şekil 9’da verildiği gibidir.

Tablo 6. Rulet tekeri ebeveyn seçilme olasılıkları dağılımı

Kromozom	1	2	3	4	5
Seçilme olasılık değeri	58	12	19	8	3



Şekil 9. Rulet tekeri ile ebeveyn seçimi

Tüm bu bilgiler ışığında GA’nın algoritmik akışı aşağıdaki her bir adımın takibi ile sağlanmaktadır.

1.Adım: İlk olarak, problemin yapısına uygun olacak şekilde kromozom gösteriminin neyi ifade edeceğine, ebeveynlerin seçimleri için kullanılacak olan seçim yöntemine, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinde kullanılacak olan operatörlere karar verilir.

2.Adım: Algoritmanın parametre değerleri olan; popülasyon büyüklüğü, çaprazlama sıklığı ve mutasyon olasılığı, maksimum iterasyon sayısı belirlenir.

3.Adım: İlk çözüm elde edilirken, kromozomlar rassal biçimde üretilir, böylelikle başlangıç popülasyonu oluşturulur.

4.Adım: Her bir kromozom için uygunluk değeri hesaplaması yapılır.

5.Adım: Yeni popülasyonun oluşturulabilmesi için, belirlenmiş olan seçim yöntemi ile ebeveyn seçimleri yapılır. Ardından, belirlenmiş olan çaprazlama sıklığına göre ebeveynlerin genleri çaprazlanır. Son olarak, oluşturulan yeni nesil genlere belirlenmiş olan olasılığa ve operatör seçimine göre mutasyon işlemleri yapılır. Böylelikle, yeni popülasyon oluşturulur.

6.Adım: Yeni popülasyon (yeni nesil) oluşumu tamamlandıktan sonra, algoritmanın 4. ve 5. Adım'ları, maksimum iterasyon sayısına ulaşınca kadar her bir iterasyon aşamasında uygulanır.

7.Adım: Maksimum iterasyon sayısına erişildiğinde algoritmanın elde ettiği son nesilde (popülasyonda) yer almakta olan, en iyi uyum değerlikli kromozom problemin çözümüdür ve sonuç olarak çıktı edilir.

Bu tez çalışmasının kapsamında, problemin GA kullanılarak çözümü yer almaktadır. Metasezgisel yöntemler genel olarak, karmaşıklık içeren zorlu optimizasyon problemlerinin çözümünde etkilidirler. Bu bağlamda, GA kullanılarak kabul edilebilir çözümler elde etmeye çalışılmıştır.

2.3. Ateş Böceği Algoritması

Ateş böcekleri (Coleoptera: Lampyridae), muhteşem kur gösterileri ile ilham vererek şairlere ve bilim insanlarına yeni eserler çıkarması konusunda yardımcı olan böcek türlerinden birisidir (Lewis & Cratsley, 2008). Günümüzde ateş böceklerinin dünya genelinde 2000'den fazla türü bulunmaktadır. Genellikle çeşitli sıcak ortamlarda yaşayan ateş böceklerinin en aktif oldukları zamanlar yaz geceleridir. Birçok araştırmacı doğada ateş böceklerini incelemiş ve incelemeleri doğrultusunda ateş böcekleri hakkında sayısız makaleleri literatüre kazandırmıştır.

Ateş böceklerinin en önemli karakteristik özelliği biyokimyasal süreç içerisinde biyoluminesans tarafından ürettikleri yanıp sönen ışıklarıdır. Yanıp sönmekte olan bu ışık, ateş böcekleri tarafından çiftleşme için kur sinyali olarak kullanılabildiği gibi bu yanıp sönen

ışık etrafta bulunan potansiyel yırtıcı türleri de uyarabilmektedir. Ancak bazı ateş böceği türlerinin bazı yetişkinlerinde biyolüminesans yapma yeteneği bulunmamaktadır. Bu türler, karıncalarda olduğu gibi feromonlar sayesinde eşlerini çekmektedirler (Fister, Jr., Yang, & Brest, 2013).

Ateş böceklerinde, fener adı verilen ışık üreten organlarda biyolüminesans reaksiyonları gerçekleşmektedir. Çoğu organizmada biyolüminesans yalnızca yanıp sönen ışıklar sağlamaktadır. Bununla birlikte, birçok ateş böceği türü biyolüminesanslarını kontrol edebilmekte ve yüksek belirginlikte yanıp sönmekte olan ışıklar yayabilmektedir. Fenerlerin ışık üretimleri, ateş böceğinin merkezi sinir sisteminden gelmekte olan sinirsel sinyallerle başlatılmaktadır (Ezugwu & Akutsah, 2018).

Genellikle, ilk sinyalleri verenler uçan erkeklerdir ve bu sinyallerle yerdeki uçmayan dişileri çekmeye çalışmaktadır. Bu sinyallere karşılık olarak, dişiler sürekli veya yanıp sönen ışıklar üretmektedir. Her iki çiftleşme partneri de tür kimliği ve cinsiyet gibi bilgileri kodlamak için kesin bir zamanlama ile belirgin yanıp sönen ışık sinyalleri oluşturmaktadır. Dişiler, kur sinyallerindeki davranış farklılıklarına göre seçim yapabilmektedir ve genellikle daha parlak yanıp sönmelere sahip erkekleri tercih etmektedir. Yanıp sönmeye yoğunluğunun kaynaktan uzaklığa göre değiştiği bilinmektedir. Ancak, bazı ateş böceği türlerinde dişiler, daha güçlü bir ışık kaynağı tarafından üretilen uzak yanıp sönmeler ile daha zayıf bir ışık kaynağı tarafından üretilen yakın yanıp sönmeler arasında ayrım yapamamaktadır (Topçam, 2019).

Ateş böceklerinin yanıp sönen sinyalleri oldukça dikkat çekici olabilmekte ve bu nedenle çeşitli potansiyel yırtıcıları caydırabilmektedir. Doğal seçim bağlamında, yalnızca en güçlü bireylerin hayatta kalabileceği yerlerde, yanıp sönen sinyaller potansiyel yırtıcıları uyarmak için savunma mekanizmaları olarak evrimleşebilmektedir.

Sürü zekasının iki temel özelliği vardır: kendi kendine organizasyon ve merkezi olmayan karar alma. Bu durum, arılar gibi kovanlarda veya karıncalar gibi yuvalarda, özerk bireylerin ortak bir yerde birlikte yaşayabilmesi şeklinde gözlemlenebilmektedir. Uyum içinde yaşayabilmek için, grup üyeleri arasında etkileşim veya iletişim, birlikte sosyal yaşamda gereklidir. Grup içindeki bireyler, tek başlarına yaşıyormuş gibi davranmamakta; aksine, grup içindeki genel hedeflere uyum sağlamak zorunda kalmaktadır. Ateş böceklerinin sosyal yaşamı sadece yiyecek aramaya değil, daha çok üremeye odaklanmıştır. Bu grup kararları, ateş böceği algoritmasının geliştirilmesi için ana biyolojik temel olan yanıp sönen ışık davranışı ile yakından ilişkilidir (Yang, 2009).

Ateş böceği algoritması (ABA), Dr. Xin-She Yang tarafından geliştirilen ve tropikal bölgelerde yaşayan ateş böceklerinin kolektif davranışlarını temel almakta olan, doğadan esinlenmiş bir metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Yang,2009). Bu algoritma, birçok diğer algoritmaya benzerlik gösterirken, kavramsal ve uygulama açısından daha basit bir yapıya sahiptir. Ateş böceklerinin ışıklarını yakıp söndürmeleri, diğer ateş böceklerini çekmek için kullandıkları bir sinyal ağı sistemidir. Algoritmanın ismi, ateş böceklerinin bu tür davranışlarına dayanmaktadır. Ateş böceklerinin tek cins olmaları ve birbirlerini çekmeleri, algoritmanın temelini oluşturmaktadır.

ABA, ışık yoğunluğunu temsil eden I 'nın, mesafenin karesi ile azalmasını belirten fiziksel bir formüle dayanmaktadır. I , ışık kaynağından uzaklaştıkça ışığın havadaki Emilimi nedeniyle giderek zayıflamaktadır. Bu olgular, amaç fonksiyonunun optimize edilmesi süreci ile ilişkilendirilebilmektedir. Nihai olarak, temel ateş böceği algoritması İPMÇP'nin C_{max} amaç fonksiyonunu çözmek için Şekil 10'da gösterildiği üzere akışa sahiptir (Yang, 2008).

Ateş böceklerinin bazı yanıp sönme özellikleri ABA'nı formüle edebilmek için varsayımlar ile idealize edilmiştir. Varsayımsal idealizeler şunlardır:

1. Algoritma popülasyonunda bulunacak olan ateş böceklerinin tamamı cinsiyetsizdir.
2. Bir ateş böceğinin çekiciliği, ışık yoğunluklarıyla doğru orantılıdır.
3. Bir ateş böceğinin ışık yoğunluğu, uygunluk fonksiyonunun değerinden etkilenmekte veya belirlenmektedir.

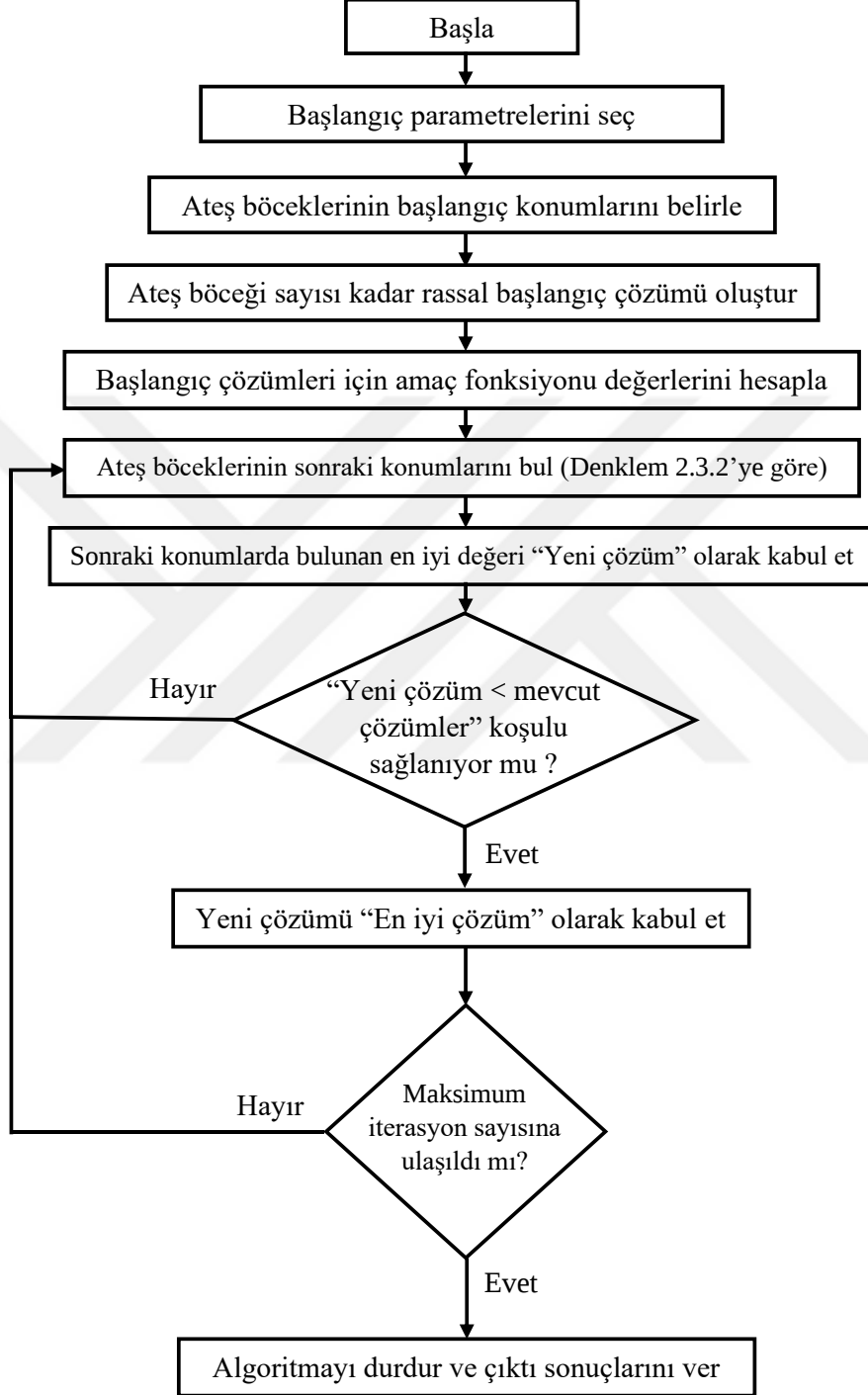
Algoritmanın başlangıcında, arama uzayına belirlenmiş sayıdaki ateş böcekleri yayılmak için rastgele üretilmektedir. Her ateş böceği kendine ait olan bir pozisyonda üretilmiştir. Böylelikle, ABA'nda ateş böcekleri ilk olarak rassal konumlara yerleştirilmektedir. Bu başlangıç konumunun denklemi (9)'da verilmiştir.

$$\xi_i = X_{min} + r(X_{max} - X_{min}) \quad (9)$$

Bu denklemdeki r değeri 0 ile 1 arasında değişen sayılar içerisinde rassal olarak seçilmektedir. X_{min} ' in değeri 1'e eşittir ve X_{max} 'ın değeri değişken seti içerisindeki toplam değer sayısıdır.

Arama uzayında bulunan ateş böceklerinin her bir ξ_{it} konum değerinde $f(\xi_{it})$ amaç fonksiyonu hesaplanmaktadır. t adet iterasyona kadar i adet ateş böceğinin elde edilen en

iyi konumu olan α_{it} ve ateş böceğinin o anki iterasyona değin bulunmuş en iyi konumu olan global optimum konumu α_{gt} güncellenir.



Şekil 10. Ateş böceği algoritması akış şeması

Algoritmanın arama uzayında her bir iteratif aramasında her bir ateş böceğinin konumu güncellenmektedir. Bir ateş böceğinin o ana kadar elde edilen en iyi konum değeri ki bu değer aranan amaç fonksiyonu değeridir, popülasyondaki en iyi konum değeri olarak tayin edilir ve her ateş böceği için ayrı bir dizi vektör içinde kaydedilmektedir. Elde edilen bu konum arama uzayında başlangıçtan bu yana popülasyonda bulunan herhangi bir ateş böceğinin bulabildiği en iyi konum ise tüm popülasyonun en iyi pozisyonlanmış değeri olarak adlandırılmaktadır ve yine bu değer de bir dizi vektör içerisinde kaydedilir. Ateş böceklerinin bir sonraki iterasyondaki $(t + 1)$ konumu denklem (10) ile hesaplanmaktadır (Yang, 2010).

$$\xi_i^{t+1} = \xi_{it} + \beta_0 i^{-\gamma r_{ij}^2} ij(\xi_j^t - \xi_i^t) + \alpha_t \varepsilon_i^t \quad (10)$$

ABA'nın doğru bir şekilde tasarlanabilmesi için iki önemli hususun tanımlanması gerekmektedir. Bu hususlar ışık yoğunluğunun değişimi ve çekiciliğin ifade edilmesidir. Bu iki husus sayesinde, algoritma geliştiriciler, geliştireceği farklı ateş böceği algoritmalarını çözüm arayacağı problem yapılarının gereksinimlerine en uygun olacak şekilde uyarlamalarını mümkün kılmaktadır. ABA'nda, bir ateş böceğinin çözümü temsil eden ışık yoğunluğu I , uygunluk fonksiyonu değerine orantılıdır. Işık yoğunluğu I , denklem (11)'e göre değişmektedir:

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (11)$$

Burada I_0 , kaynağın ışık yoğunluğunu belirtmektedir. Kaynaktan çıkan ışığın havadaki ışık Emilimi sabit bir ışık emilim katsayısı olan γ kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. $r = 0$ noktasında tekillik I/r^2 ifadesinde oluşmakta olup, ters kare yasasının etkilerinin ve Gauss dağılımı formunda bir emilim yaklaşımının birleştirilmesiyle önlenmiştir. Ateş böceklerinin çekicilikleri olan β , onların ışık yoğunlukları I ile orantılıdır. Böylelikle, çekiciliği β tanımlamak için ışık yoğunluğu denkleminin benzer bir denklem olan denklem (12) kullanılabilmektedir:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (12)$$

Bu denklemde β_0 , $r = 0$ noktasındaki çekiciliği temsil etmektedir. Işık yoğunluğu I ve çekicilik β bazı açılardan eş anlamlıdır. Işık yoğunluğu, ateş böceği tarafından yayılan ışığın mutlak bir ölçüm değeri iken, çekicilik, diğer ateş böcekleri tarafından algılanarak değerlendirilen ışığın göreceli bir ölçüsüdür (Yang, 2008). İki ateş böceği s_i ve s_j arasındaki mesafe, ABA tarafından denklem (13)'te ifade edilmektedir:

$$r_{ij} = \|s_i - s_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (s_{ik} - s_{jk})^2} \quad (13)$$

Burada n , problem boyutunu belirtir. Ateş böceği i , daha çekici bir ateş böceği olan j 'ye doğru çekilmektedir. Ateş böceğinin çekiciliğe çekilme durumu denklem (14)'e göre gerçekleşmektedir:

$$s_i = s_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (s_j - s_i) + a \varepsilon_i \quad (14)$$

Burada, ε_i Gauss dağılımından seçilen rastgele bir sayıdır. Ateş böceklerinin hareketleri üç terimden oluşmaktadır. Bunlar: i 'ninci ateş böceğinin mevcuttaki konumu, daha çekici bir ateş böceğine doğru çekilme ve 0 ile 1 aralığından rastgele üretilen bir sayıdan oluşan, a rastgeleleştirme parametresi ile gerçekleştirilen rastgele yürüyüştür. $\beta_0 = 0$ olduğu durumda, hareket yalnızca rastgele yürüyüşe bağlı olacaktır. Diğer yandan, ışık emilim katsayısı olan γ ateş böceklerinin birleşme hızında önemli bir etkiye sahiptir. γ parametresinin değeri teorik olarak $\gamma \in [0, \infty)$ aralığında herhangi bir değeri alabilmektedir, ancak ayarın optimize edilecek probleme bağlı olması gerekir. Genellikle bu değer 0.1 ile 10 arasında değişkenlik göstermektedir (Fister, Jr., Yang, & Brest, 2013).

Özetle ABA, üç parametre tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar: rastgeleleştirme parametresi a , çekicilik β ve ışık emilim katsayısı olan γ 'dır. Parametre ayarlarına göre ABA iki asimptotik davranışı ayırt etmektedir. İlk durum $\gamma \rightarrow 0$ olduğunda ortaya çıkmakta, ikinci durum $\gamma \rightarrow \infty$ olduğunda görülmektedir. Eğer $\gamma \rightarrow 0$ olursa, çekicilik $\beta = \beta_0$ olur. Yani, çekicilik arama uzayının her yerinde sabit hale gelmektedir. Bu davranış, bir metasezgisel algoritma türü olan, parçacık sürü optimizasyonunun (PSO) özel bir durumudur. Eğer $\gamma \rightarrow \infty$ olursa, denklem (2.3.6)'nın ikinci terimi devre dışı kalarak, arama uzayında ateş böceğinin hareketi yalnızca rastgele bir yürüme hareketi haline gelir, ki bu

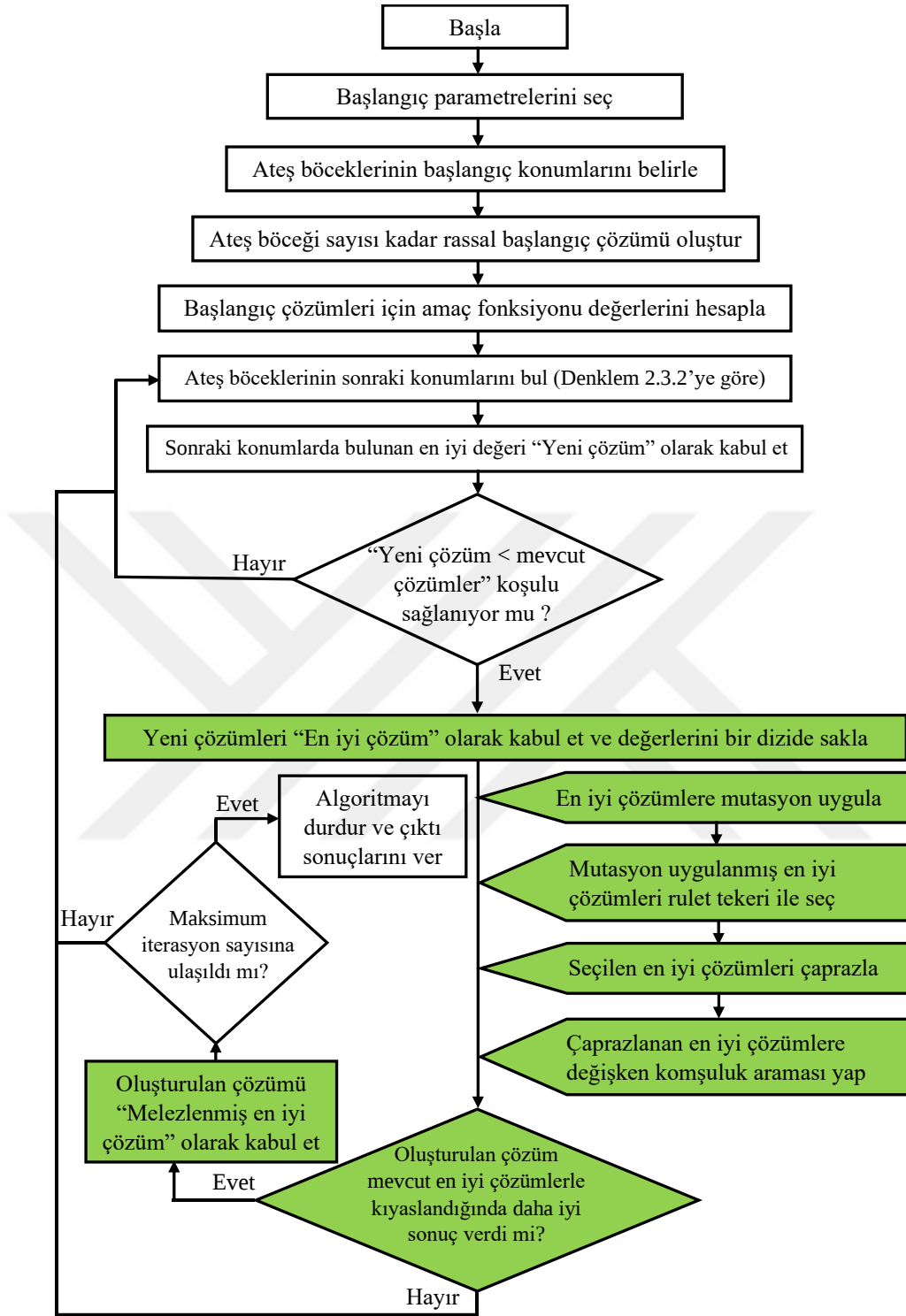
durum esasen BT'nın paralel bir versiyonudur. Böylelikle ABA'nın her bir uygulama biçimi bu iki asimptotik davranış arasında yer alabilmektedir.

Algoritmada yayılım zamanı minimizasyonu amaçlandığından dolayı yeni bulunacak çözümlerin daha iyi çözüm değerleri ifade etmesi, daha küçük zaman değerleri ile mümkün olacaktır, bundan dolayı ABA akış diyagramındaki sorgulama bölümüne “Yeni çözüm<mevcut çözümler” sorgusu eklenmiştir.

2.4. Melez Ateş Böceği Algoritması

Bu çalışmada ABA, İPMÇP'ne çözüm üretebilmek için GA operatörleri olan mutasyon, seçim ve çaprazlama yöntemleri ile melezlenmiş, tüm bunlara ek olarak çözüm uzayında istenen komşu çözümler üzerinde arama kalitesinin arttırılması (MABA'na entegre edilmiş değişken komşuluk arama algoritması 2.5. bölümünde ele alınmıştır.) ile melez ateş böceği algoritması (MABA) oluşturulmuştur.

Geliştirilmiş olan MABA'nın algoritma akış şeması, ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemlerinde C_{max} amaç fonksiyonunu çözmek için, Şekil 11'de verildiği gibidir:



Şekil 11. Melez ateş böceği algoritması akış şeması

2.5. Değişken Komşuluk Arama

Bu tez çalışmasında İPMÇP'nin çözümü için değişken komşuluk arama (DKA) algoritması geliştirilerek kullanılmıştır. DKA komşuluk yapılarında sistematik değişimler yapma fikrine dayanmaktadır. Değişken komşuluk aramada ilk olarak komşuluk yapıları belirlenmelidir. Ardından, uygulanan komşuluk yapısına göre yeni bir çözüm elde edilir, bulunan çözüme yerel arama uygulandıktan sonra yerel arama ile bulunan çözüm, komşu çözüm olarak nitelendirilir ve komşu çözüm ilk çözümden iyi ise bu çözüm geçerli çözüm olarak kabul edilmektedir, akabinde komşuluk yapıları ilk komşu çözümden başlamak üzere baştan başlatılmaktadır. Bulunan çözüm iyi değilse yeni çözüm sonraki komşuluk yapılarının yerel aramada kullanılması ile belirlenir. Komşuluk yapıları belirlendikten sonraki algorithmada gerçekleştirilen tüm bu organizasyonlar DKA algoritmasının ana adımını oluşturmaktadır. Ana adımın devamlılığı bilgisayarda verilecek süre kısıtına veya iterasyon sayısına bağlı olmaktadır (Hansen, Mladenovic, Todosijevic, & Hanafi, 2017).

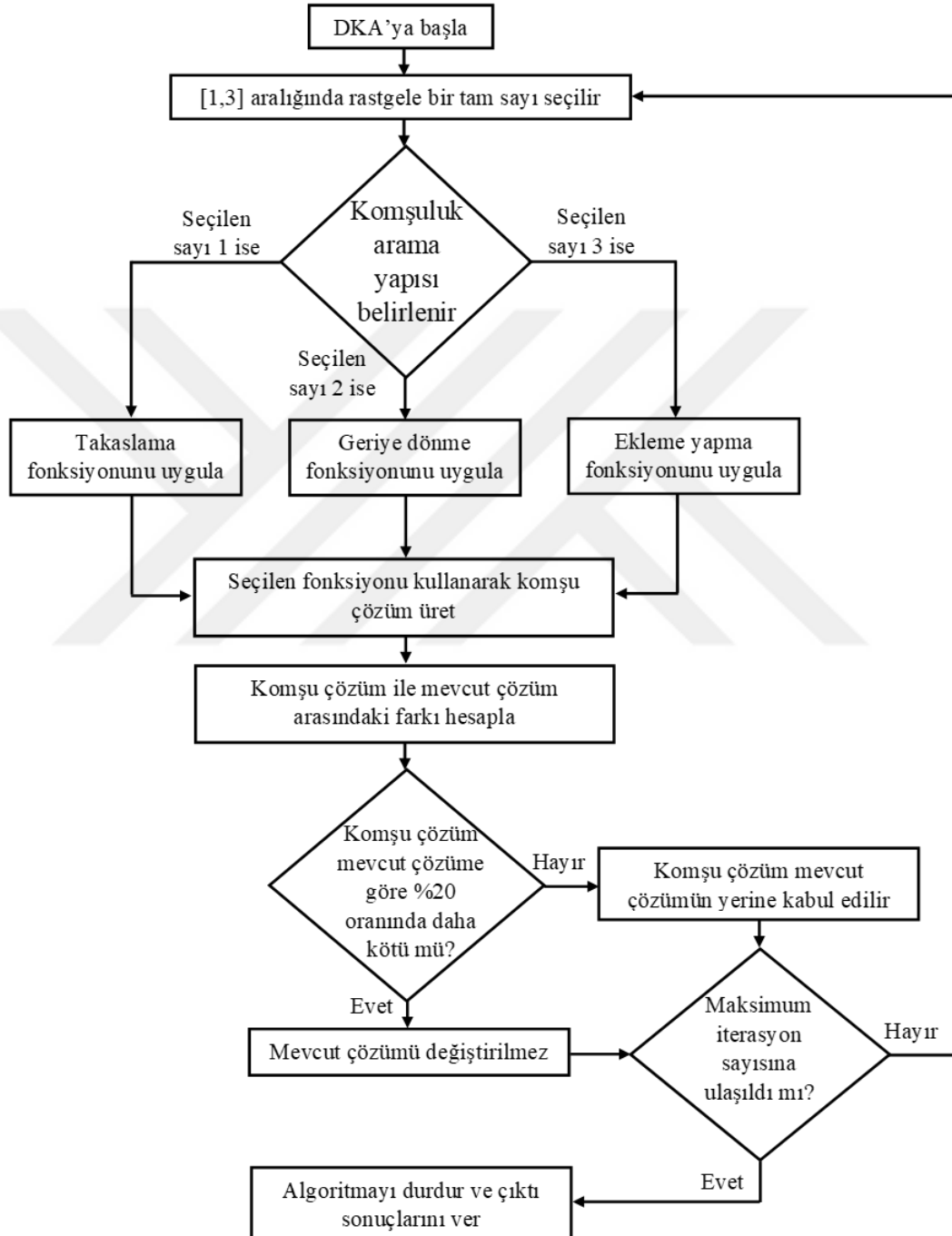
DKA'daki hedef önceden tanımlanmış olan komşuluk yapıları ile elde edilecek çözümü yerel optimum noktalara takılmasını engellemektir. Farklı komşu çözümler farklı yerel optimum noktalar oluşturmakta, global optimumun bu noktalardan biri olması hedeflenir. DKA algoritmasının global optimum noktalarını bulabilmedeki performansı başlangıçta bulunan çözümün kalitesine, seçilen komşuluk yapıları ve komşu çözümlere, kullanılan yerel arama tekniklerine, komşuluk yapılarının uygulanma sırasına göre değişmektedir (Driessel & Mönch, 2011).

Çalışmada kullanılan DKA komşuluk yapıları; takaslama, geriye dönme ve ekleme yapma fonksiyonlarıdır. Geliştirilen algorithmada eşik değerli bir yaklaşım gerçekleştirilerek yerel aramaya farklı bir bakış getirilmiştir. Yerel aramalarda bulunan kötü sonuçların da kabul edilmesi de kimi zaman, çözümü, yerel optimum noktalarından kurtarabildiği, literatürde bilindiğinden ötürü, ilk çözüme kıyasla yüzdesel olarak daha kötü çözümlerin de kabul edilebildiği elitist strateji benimsenmiştir. Eğer daha iyi bir çözüm bulunmuş ise de geleneksel olduğu üzere komşu çözüm direkt olarak kabul edilmektedir. Geliştirilmiş olan DKA algoritma akış şeması Şekil 12'de verildiği gibidir.

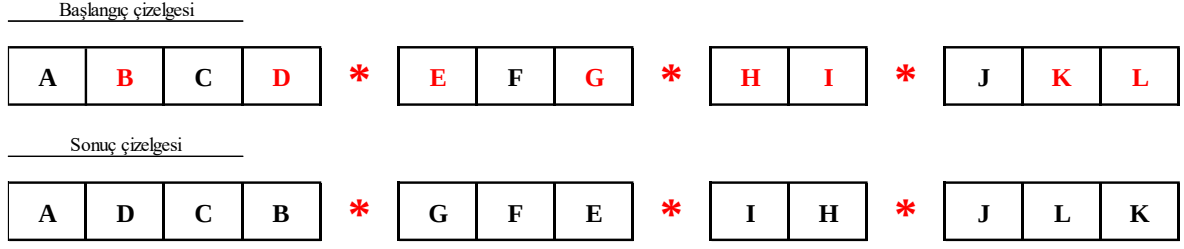
2.5.1. Takaslama Fonksiyonu (Swap)

Bu tezde ele alınan problemin yapısına göre takaslama işlemi, makinede işlem görecektir rastgele seçilecek iki işin yerini değiştirme fonksiyonunu uygulamaktadır. Geliştirilen

MABA'ndan gelecek olan başlangıç çizelgesine göre, 4 makine ve 12 işten oluşan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme probleminde yerel arama faaliyetinin gerçekleştirilmesi ile elde edilecek sonuç çizelgesinin örnekleme Şekil 13'te gösterilmiştir:



Şekil 12. Geliştirilmiş değişken komşuluk arama algoritması akış şeması

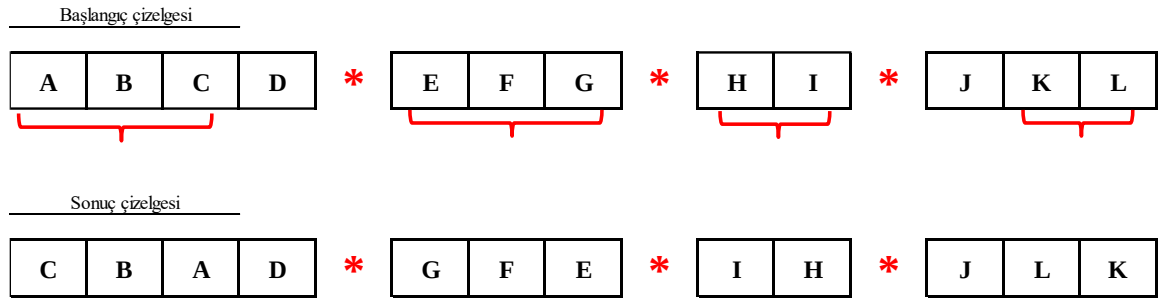


Şekil 13. Takaslama fonksiyonunun işlevi

Şekilde verilen başlangıç çizelgesinde kırmızı renkli işler takaslama işlemi için seçilen işleri göstermektedir. Bu örnek dört makine ve on iki işten oluşan iş sıralamasında takaslama fonksiyonunun nasıl uygulandığını ve çizelgeye nasıl etki ettiğini göstermektedir. Her makine için seçilen iki iş yer değiştirmiştir. Seçilen işler aynı makinede takaslanmasının bir örneği burada verilmiştir ancak farklı makinelerde seçilen işler de kendi aralarında takaslanabilmektedir. İPMÇP’nde takaslama fonksiyonu, farklı çözümler bulmayı sağlayan bir komşuluk yapılandırmasıdır (Fanjul-Peyro & Ruiz, 2010).

2.5.2. Geriye Dönme Fonksiyonu (Reverse)

Bu tezde ele alınan problemin yapısına geriye dönme işlemi her makine için seçilen iki indeks arasında bulunan işlerin alt dizisinin tersine çevirme fonksiyonunu uygulamaktadır. Geliştirilen MABA’ndan gelecek olan başlangıç çizelgesine göre, 4 makine ve 12 işten oluşan İPMÇP’nde yerel arama faaliyetinin gerçekleştirilmesi ile elde edilecek sonuç çizelgesinin örnekleme Şekil 14’te gösterilmiştir:



Şekil 14. Geriye dönme fonksiyonunun işlevi

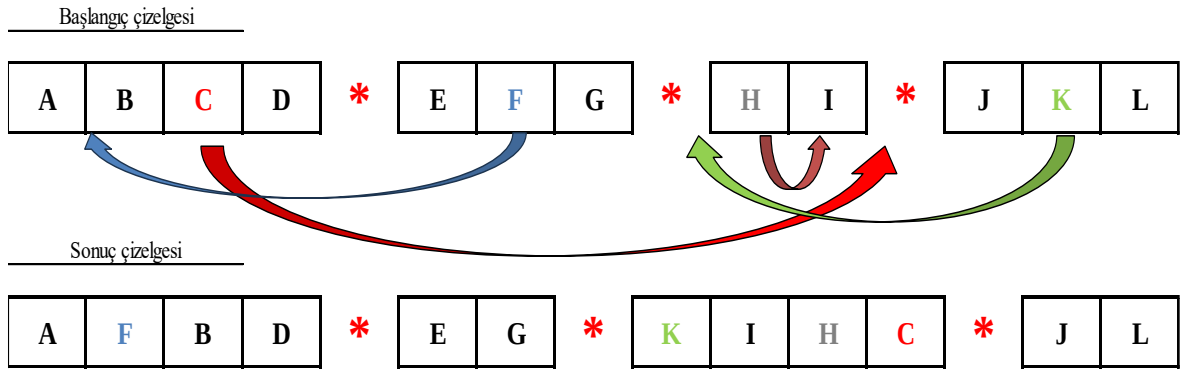
Şekilde verilen başlangıç çizelgesinde makinelere atanmış işlerden seçilmiş olan alt dizi aralığı kırmızı köşeli parantez ile belirtilmiştir. Her makine için farklı alt diziler

seçilerek bu alt diziler tersine çevrilmiştir. Buradaki komşuluk yapısı aynı makinede seçilen işlerin alt dizisinin geriye döndürülmesine dayanmaktadır. Daha karmaşık komşuluk yapıları kurmak adına farklı makinelerde seçilen işlerin alt dizileri kendi aralarında takaslanarak geriye dönme fonksiyonu uygulanabilmektedir. Bu komşuluk yapılandırması ile çizelgelemede daha iyi çözümlerin bulunmasına yardımcı olması beklenmektedir.

2.5.3. Ekleme Yapma Fonksiyonu (Insertion)

Bu tezde ele alınan problemin yapısına ekleme yapma işlemi her makine için rastgele seçilen bir işin başka bir konuma taşınması ile uygulanmaktadır. Geliştirilen MABA'ndan gelecek olan başlangıç çizelgesine göre, 4 makine ve 12 işten oluşan İPMÇP'nde yerel arama faaliyetinin gerçekleştirilmesi ile elde edilecek sonuç çizelgesinin örneklemesi Şekil 15'te gösterilmiştir.

Şekilde verilmiş başlangıç çizelgesinde her bir makinede başka konuma taşınması için seçilmiş olan işleri belirtmek için renklendirme yapılmıştır. Rastgele seçilen işin rastgele taşınması için belirlenen konumu, iş ile aynı renkte bulunan oklar ile gösterilmektedir. Şekil 15'te görüldüğü üzere bir seçilen iş, aynı ya da farklı makinelerde seçilen konumlara taşınabilmektedir. Bu tür bir komşuluk yapılandırması ile İPMÇP'nde makine yüklerini dengelemek ve C_{max} optimizasyonunu gerçekleştirmek için güçlü bir yöntemdir (Kılıç G. , 2023).



Şekil 15. Ekleme yapma fonksiyonunun işlevi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında Ateş Böceği Algoritması, sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme probleminin çözümü için Genetik Algoritma operatörleri olan seçim, mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak melez hale getirilmiştir. Melez Ateş Böceği Algoritması'na, yerel optimum noktaları hızlı aşabilmesi ve çözüm kalitesinin iyileştirilmesi adına, geliştirilmiş olan değişken komşuluk arama algoritması entegre edilmiş bu sayede MABA geliştirilmiştir.

Literatürde örnek veri seti kaynaklarına erişilememesinden dolayı çalışmada ele alınacak olan test verilerinin veri setleri PyCharm arayüzü kullanılarak Python programlama dili ile üretilmiştir. Verilerin üretimi Tablo 7'de yer alan minimum ve maksimum değerler aralığında rassal olarak dakika birimi baz alınarak üretilmiştir.

Tablo 7. Veri üretici algoritma değer aralıkları

Sınırlar / Süreler	Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
Minimum	15	60
Maksimum	70	125

Programlanan veri üretici algoritmaya iş ve makine sayısı parametrelerini girip problem boyutunu belirledikten sonra, üretilecek olan verilerde minimum ve maksimum aralıkların belirlenmesi ile rassal olarak işlerin hazırlık ve işlem süreleri oluşturulmuştur. Geliştirilmiş olan veri üretici algoritmanın Python programlama dili kodları Ek 1'de verilmiştir.

3.1. Değişken Komşuluk Arama Eşik Değer Analizi

MABA için geliştirilmiş olan DKA algoritmasının eşik değerini belirleyebilmek için parametre analizi yapılmıştır. Komşu çözüm aramalarında elde edilen kötü sonuçların da yerel optimum noktalardan kaçmakta işlevsel olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı bulunan kötü çözümlerin de bir eşik kadar kabul edilmesi bu algorithmada uygulanmıştır. En iyi eşik değeri belirleyebilmek adına literatürde bu alanda var olan eşik değerler (10-15-20-25-30) yüzdelik değerlerine sahiptir (P. Hansen, 2001). Literatürde yer alan bu beş eşik değer, veri

üreticide üretilen farklı problem boyutları için beşer kez koşturularak ortalaması alınmış, en iyi ortalama değer olan %20, algoritmanın eşik değeri olarak belirlenmiştir. Belirlemenin adil olabilmesi için fonksiyon değerlendirme sayısı (FDS) kullanılmıştır. FDS, bir optimizasyon algoritmasının çalışması sırasında hedef fonksiyonun kaç kez değerlendirildiğini ifade etmektedir. Özellikle, metasezgisel ve evrimsel algoritmalar gibi optimizasyon yöntemlerinde FDS, algoritmanın performansını ölçmek ve hesaplama maliyetini değerlendirmek için önemli bir kriterdir. FDS değeri, algoritmanın kaç kez fonksiyon çağrısı yaptığını göstermektedir. Çalışmada ele alınan FDS, MATLAB programlama dilinde kullanılan “NFE” (Number of Function Evaluations) değişkeni ile özdeşdir. DKA algoritması eşik değer analizi Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. DKA algoritması eşik değer analizi

Problem Verisi ($n \times m$)	Aranan Değerler	%10	%15	%20	%25	%30
40x6	C_{max}	890,2	894,0	832,8	904,8	887,8
	FDS	64.724,6	66.410,6	65.173,2	63.897,4	64.494,6
60x7	C_{max}	1.205,0	1.174,8	1.159,6	1.162,8	1.164,2
	FDS	75.336,0	72.665,0	73.730,8	76.508,4	74.403,2
80x8	C_{max}	1.161,2	1.183,0	1.140,0	1.194,8	1.167,6
	FDS	266.782,2	257.871,6	281.593,2	257.528,2	255.087,4
100x9	C_{max}	1.474,8	1.464,4	1.461,8	1.468,0	1.478,4
	FDS	289.586,2	306.523,8	294.568,8	274.499,6	289.844,4
120x10	C_{max}	1.642,6	1.626,2	1.615,3	1.675,4	1.637,8
	FDS	283.200,4	291.266,4	284.145	291.683,2	290.629,2

3.2. Geliştirilmiş Melez Ateş Böceği Algoritması’nın Fizibilite Analizi

İlk etapta geliştirilen MABA’nın fizibilite analizini yapabilmek adına veri üretici algortmada üretilmiş olan küçük sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problem boyutlarının optimum çözümleri, matematiksel modelin GAMS programına kodlanarak çözdürülmesi ile elde edilmiş ve geliştirilmiş olan MABA ile çözüm sonuçları Tablo 9’da verildiği üzere karşılaştırılmıştır.

Tablo 9. MABA fizibilite analizi

Veri Boyutları (İş Sayısı x Makine Sayısı)	Çözüm Sonuçları			
	GAMS		MABA	
	C_{max}	CPU	C_{max}	CPU
6x2	300	13,851	300	24,012
7x2	455	9,466	455	23,930
8x2	404	11,654	404	26,487
9x2	486	35,322	486	30,519
10x2	464	220,857	464	53,510
11x2	564	1.667,357	564	46,749
6x4	177	8,993	177	23,861
7x4	213	12,179	213	27,739
8x4	186	9,690	186	26,327
9x4	278	37,456	278	27,724
10x4	256	42,411	256	30,154
11x4	280	199,475	280	31,600
8x6	161	11,014	161	22,913
9x6	173	9,046	173	37,071
10x6	180	9,766	180	31,205
11x6	180	9,848	180	31,476
10x8	160	9,780	160	41,783
11x8	156	11,531	156	47,307

Tablo 9 incelendiğinde matematiksel model, çözüm sonuçlarında yalnızca 11 iş 2 makineden oluşan veri boyutlarındaki SBHS bulunan İPMÇP'nin optimum çözümüne uzun süre koşturulmasına rağmen ulaşamamıştır, olurlu çözüm elde edilebilmiştir, diğer bütün problem boyutlarında optimum çözümlere ulaşılmıştır.

MABA optimum çözümü bulunan bütün problem boyutlarında optimal sonuç elde etmeyi başarmış, böylelikle geliştirilmiş olan MABA'nın fizibilite koşullarını sağladığı test edilerek kanıtlanmıştır.

3.3. Algoritma Test Sonuçları

Bir sonraki aşamada geliştirilmiş olan MABA'na, veri üreticide üretilen 66 farklı sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problem boyutu çözdürülmüştür. MABA algoritmasının sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan İPMÇP'ni çözmedeki etkinliğini test edebilmek için, aynı veriler melezlenmiş olduğu klasik ABA ve GA' ya ve literatürde bu problem türünü çözmede çokça kullanılan bir başka metasezgisel yöntem olan BT'ya çözdürülerek kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar elde edilen sonuçların C_{max} , CPU ve FDS değerine göre minimumundan bir başka deyişle en iyi çözümünden yüzde sapma değerine göre denklem (15)'te hesaplanmıştır.

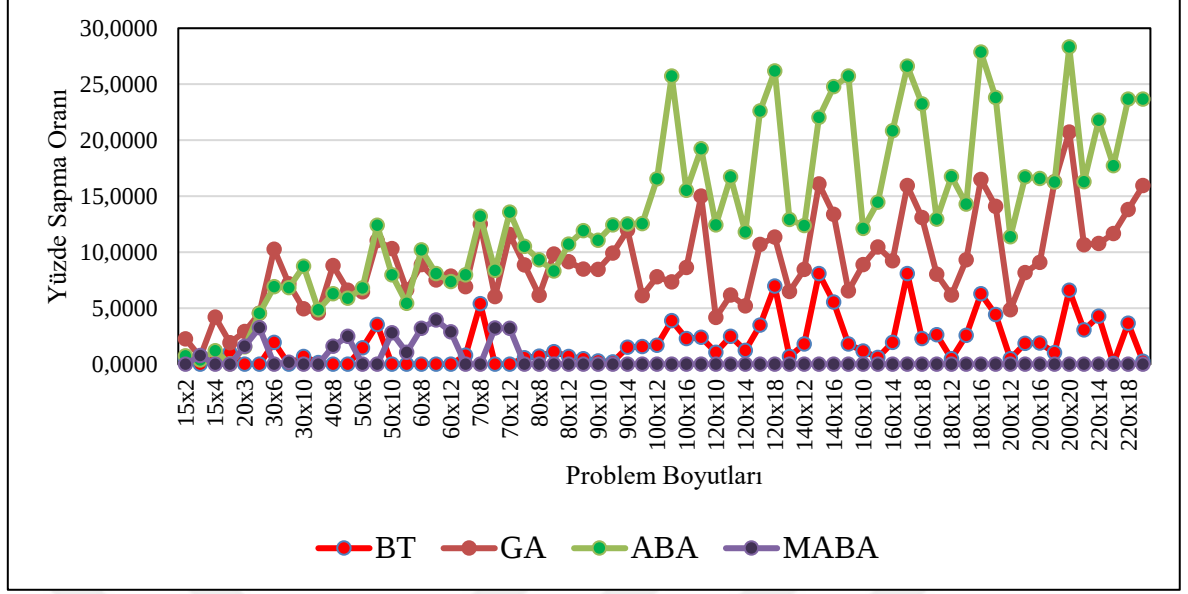
$$\text{Yüzde Sapma Değeri} = \left(\frac{\text{Çözüm Değeri} - \text{Min.Değer}}{\text{Min.Değer}} \right) * 100 \quad (15)$$

Test edilen sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi verileri; Intel Core i7 2.8 GHz işlemci, 16 GB RAM ve Microsoft Windows 10 Home 64-Bit işletim sistemi bulunan bir bilgisayarda MATLAB programlama dili kullanılarak çözdürülmüştür.

Veri üreticide üretilerek, test edilen sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan İPMÇP verilerinin çözüm sonuçları, her bir problem verisi için üçer kez koşturulmuş ve çözüm sonuçlarının ortalaması Tablo 10'da verilmiştir. Tablo 10'da geliştirilmiş olan MABA'nın bulduğu en iyi değere sahip C_{max} çözüm sonuçları, sarı renk dolgu ve kalın eğik yazı puntosu ile vurgulanmıştır.

Tablo 10 incelendiğinde 66 problem boyutunun 53'ünde geliştirilmiş olan MABA'nın, eşit FDS kısıtlamalarına göre koşumlarda diğer metasezgisellerden daha iyi çözüm elde ettiği görülmektedir. Başka bir deyişle, test verilerinin çözümünde, geliştirilmiş olan MABA diğer metasezgisel çözümlerinden %80,3 oranda daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 10'da elde edilen çözüm sonuçlarının yüzde sapma değerleri Tablo 11'de verilmiştir. Sapma değerlerine göre elde edilen C_{max} değerlerinin analizi Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Test verilerinde elde edilen C_{max} değerlerinin analizi

Şekil 16 incelendiğinde, BT metasezgiselinin, en iyi çözümleri bulan geliştirilmiş MABA'na en yakın sonuçları elde ettiği ve 13 farklı problem verisinde geliştirilen MABA'ndan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Tablo 10. Test verileri koşum ortalamaları çözüm sonuçları

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
15x2	837,00	23,92	150.001	851,67	27,50	150.025	839,00	39,66	150.023	832,67	46,34	150.017
15x3	516,00	22,94	150.001	519,33	25,79	150.025	518,00	38,64	150.023	520,00	44,46	150.017
15x4	388,67	23,22	150.001	403,33	26,33	150.025	391,67	36,99	150.023	387,00	43,69	150.017
20x2	1.140,33	30,33	150.001	1.150,33	30,92	150.025	1.129,00	55,65	150.023	1.128,67	59,73	150.017
20x3	686,00	29,19	150.001	706,00	31,17	150.025	696,67	43,89	150.023	697,00	51,79	150.017
20x4	497,67	28,27	150.001	520,33	30,92	150.025	520,33	51,47	150.023	514,00	56,85	150.017
30x6	506,33	40,39	150.001	547,67	42,98	150.025	531,00	70,93	150.023	496,67	78,59	150.017
30x8	376,00	38,49	150.001	403,00	43,72	150.025	401,67	75,93	150.023	376,67	82,56	150.017
30x10	291,33	38,45	150.001	303,67	43,05	150.025	314,67	74,93	150.023	289,33	81,41	150.017
40x6	664,67	53,08	150.001	694,00	51,16	150.025	696,00	102,16	150.023	663,67	105,79	150.017
40x8	514,00	50,17	150.001	559,33	50,66	150.025	546,33	90,32	150.023	522,33	97,27	150.017
40x10	413,33	48,29	150.001	440,67	52,13	150.025	437,67	97,27	150.023	423,67	103,08	150.017
50x6	859,00	64,36	150.001	901,33	61,84	150.025	904,33	117,29	150.023	846,67	123,60	150.017
50x8	631,00	67,53	150.001	676,67	68,71	150.025	685,00	111,61	150.023	609,33	124,42	150.017
50x10	522,33	61,59	150.001	576,33	60,63	150.025	564,00	110,48	150.023	537,00	118,07	150.017
60x6	1.036,33	70,79	150.001	1.105,00	77,83	150.025	1.092,67	139,93	150.023	1.047,33	150,25	150.017
60x8	770,67	67,82	150.001	839,33	84,54	150.025	849,33	122,85	150.023	795,33	143,10	150.017
60x10	625,33	76,60	150.001	672,33	87,39	150.025	676,00	123,67	150.023	650,00	145,63	150.017
60x12	538,33	78,93	150.001	580,67	87,52	150.025	578,00	119,91	150.023	554,00	143,13	150.017
70x6	1.192,00	78,34	150.001	1.264,33	81,32	150.025	1.276,67	154,86	150.023	1.182,33	162,96	150.017
70x8	923,67	79,41	150.001	986,00	81,01	150.025	992,00	150,01	150.023	876,33	159,41	150.017

Tablo 10'un devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
70x10	743,33	77,61	150.001	788,33	88,72	150.025	805,67	141,71	150.023	767,33	159,00	150.017
70x12	641,00	80,68	150.001	715,33	97,53	150.025	728,00	140,27	150.023	661,67	164,08	150.017
80x6	1.374,33	89,34	150.001	1.487,67	93,53	150.025	1.510,33	170,24	150.023	1.366,33	182,00	150.017
80x8	1.052,67	87,75	150.001	1.109,33	92,95	150.025	1.142,33	166,29	150.023	1.045,00	178,88	150.017
80x10	846,00	88,61	150.001	919,00	93,44	150.025	906,33	162,00	150.023	836,67	176,25	150.017
80x12	726,67	88,46	150.001	787,67	93,47	150.025	799,00	163,57	150.023	721,67	177,36	150.017
90x8	1.178,67	98,75	150.001	1.272,67	104,79	150.025	1.313,00	203,15	150.023	1.173,00	212,48	150.017
90x10	972,00	98,40	150.001	1.051,00	102,28	150.025	1.076,33	204,75	150.023	969,00	211,85	150.017
90x12	827,67	100,54	150.001	908,00	103,15	150.025	928,67	224,07	150.023	826,00	225,79	150.017
90x14	713,67	99,45	150.001	787,33	105,33	150.025	791,00	198,37	150.023	703,00	209,55	150.017
100x10	1.085,00	111,85	150.001	1.133,33	138,48	150.025	1.202,00	203,49	150.023	1.068,00	235,96	150.017
100x12	924,00	108,79	150.001	979,67	132,75	150.025	1.059,00	200,91	150.023	908,67	230,22	150.017
100x14	809,00	110,53	150.001	836,00	130,61	150.025	979,00	194,10	150.023	778,67	224,05	150.017
100x16	698,67	109,66	150.001	742,00	129,31	150.025	789,00	190,68	150.023	683,00	220,79	150.017
100x18	621,33	111,64	150.001	697,67	140,92	150.025	723,33	191,07	150.023	606,67	229,07	150.017
120x10	1.322,67	130,78	150.001	1.363,33	152,96	150.025	1.471,33	234,94	150.023	1.308,67	267,65	150.017
120x12	1.104,00	131,60	150.001	1.143,67	150,30	150.025	1.257,00	223,48	150.023	1.077,00	257,91	150.017
120x14	969,33	129,29	150.001	1.007,33	151,67	150.025	1.070,33	219,97	150.023	957,33	256,43	150.017
120x16	851,67	133,61	150.001	911,00	151,11	150.025	1.009,00	214,31	150.023	823,00	252,14	150.017
120x18	775,00	129,96	150.001	806,67	152,63	150.025	914,00	218,23	150.023	724,33	255,89	150.017
140x10	1.529,67	149,47	150.001	1.617,67	175,34	150.025	1.715,33	272,91	150.023	1.519,00	309,30	150.017

Tablo 10'un devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
140x12	1.286,67	150,60	150.001	1.370,67	175,84	150.025	1.420,00	260,38	150.023	1.263,67	300,99	150.017
140x14	1.113,67	148,75	150.001	1.196,33	176,61	150.025	1.257,33	264,25	150.023	1.030,33	304,19	150.017
140x16	996,00	147,45	150.001	1.070,00	176,72	150.025	1.177,67	245,44	150.023	943,67	291,29	150.017
140x18	902,33	159,64	150.001	944,33	180,58	150.025	1.114,33	257,71	150.023	886,33	302,42	150.017
160x10	1.769,67	184,66	150.001	1.904,67	198,11	150.025	1.961,00	305,97	150.023	1.749,00	347,82	150.017
160x12	1.484,67	170,17	150.001	1.630,00	197,96	150.025	1.689,33	295,05	150.023	1.475,67	340,18	150.017
160x14	1.310,67	169,23	150.001	1.404,33	199,51	150.025	1.553,67	295,13	150.023	1.285,67	341,30	150.017
160x16	1.151,00	167,43	150.001	1.234,67	201,58	150.025	1.348,00	285,52	150.023	1.064,67	336,10	150.017
160x18	1.033,67	166,63	150.001	1.142,67	202,24	150.025	1.245,00	288,34	150.023	1.010,33	338,50	150.017
180x10	2.025,00	191,65	150.001	2.131,33	222,11	150.025	2.228,33	336,99	150.023	1.972,67	385,78	150.017
180x12	1.712,67	190,08	150.001	1.809,67	223,57	150.025	1.989,67	323,35	150.023	1.704,33	377,38	150.017
180x14	1.457,67	188,70	150.001	1.553,33	221,62	150.025	1.624,33	316,24	150.023	1.421,00	371,12	150.017
180x16	1.311,00	189,08	150.001	1.436,67	221,59	150.025	1.577,00	314,25	150.023	1.233,33	369,73	150.017
180x18	1.176,33	191,40	150.001	1.285,00	223,55	150.025	1.394,67	299,71	150.023	1.126,33	361,05	150.017
200x12	1.916,67	208,38	150.001	2.000,00	248,10	150.025	2.124,67	406,59	150.023	1.907,33	451,73	150.017
200x14	1.645,67	208,66	150.001	1.747,67	243,27	150.025	1.885,67	367,40	150.023	1.615,33	421,36	150.017
200x16	1.461,67	210,79	150.001	1.565,00	245,67	150.025	1.672,00	354,68	150.023	1.434,33	414,24	150.017
200x18	1.317,67	209,75	150.001	1.516,67	242,94	150.025	1.516,00	353,45	150.023	1.304,00	411,51	150.017
200x20	1.189,67	211,54	150.001	1.347,33	247,15	150.025	1.432,00	342,46	150.023	1.116,00	406,83	150.017
220x12	2.114,33	231,80	150.001	2.270,33	266,80	150.025	2.386,00	410,93	150.023	2.051,67	467,64	150.017
220x14	1.832,33	230,22	150.001	1.946,33	269,62	150.025	2.139,33	412,02	150.023	1.756,67	470,33	150.017
220x16	1.594,33	227,16	150.001	1.779,33	270,43	150.025	1.875,67	399,29	150.023	1.593,33	462,10	150.017

Tablo 10'un devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
220x18	1.438,00	228,01	150.001	1.578,67	265,61	150.025	1.715,33	386,61	150.023	1.387,00	450,03	150.017
220x20	1.311,00	227,67	150.001	1.516,33	269,54	150.025	1.617,00	388,12	150.023	1.307,67	453,79	150.017

Tablo 11. Test verisi çözüm sonuçlarının minimumdan yüzde sapma değerlerinin kıyaslanması

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum C_{max}	BT			GA			ABA			MABA		
		C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
15x2	832,67	0,52	0,00	0,00	2,28	14,98	0,02	0,76	65,83	0,01	0,00	93,76	0,01
15x3	516,00	0,00	0,00	0,00	0,65	12,42	0,02	0,39	68,42	0,01	0,78	93,78	0,01
15x4	387,00	0,43	0,00	0,00	4,22	13,39	0,02	1,21	59,30	0,01	0,00	88,16	0,01
20x2	1128,67	1,03	0,00	0,00	1,92	1,94	0,02	0,03	83,44	0,01	0,00	96,91	0,01
20x3	686,00	0,00	0,00	0,00	2,92	6,80	0,02	1,55	50,36	0,01	1,60	77,44	0,01
20x4	497,67	0,00	0,00	0,00	4,55	9,39	0,02	4,55	82,05	0,01	3,28	101,10	0,01
30x6	496,67	1,95	0,00	0,00	10,27	6,41	0,02	6,91	75,60	0,01	0,00	94,59	0,01
30x8	376,00	0,00	0,00	0,00	7,18	13,58	0,02	6,83	97,25	0,01	0,18	114,47	0,01
30x10	289,33	0,69	0,00	0,00	4,95	11,97	0,02	8,76	94,86	0,01	0,00	111,72	0,01
40x6	663,67	0,15	3,75	0,00	4,57	0,00	0,02	4,87	99,70	0,01	0,00	106,79	0,01
40x8	514,00	0,00	0,00	0,00	8,82	0,98	0,02	6,29	80,03	0,01	1,62	93,89	0,01
40x10	413,33	0,00	0,00	0,00	6,61	7,94	0,02	5,89	101,41	0,01	2,50	113,45	0,01
50x6	846,67	1,46	4,08	0,00	6,46	0,00	0,02	6,81	89,67	0,01	0,00	99,87	0,01
50x8	609,33	3,56	0,00	0,00	11,05	1,75	0,02	12,42	65,28	0,01	0,00	84,25	0,01

Tablo 11'in devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum C_{max}	BT			GA			ABA			MABA		
		C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
50x10	522,33	0,00	1,59	0,00	10,34	0,00	0,02	7,98	82,22	0,01	2,81	94,73	0,01
60x6	1036,33	0,00	0,00	0,00	6,63	9,95	0,02	5,44	97,68	0,01	1,06	112,26	0,01
60x8	770,67	0,00	0,00	0,00	8,91	24,65	0,02	10,21	81,14	0,01	3,20	110,99	0,01
60x10	625,33	0,00	0,00	0,00	7,52	14,09	0,02	8,10	61,46	0,01	3,94	90,13	0,01
60x12	538,33	0,00	0,00	0,00	7,86	10,89	0,02	7,37	51,93	0,01	2,91	81,34	0,01
70x6	1182,33	0,82	0,00	0,00	6,94	3,80	0,02	7,98	97,67	0,01	0,00	108,01	0,01
70x8	876,33	5,40	0,00	0,00	12,51	2,02	0,02	13,20	88,91	0,01	0,00	100,74	0,01
70x10	743,33	0,00	0,00	0,00	6,05	14,32	0,02	8,39	82,59	0,01	3,23	104,87	0,01
70x12	641,00	0,00	0,00	0,00	11,60	20,88	0,02	13,57	73,85	0,01	3,22	103,36	0,01
80x6	1366,33	0,59	0,00	0,00	8,88	4,69	0,02	10,54	90,55	0,01	0,00	103,72	0,01
80x8	1045,00	0,73	0,00	0,00	6,16	5,93	0,02	9,31	89,51	0,01	0,00	103,85	0,01
80x10	836,67	1,12	0,00	0,00	9,84	5,45	0,02	8,33	82,82	0,01	0,00	98,91	0,01
80x12	721,67	0,69	0,00	0,00	9,15	5,65	0,02	10,72	84,90	0,01	0,00	100,48	0,01
90x8	1173,00	0,48	0,00	0,00	8,50	6,11	0,02	11,94	105,73	0,01	0,00	115,17	0,01
90x10	969,00	0,31	0,00	0,00	8,46	3,95	0,02	11,08	108,08	0,01	0,00	115,30	0,01
90x12	826,00	0,20	0,00	0,00	9,93	2,59	0,02	12,43	122,86	0,01	0,00	124,57	0,01
90x14	703,00	1,52	0,00	0,00	12,00	5,91	0,02	12,52	99,47	0,01	0,00	110,71	0,01
100x10	1068,00	1,59	0,00	0,00	6,12	23,81	0,02	12,55	81,93	0,01	0,00	110,96	0,01
100x12	908,67	1,69	0,00	0,00	7,81	22,02	0,02	16,54	84,68	0,01	0,00	111,62	0,01
100x14	778,67	3,90	0,00	0,00	7,36	18,16	0,02	25,73	75,61	0,01	0,00	102,70	0,01
100x16	683,00	2,29	0,00	0,00	8,64	17,93	0,02	15,52	73,89	0,01	0,00	101,35	0,01
100x18	606,67	2,42	0,00	0,00	15,00	26,23	0,02	19,23	71,15	0,01	0,00	105,19	0,01
120x10	1308,67	1,07	0,00	0,00	4,18	16,96	0,02	12,43	79,64	0,01	0,00	104,66	0,01

Tablo 11'in devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum C_{max}	BT			GA			ABA			MABA		
		C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
120x12	1077,00	2,51	0,00	0,00	6,19	14,21	0,02	16,71	69,82	0,01	0,00	95,99	0,01
120x14	957,33	1,25	0,00	0,00	5,22	17,32	0,02	11,80	70,14	0,01	0,00	98,35	0,01
120x16	823,00	3,48	0,00	0,00	10,69	13,10	0,02	22,60	60,41	0,01	0,00	88,72	0,01
120x18	724,33	6,99	0,00	0,00	11,37	17,44	0,02	26,18	67,92	0,01	0,00	96,90	0,01
140x10	1519,00	0,70	0,00	0,00	6,50	17,31	0,02	12,93	82,59	0,01	0,00	106,93	0,01
140x12	1263,67	1,82	0,00	0,00	8,47	16,76	0,02	12,37	72,90	0,01	0,00	99,87	0,01
140x14	1030,33	8,09	0,00	0,00	16,11	18,73	0,02	22,03	77,65	0,01	0,00	104,50	0,01
140x16	943,67	5,55	0,00	0,00	13,39	19,85	0,02	24,80	66,45	0,01	0,00	97,55	0,01
140x18	886,33	1,81	0,00	0,00	6,54	13,11	0,02	25,72	61,43	0,01	0,00	89,43	0,01
160x10	1749,00	1,18	0,00	0,00	8,90	7,29	0,02	12,12	65,70	0,01	0,00	88,36	0,01
160x12	1475,67	0,61	0,00	0,00	10,46	16,33	0,02	14,48	73,39	0,01	0,00	99,91	0,01
160x14	1285,67	1,94	0,00	0,00	9,23	17,89	0,02	20,85	74,39	0,01	0,00	101,67	0,01
160x16	1064,67	8,11	0,00	0,00	15,97	20,40	0,02	26,61	70,53	0,01	0,00	100,74	0,01
160x18	1010,33	2,31	0,00	0,00	13,10	21,37	0,02	23,23	73,04	0,01	0,00	103,15	0,01
180x10	1972,67	2,65	0,00	0,00	8,04	15,89	0,02	12,96	75,84	0,01	0,00	101,29	0,01
180x12	1704,33	0,49	0,00	0,00	6,18	17,62	0,02	16,74	70,12	0,01	0,00	98,54	0,01
180x14	1421,00	2,58	0,00	0,00	9,31	17,44	0,02	14,31	67,58	0,01	0,00	96,67	0,01
180x16	1233,33	6,30	0,00	0,00	16,49	17,19	0,02	27,86	66,20	0,01	0,00	95,54	0,01
180x18	1126,33	4,44	0,00	0,00	14,09	16,80	0,02	23,82	56,59	0,01	0,00	88,64	0,01
200x12	1907,33	0,49	0,00	0,00	4,86	19,06	0,02	11,39	95,12	0,01	0,00	116,79	0,01
200x14	1615,33	1,88	0,00	0,00	8,19	16,59	0,02	16,74	76,08	0,01	0,00	101,94	0,01

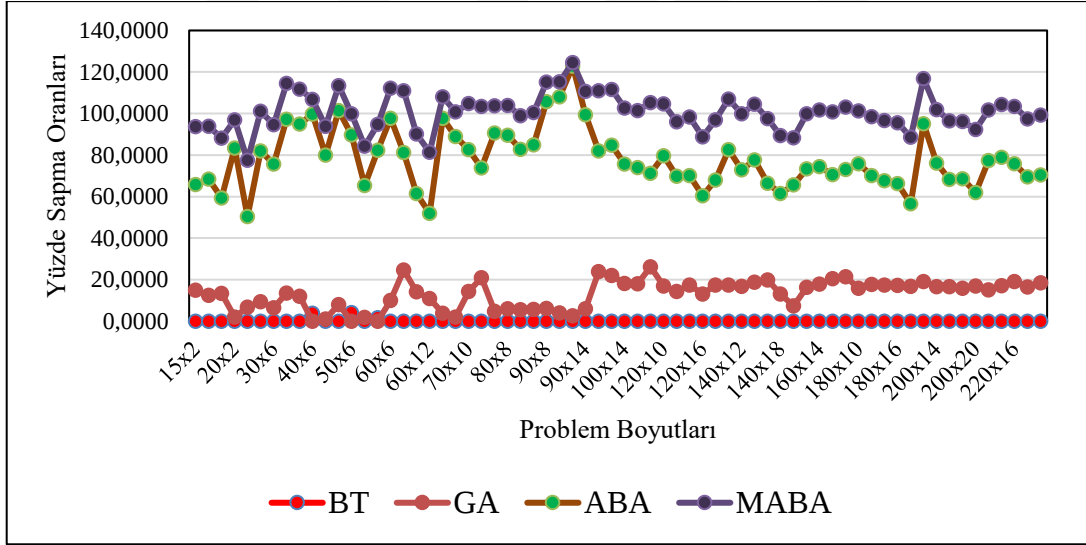
Tablo 11'in devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum C_{max}	BT			GA			ABA			MABA		
		C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
200x16	1434,33	1,91	0,00	0,00	9,11	16,55	0,02	16,57	68,26	0,01	0,00	96,52	0,01
200x18	1304,00	1,05	0,00	0,00	16,31	15,83	0,02	16,26	68,51	0,01	0,00	96,19	0,01
200x20	1116,00	6,60	0,00	0,00	20,73	16,84	0,02	28,32	61,89	0,01	0,00	92,32	0,01
220x12	2051,67	3,05	0,00	0,00	10,66	15,10	0,02	16,30	77,28	0,01	0,00	101,74	0,01
220x14	1756,67	4,31	0,00	0,00	10,80	17,12	0,02	21,78	78,97	0,01	0,00	104,30	0,01
220x16	1593,33	0,06	0,00	0,00	11,67	19,05	0,02	17,72	75,78	0,01	0,00	103,43	0,01
220x18	1387,00	3,68	0,00	0,00	13,82	16,49	0,02	23,67	69,55	0,01	0,00	97,37	0,01
220x20	1307,67	0,25	0,00	0,00	15,96	18,39	0,02	23,66	70,47	0,01	0,00	99,32	0,01

BT metasezgiselinin elde ettiği en iyi çözüm değerleri 15x3, 20x3, 20x4, 30x8, 40x8, 40x10, 50x10, 60x6, 60x8, 60x10, 60x12, 70x8 ve 70x10 ($n \times m$) problem boyutlarında elde edilmiştir. Bu durum, MABA'nın sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan İPMÇP'inde küçük boyutlu problemleri çözmedeki en iyi yöntem olmadığını göstermektedir. Ancak 70x12 problem boyutundan sonra giderek artan boyutlarda devam eden bütün problem verilerinde MABA'nın en iyi çözümü bulan yöntem olmasından dolayı, büyük ve karmaşık problem boyutlarında SBHS bulunan İPMÇP'ni çözmedeki en iyi yöntem olduğunu göstermektedir. Böylelikle geliştirilmiş olan MABA'nın, büyüklük ve karmaşıklık derecesi yüksek olan SBHS bulunan İPMÇP'ni çözmedeki etkinliği kanıtlanmıştır.

Diğer yandan, BT dışındaki diğer metasezgisel yöntemler olan ABA ve GA ise herhangi bir problem boyutunda en iyi çözümü bulamadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 11'de ve bu tezde verilen, çözümlerin yüzde sapma değerlerine göre merkezi işlem birimi (Central Process Unit, CPU) değerleri saniye birimindedir ve analizi Şekil 17'de verilmiştir.



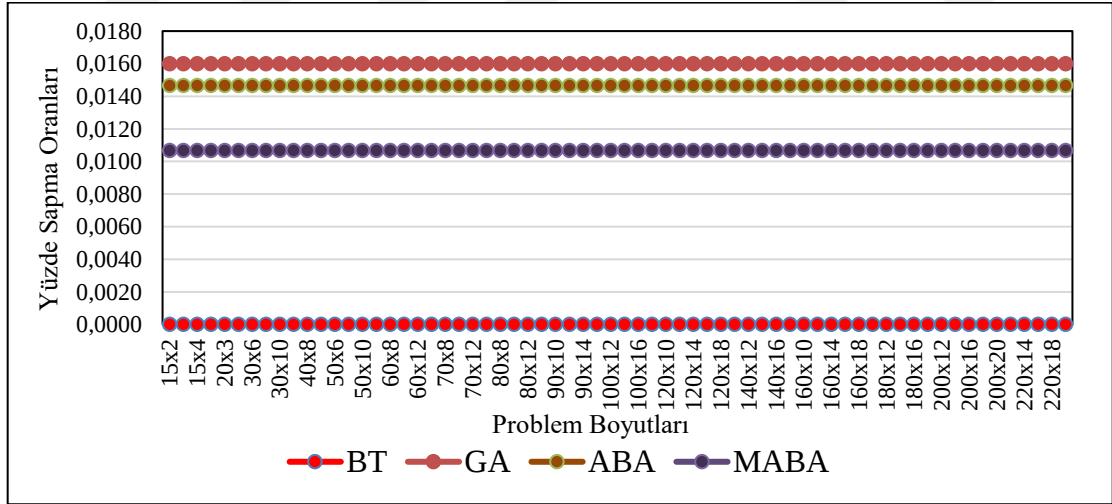
Şekil 17. Test verilerinde elde edilen CPU değerlerinin analizi

Şekil 17'de verilen grafik incelendiğinde, geliştirilmiş olan MABA'nın en yüksek CPU değerine sahip çözümler üreten algoritma olduğu gözlemlenmektedir. Diğer metasezgisel yöntemlere bakıldığında ise, BT'nin en düşük CPU değerine sahip olduğu, ikinci olarak en düşük CPU değerine GA'nın sahip olduğu ve her bir problem boyutu verisinde CPU değerleri için, BT ile GA arasındaki farkın toplam ortalamasının %12,81

olduğu hesaplanmış ve bu iki algoritmanın CPU değerlerinin birbirine yakınsadığı gözlemlenmiştir.

Öte yandan, geliştirilmiş MABA'nın klasik ABA ile yaklaşık aynı CPU değerleri verdiği gözlemlenmektedir. İki algoritmanın her bir problem verisi için aralarındaki CPU değeri farkının ortalama değeri %13,12 olarak hesaplanmıştır, geliştirilen MABA ile ABA algoritmasının CPU değerlerinin birbirine yakınsadığı görülmektedir.

Geliştirilen MABA'nın, diğer metasezgisel çözümlere göre en yüksek değerli CPU değerine sahip olmasının nedeni, melez bir algoritma olmasından dolayı birden çok fonksiyonu iç içe bir zincir döngüsü halinde koşturmasından kaynaklanmaktadır. Geliştirilen MABA'nda genetik algoritma operatörleri olan çaprazlama, mutasyon ve seçim ile melez ateş böceği algoritmasında kullanılan ateş böceği yön tayini fonksiyonel denklemleri birleştirilmiş, üstelik bulunan en iyi çözümlere de geliştirilmiş değişken komşuluk arama algoritmasının takaslama, geriye dönme, ekleme yapma fonksiyonel denklemleri eklenmiştir. Bundan dolayı koşumlarda hedeflenen aynı fonksiyon değerlendirme sayısında MABA, SBHS bulunan İPMÇP test verilerini diğer metasezgisel yöntemlerden daha uzun sürede çözebilmiştir.



Şekil 18. Test verilerinde elde edilen FDS değerlerinin analizi

Tablo 11'de verilen çözümlerin yüzde sapma değerlerine göre FDS analizi Şekil 18'de verilmiştir. SBHS bulunan İPMÇP test verilerini, bu tez çalışmasında ele alınan 4 farklı metasezgisel algoritma performanslarını en adil şartlarda değerlendirmek için, veri üreticide üretilmiş olan her bir problem verisini koştururken 4 metasezgisel algoritma için de aynı

FDS'na sahip olmaları hedeflenmiştir. Aynı FDS'nda algoritma koşum sonuçları elde edebilmek için, metasezgisel algoritmaların parametre değeri bu doğrultuda ayarlanmış ve koşturulmuştur.

şekil 18 incelendiğinde, ayarlanan algoritma parametrelerine göre, çıktı sonuçlarının her birinde, her metasezgisel algoritma, bütün problem veri boyutları için, aynı sayıda fonksiyon değeriendirmiştir. Bir başka deyişle, amaç fonksiyonu bulununcaya değin algoritmada bulunan tüm fonksiyonların kaç kez çözdüme için kullanıldığına dair toplam sayı, her problem test verisini çözmek için aynı sayıdadır. Örneğın MABA, bütün test verilerinin her birini, ayarlanan parametre değerilerine göre toplam 150.017 kez algoritma fonksiyonlarını kullanarak çözmüştür.

Ayarlanan parametre değeriğinde en az FDS sayısına sahip olan metasezgisel algoritma 150.001 ile BT'dır. Ardından ikinci sırada 150.017 ile geliştirilen MABA yer almaktadır. Üçüncü 150.023 ile ABA, dördüncü ise 150.025 kez fonksiyon değeriendiren GA'dır. Dört metasezgisel algoritma içerisinde minimumdan en çok yüzde sapma değeri %1,6 ile GA algoritmasına aittir ve bu en büyük minimumdan yüzde sapma değeri görece olarak oldukça küçüktür.

Geliştirilen MABA'nın performansı eşit CPU (saniye) değeriğinde için de incelenmiştir. Bu incelemede test verileri; [15x2;70x10], [70x12;140x14], [140x16;220] olacak şekilde sırasıyla küçük, orta ve büyük olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Küçük problem verileri 120 saniye, orta problem verileri 300 saniye, büyük problem verileri 450 saniye koşturulacak ve sonlandırılacak şekilde her bir algoritma için koşturulmuştur. Eşit CPU değeriğinde her bir problem verisi için 3'er kez koşturulan ve koşum ortalamalarının yazılarak elde edilen test sonuçları Tablo 12'de verildiğı gibidir. Eşit CPU değeriğinde Tablo 12'de elde edilen test sonuçlarının minimumdan yüzde sapma değeriğinde Tablo 13'te verilmiştir. Tablo 12 ve Tablo 13 incelendiğinde, eşit CPU değeriğinde koşturulan algoritmalar içerisinde geliştirilen MABA'nın, 66 problem test verisinin 63'ünde en iyi çözüm sonucunu elde ettiğı gözlemlenmiştir.

Eşit CPU değeriğinde geliştirilmiş olan MABA'nın başarisının nedeninin, daha çok fonksiyon değeriendirmesi yapmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Tablo 13 incelendiğinde, geliştirilen MABA'nın çözüm süresi boyunca en çok fonksiyon değeriendirme sayısına sahip olan algoritma olduğı ve minimum FDS'ndan ortalama 4,5 kat daha fazla fonksiyon değeriendirdiğı gözlemlenmiştir. Diğeri algoritmalar ise belirli bir noktadan sonra tıkanmış ve yeni fonksiyonlar değeriendirememişlerdir.

Tablo 12. Eşit CPU değerlerinde test verileri koşum sonuçları

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
15x2	845,67	120,12	34.321	851,00	120,03	79.812	843,00	120,03	90.657	840,67	120,03	187.686
15x3	516,00	120,12	35.008	525,00	120,03	83.385	531,00	120,02	91.364	521,67	120,01	188.771
15x4	385,33	120,16	35.788	401,33	120,01	83.865	395,67	120,03	96.752	382,33	120,01	138.866
20x2	1.145,00	120,10	29.134	1.151,33	120,04	69.497	1.145,33	120,02	107.491	1.135,00	120,02	196.365
20x3	689,67	120,11	27.941	699,33	120,02	69.561	707,33	120,01	83.342	699,00	120,01	158.394
20x4	507,67	120,08	29.961	521,33	120,03	69.486	510,33	120,04	118.726	512,33	120,01	177.922
30x6	515,67	120,13	21.194	546,67	120,03	50.766	521,33	120,05	125.656	500,33	120,02	167.073
30x8	367,33	120,12	22.494	394,67	120,02	47.534	388,67	120,05	109.774	349,00	120,02	164.903
30x10	281,33	120,11	21.161	327,00	120,03	50.201	290,67	120,05	130.411	267,33	120,02	164.903
40x6	659,33	120,11	18.168	671,00	120,05	38.692	685,67	120,06	121.214	626,33	120,02	151.885
40x8	498,67	120,07	18.068	550,33	120,06	39.022	552,00	120,16	82.187	473,67	120,02	162.734
40x10	402,33	120,10	17.881	447,00	120,04	38.638	441,33	120,05	99.196	390,00	120,02	169.243
50x6	834,33	120,11	15.068	861,67	120,05	32.430	953,33	120,10	69.041	801,33	120,04	183.346
50x8	634,33	120,17	14.994	679,33	120,03	32.676	710,00	120,14	70.936	621,67	120,04	149.715
50x10	515,33	120,11	14.914	560,67	120,08	32.804	585,67	120,21	60.231	499,67	120,05	161.649
60x6	1.010,67	120,06	12.801	1.070,33	120,04	28.334	1.177,67	120,19	65.169	980,00	120,10	175.752
60x8	765,67	120,15	12.754	840,00	120,01	28.057	869,00	120,32	65.400	735,00	120,02	194.195
60x10	608,67	120,11	12.701	666,67	120,08	28.014	709,33	120,27	59.597	590,33	120,02	152.969
60x12	524,33	120,14	12.668	576,33	120,09	27.972	620,33	120,21	53.968	498,33	120,02	173.582
70x6	1.173,67	120,04	11.221	1.266,33	120,06	24.750	1.342,67	120,21	59.321	1.103,00	120,08	169.243
70x8	908,00	120,12	11.114	953,67	120,09	25.156	1.035,67	120,25	54.225	880,67	120,03	149.715

Tablo 12'nin devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
70x10	745,00	120,13	11.088	769,33	120,09	24.462	887,67	120,21	51.119	730,00	120,02	181.177
70x12	570,00	300,06	41.748	662,33	300,07	61.049	667,00	300,13	136.783	558,67	300,03	163.818
80x6	1.303,00	300,07	37.274	1.424,67	300,09	55.705	1.447,00	300,13	169.390	1.263,67	300,04	197.450
80x8	978,33	300,07	36.868	1.080,67	300,09	55.673	1.092,00	300,14	155.192	958,67	300,04	159.479
80x10	791,00	300,05	36.961	922,33	300,15	55.620	876,00	300,22	148.877	751,33	300,06	184.431
80x12	667,67	300,08	34.634	757,67	300,09	55.214	749,67	300,17	145.950	628,00	300,06	156.224
90x8	1.121,00	300,15	33.294	1.259,33	300,09	49.625	1.274,67	300,25	158.466	1.076,33	300,04	186.601
90x10	895,00	300,11	33.221	1.052,33	300,09	49.849	1.007,00	300,22	148.541	877,00	300,08	187.686
90x12	747,67	300,13	33.234	882,67	300,12	49.785	881,67	300,15	141.797	725,33	300,05	149.715
90x14	657,00	300,10	32.928	720,67	300,03	47.940	762,00	300,16	130.367	637,00	300,03	145.375
100x10	1.013,67	300,11	29.014	1.126,67	300,17	44.473	1.150,33	300,08	132.312	973,00	300,07	165.988
100x12	861,33	300,06	30.428	1.005,33	300,08	44.910	980,67	300,18	128.402	827,00	300,03	186.601
100x14	742,67	300,08	29.661	839,00	300,08	44.729	837,33	300,19	132.465	727,67	300,04	199.620
100x16	647,00	300,14	29.881	731,67	300,13	44.836	745,33	300,19	124.458	621,33	300,07	177.922
100x18	590,00	300,08	29.721	673,00	300,12	44.729	681,67	300,43	112.865	554,67	300,03	190.941
120x10	1.249,33	300,19	25.501	1.441,67	300,14	38.052	1.456,67	300,18	113.273	1.199,67	300,02	169.243
120x12	1.057,33	300,07	25.354	1.152,00	300,09	37.966	1.176,33	300,24	117.513	951,67	300,07	197.450
120x14	887,67	300,12	25.048	1.027,33	300,15	37.956	1.030,00	300,32	117.405	834,33	300,05	179.007
120x16	810,00	300,17	24.934	919,67	300,13	38.265	970,33	300,29	91.243	793,67	300,07	190.941
120x18	713,00	300,19	25.421	834,67	300,12	37.934	859,00	300,25	92.785	648,67	300,04	158.394
140x10	1.478,00	300,10	22.041	1.606,33	300,18	33.198	1.671,67	300,16	108.779	1.374,67	300,06	192.026

Tablo 12'nin devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
140x12	1.232,67	300,12	21.994	1.357,67	300,18	33.049	1.419,00	300,19	105.931	1.109,00	300,10	155.139
140x14	1.079,33	300,18	21.994	1.199,00	300,09	33.081	1.249,00	300,22	90.997	1.004,00	300,07	144.290
140x16	936,67	450,03	30.528	1.037,67	450,14	65.125	1.067,00	450,36	133.631	899,33	450,07	167.073
140x18	835,67	450,07	30.768	954,33	450,14	65.815	985,33	450,12	137.781	769,00	450,06	146.460
160x10	1.675,00	450,12	27.234	1.820,00	450,18	58.700	1.890,33	450,31	144.231	1.524,67	450,06	142.121
160x12	1.403,67	450,17	27.214	1.525,67	450,13	58.593	1.603,00	450,53	131.659	1.319,67	450,07	172.498
160x14	1.234,00	450,15	27.168	1.424,67	450,06	58.470	1.372,67	450,24	131.227	1.172,33	450,11	151.885
160x16	1.078,00	450,05	27.194	1.284,00	450,28	58.424	1.269,00	450,40	121.361	981,33	450,13	136.696
160x18	979,67	450,11	27.061	1.116,00	450,23	58.102	1.122,00	450,16	120.759	881,67	450,07	179.007
180x10	1.914,67	450,13	24.301	2.017,00	450,23	52.582	2.172,33	450,17	127.956	1.818,67	450,08	143.205
180x12	1.608,00	450,08	24.268	1.702,00	450,19	52.460	1.839,67	450,39	118.936	1.463,67	450,07	155.139
180x14	1.382,67	450,12	24.268	1.499,33	450,32	52.398	1.655,00	450,21	110.260	1.258,33	450,08	172.498
180x16	1.234,33	450,06	24.221	1.322,00	450,06	52.398	1.462,33	450,12	106.578	1.185,00	450,13	143.205
180x18	1.102,67	450,11	24.201	1.234,33	450,22	52.291	1.340,33	450,20	105.728	959,33	450,10	182.262
200x12	1.812,33	450,11	21.948	1.973,00	450,16	47.522	2.117,33	450,41	111.842	1.685,67	450,03	183.346
200x14	1.573,33	450,11	21.921	1.677,67	450,18	47.461	1.837,33	450,60	102.646	1.384,33	450,16	161.649
200x16	1.389,67	450,14	21.968	1.548,33	450,22	47.461	1.735,00	450,29	96.378	1.237,00	450,11	149.715
200x18	1.241,67	450,11	21.921	1.416,67	450,18	47.262	1.555,33	450,27	98.098	1.130,00	450,07	189.856
200x20	1.113,33	450,15	21.894	1.334,33	450,19	47.124	1.362,00	450,14	96.071	1.035,33	450,14	181.177
220x12	2.035,33	450,06	20.061	2.202,67	450,25	43.444	2.314,00	450,41	105.385	1.974,33	450,09	199.620
220x14	1.760,00	450,10	19.968	1.909,33	450,22	43.413	2.039,00	450,22	99.830	1.531,33	450,11	138.866

Tablo 12'nin devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
220x16	1.535,67	450,06	19.974	1.704,00	450,16	43.275	1.862,67	450,53	100.554	1.459,00	450,13	162.733
220x18	1.385,00	450,05	20.014	1.592,33	450,28	43.244	1.737,33	450,37	98.775	1.357,67	450,11	143.205
220x20	1.253,00	450,10	19.981	1.441,00	450,30	43.352	1.595,67	450,44	91.000	1.190,33	450,07	149.715

Tablo 13. Eşit CPU değerlerinde test verileri minimumdan yüzde sonuçları

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum Cmax	BT			GA			ABA			MABA		
		Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS
15x2	832,67	0,59	0,08	0,00	1,23	0,00	132,54	0,28	0,00	164,14	0,00	0,00	446,85
15x3	516,00	0,00	0,09	0,00	1,74	0,01	138,19	2,91	0,00	160,98	1,10	0,00	439,23
15x4	387,00	0,78	0,12	0,00	4,97	0,00	134,34	3,49	0,01	170,35	0,00	0,00	288,03
20x2	1128,67	0,88	0,07	0,00	1,44	0,01	138,54	0,91	0,00	268,95	0,00	0,00	574,00
20x3	686,00	0,00	0,08	0,00	1,40	0,01	148,96	2,56	0,00	198,28	1,35	0,00	466,89
20x4	497,67	0,00	0,06	0,00	2,69	0,02	131,92	0,53	0,02	296,27	0,92	0,00	493,85
30x6	496,67	3,06	0,09	0,00	9,26	0,01	139,53	4,20	0,03	492,87	0,00	0,00	688,29
30x8	376,00	5,25	0,08	0,00	13,09	0,00	111,32	11,37	0,02	388,01	0,00	0,00	633,09
30x10	289,33	5,24	0,07	0,00	22,32	0,01	137,23	8,73	0,02	516,28	0,00	0,00	679,28
40x6	663,67	5,27	0,08	0,00	7,13	0,02	112,97	9,47	0,04	567,20	0,00	0,00	736,02
40x8	514,00	5,28	0,05	0,00	16,19	0,03	115,98	16,54	0,11	354,88	0,00	0,00	800,69
40x10	413,33	3,16	0,07	0,00	14,62	0,02	116,09	13,16	0,02	454,76	0,00	0,00	846,50

Tablo 13'ün devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum Cmax	BT			GA			ABA			MABA		
		Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS
50x6	846,67	4,12	0,06	0,00	7,53	0,01	115,23	18,97	0,06	358,20	0,00	0,00	1116,82
50x8	609,33	2,04	0,11	0,00	9,28	0,00	117,92	14,21	0,09	373,08	0,00	0,00	898,47
50x10	522,33	3,14	0,05	0,00	12,21	0,03	119,95	17,21	0,13	303,84	0,00	0,00	983,85
60x6	1036,33	3,13	0,02	0,00	9,22	0,00	121,34	20,17	0,12	409,09	0,00	0,05	1272,96
60x8	770,67	4,17	0,11	0,00	14,29	0,00	119,98	18,23	0,26	412,77	0,00	0,01	1422,58
60x10	625,33	3,11	0,08	0,00	12,93	0,05	120,57	20,16	0,21	369,23	0,00	0,00	1104,39
60x12	538,33	5,22	0,10	0,00	15,65	0,06	120,81	24,48	0,16	326,03	0,00	0,00	1270,28
70x6	1182,33	6,41	0,00	0,00	14,81	0,02	120,57	21,73	0,14	428,66	0,00	0,04	1408,27
70x8	876,33	3,10	0,07	0,00	8,29	0,04	126,34	17,60	0,18	387,89	0,00	0,00	1247,04
70x10	743,33	2,05	0,10	0,00	5,39	0,06	120,63	21,60	0,16	361,04	0,00	0,00	1534,04
70x12	641,00	2,03	0,01	0,00	18,56	0,01	46,23	19,39	0,03	227,64	0,00	0,00	292,40
80x6	1366,33	3,11	0,01	0,00	12,74	0,02	49,45	14,51	0,03	354,44	0,00	0,00	429,72
80x8	1045,00	2,05	0,01	0,00	12,73	0,02	51,01	13,91	0,03	320,94	0,00	0,00	332,57
80x10	836,67	5,28	0,00	0,00	22,76	0,03	50,48	16,59	0,06	302,79	0,00	0,00	398,99
80x12	721,67	6,32	0,01	0,00	20,65	0,01	59,42	19,37	0,04	321,40	0,00	0,00	351,07
90x8	1173,00	4,15	0,04	0,00	17,00	0,02	49,05	18,43	0,07	375,96	0,00	0,00	460,46
90x10	969,00	2,05	0,01	0,00	19,99	0,00	50,05	14,82	0,05	347,13	0,00	0,00	464,96
90x12	826,00	3,08	0,03	0,00	21,69	0,02	49,80	21,55	0,03	326,66	0,00	0,00	350,48
90x14	703,00	3,14	0,02	0,00	13,13	0,00	45,59	19,62	0,04	295,92	0,00	0,00	341,50
100x10	1068,00	4,18	0,01	0,00	15,79	0,03	53,28	18,23	0,00	356,02	0,00	0,00	472,09
100x12	908,67	4,15	0,01	0,00	21,56	0,02	47,60	18,58	0,05	321,99	0,00	0,00	513,26
100x14	778,67	2,06	0,01	0,00	15,30	0,01	50,80	15,07	0,05	346,60	0,00	0,00	573,00
100x16	683,00	4,13	0,02	0,00	17,76	0,02	50,05	19,96	0,04	316,51	0,00	0,00	495,44

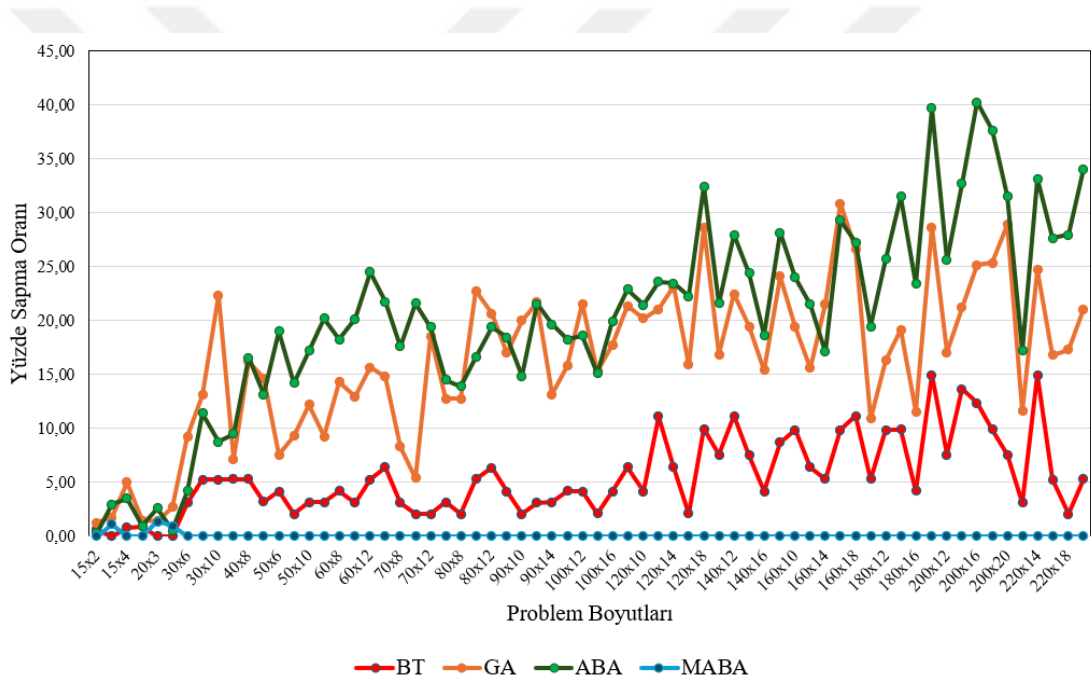
Tablo 13'ün devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum Cmax	BT			GA			ABA			MABA		
		Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS
100x18	606,67	6,37	0,02	0,00	21,33	0,03	50,50	22,90	0,13	279,75	0,00	0,00	542,44
120x10	1308,67	4,14	0,06	0,00	20,17	0,04	49,22	21,42	0,05	344,19	0,00	0,00	563,67
120x12	1077,00	11,10	0,00	0,00	21,05	0,00	49,74	23,61	0,06	363,48	0,00	0,00	678,76
120x14	957,33	6,39	0,02	0,00	23,13	0,03	51,53	23,45	0,09	368,73	0,00	0,00	614,67
120x16	823,00	2,06	0,03	0,00	15,88	0,02	53,46	22,26	0,07	265,93	0,00	0,00	665,77
120x18	724,33	9,92	0,05	0,00	28,67	0,02	49,22	32,43	0,07	264,99	0,00	0,00	523,08
140x10	1519,00	7,52	0,02	0,00	16,85	0,04	50,62	21,61	0,03	393,53	0,00	0,00	771,22
140x12	1263,67	11,15	0,01	0,00	22,42	0,02	50,26	27,95	0,03	381,63	0,00	0,00	605,36
140x14	1030,33	7,50	0,04	0,00	19,42	0,01	50,41	24,40	0,05	313,73	0,00	0,00	556,03
140x16	943,67	4,15	0,00	0,00	15,38	0,02	113,33	18,64	0,07	337,74	0,00	0,01	447,28
140x18	886,33	8,67	0,00	0,00	24,10	0,02	113,91	28,13	0,01	347,81	0,00	0,00	376,02
160x10	1749,00	9,86	0,01	0,00	19,37	0,03	115,54	23,98	0,06	429,59	0,00	0,00	421,84
160x12	1475,67	6,37	0,02	0,00	15,61	0,01	115,30	21,47	0,10	383,79	0,00	0,00	533,85
160x14	1285,67	5,26	0,02	0,00	21,52	0,00	115,22	17,09	0,04	383,03	0,00	0,01	459,06
160x16	1064,67	9,85	0,00	0,00	30,84	0,05	114,84	29,31	0,08	346,27	0,00	0,02	402,66
160x18	1010,33	11,12	0,01	0,00	26,58	0,04	114,71	27,26	0,02	346,25	0,00	0,00	561,49
180x10	1972,67	5,28	0,01	0,00	10,91	0,03	116,38	19,45	0,02	426,55	0,00	0,00	489,30
180x12	1704,33	9,86	0,00	0,00	16,28	0,03	116,17	25,69	0,07	390,10	0,00	0,00	539,28
180x14	1421,00	9,88	0,01	0,00	19,15	0,05	115,92	31,52	0,03	354,35	0,00	0,00	610,81
180x16	1233,33	4,16	0,00	0,00	11,56	0,00	116,33	23,40	0,01	340,02	0,00	0,02	491,24
180x18	1126,33	14,94	0,00	0,00	28,67	0,03	116,07	39,72	0,02	336,87	0,00	0,00	653,12
200x12	1907,33	7,51	0,02	0,00	17,05	0,03	116,53	25,61	0,09	409,59	0,00	0,00	735,38
200x14	1615,33	13,65	0,00	0,00	21,19	0,02	116,51	32,72	0,11	368,26	0,00	0,01	637,41

Tablo 13'ün devamı

Problem Verisi ($n \times m$)	Minimum Cmax	BT			GA			ABA			MABA		
		Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS	Cmax	CPU	FDS
200x16	1434,33	12,34	0,01	0,00	25,17	0,02	116,05	40,26	0,04	338,73	0,00	0,00	581,52
200x18	1304,00	9,88	0,01	0,00	25,37	0,03	115,60	37,64	0,05	347,51	0,00	0,00	766,09
200x20	1116,00	7,53	0,00	0,00	28,88	0,01	115,23	31,55	0,00	338,79	0,00	0,00	727,50
220x12	2051,67	3,09	0,00	0,00	11,57	0,04	116,56	17,20	0,08	425,32	0,00	0,01	895,06
220x14	1756,67	14,93	0,00	0,00	24,68	0,03	117,42	33,15	0,03	399,96	0,00	0,00	595,45
220x16	1593,33	5,25	0,00	0,00	16,79	0,02	116,65	27,67	0,10	403,42	0,00	0,02	714,71
220x18	1387,00	2,01	0,00	0,00	17,28	0,05	116,07	27,96	0,07	393,52	0,00	0,01	615,51
220x20	1307,67	5,26	0,01	0,00	21,06	0,05	116,96	34,05	0,08	355,43	0,00	0,00	649,29

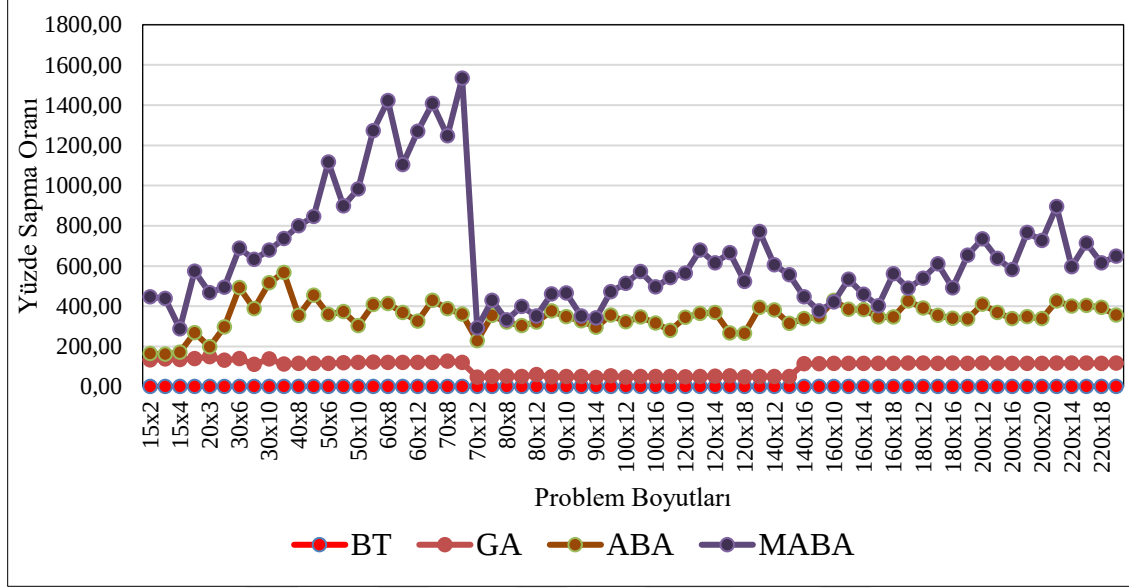
Eşit CPU değerlerine göre algoritmaların test verilerinin çözdürülmesi ile elde edilen C_{max} değerlerinin, minimumdan yüzde sapmalarını içeren grafik Şekil 19’da verilmiştir. Şekil 19 incelendiğinde, bu tezde geliştirilmiş olan MABA’nın literatürde İPMÇP’ni çözmekte çokça kullanılan diğer metasezgisellere olan daha iyi çözüm bulma üstünlüğü gözlemlenmektedir. Eşit CPU değerlerinde MABA’nın çözüm kalitesi, eşit FDS değerlerinde çözüm kalitesine göre daha yüksektir. Eşit FDS değerlerine göre koşumlarda başarı oranı diğer algoritmalara göre %80,3 iken, eşit CPU değerlerinde diğer algoritmalara göre koşumlarda elde ettiği başarı oranı %95,4’tür. Bu, geliştirilmiş olan MABA’nın kısıtlı zaman periyodunda etkin bir algoritma olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 19. Eşit CPU (S_n) değerlerinde algoritmanın yayılım zamanı ortalamalarının minimumdan yüzde sapma değerleri

Eşit CPU değerlerine göre algoritmaların test verilerinin çözdürülmesi ile elde edilen FDS değerlerinin, minimumdan yüzde sapmalarını içeren grafik Şekil 20’de verilmiştir. Şekil 20 incelendiğinde, bu tezde geliştirilmiş olan MABA’nın kısıtlı zamana bağlı koşuturulduğunda, arama uzayında daha çok fonksiyonu değerlendirebildiği gözlemlenmektedir. Tüm veri boyutları için elde ettiği koşumlarda, literatürde var olan diğer metasezgisel algoritmalarından daha çok FDS’na sahiptir. Kısıtlı zaman periyodunda geliştirilmiş olan MABA’nın, arama uzayında daha çözüm bulduğu kanıtlanmıştır, bulunan

çözümlerin daha kaliteli olduğu, 66 problem verisinin 63'ünde en iyi sonucu bulmasından dolayı (Yalnızca 15x3, 20x3, 20x4 problem boyutlarında BT en iyi sonucu bulabilmiştir.) bu tezde kanıtlanmaktadır.



Şekil 20. Eşit CPU (Sn) değerlerinde algoritmaların FDS ortalamalarının minimumdan yüzde sapma değerleri

3.4. Gerçek Hayat Problemi

3.4.1. Problem Tanımı

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren plastik boru imalatı yapan bir işletmede yer alan 10 farklı ilişkisiz paralel ekstrüder makinesi bulunmaktadır. En genel tanımı ile ekstrüder makinesi, plastik materyallerin belirli bir şekle dönüştürülmesi için kullanılan bir makinedir. Ekstrüzyon işlemi, malzemenin eritilip yüksek basınç altında bir kalıptan geçirilerek istenilen şekli almasını sağlamaktadır. Bu süreç, sürekli ve kesintisiz bir üretim süreci sunmakta, plastik sürekli olarak eritilmekte ve şekil aldırılmaktadır.

İşletmede kullanılan ekstrüder makinelerinin tamamı tek vidalıdır, yani tek bir vida kullanarak hammaddeyi eriten ve şekillendiren makinelerdir. İşletmede bulunan ekstrüder makinelerinin çalışma prensipleri aynıdır. Temel olarak bu prensipleri 5 temel üzerinde açıklamak mümkündür:

1.Besleme: Hammadde, makinenin besleme haznesine konmaktadır. Bu hammadde genellikle granül formundadır.

2.Ergitme: Hammadde, ısıtıcılarla ısıtılır ve vida (screw) tarafından erilmektedir. Vida, malzemeyi ileriye doğru iterek erimesini ve homojen bir karışım haline gelmesini sağlamaktadır.

3.Şekillendirme: Eriyen malzeme, kalibre (die) adı verilen bir kalıptan geçirilmektedir. Kalibre, malzemeye istenilen şekli verir. Bu şekil, silindir formundadır.

4.Soğutma: Şekillendirilen malzeme, su havuzlarında soğutma banyoları ve hava akımları kullanılarak hızla soğutulur ve katılaşır.

5.Kesme: Son olarak, ekstrüzyon işleminden çıkan ürün, istenilen boyutlarda kesilmektedir.

Bütün makineler ürün tipi ne olursa olsun işleyebilmektedir, gelen siparişte bulunan ürün tipini işleyemeyecek özellikte ekstrüder makinesi, işletmede bulunmamaktadır. Makinelerin ürün işleme hızları; ürünün çapına, ürün tipine, kaplama özelliklerine göre değişim göstermektedir.

Makinelerde işlenen ürünlerin üretim geçişleri arasında sıra bağımlı hazırlık süresi söz konusudur. Boru kesitlerinde üretim geçişi kalibre değişimi ile mümkündür ve kalibre değişimi ardından istenilen kalitede baskı gelmeden seri üretime başlanılmamaktadır. Büyük kesit borulardan küçük kesitteki boruların üretimine geçiş süreci, büyük kesitten tekrar büyük kesitte ya da küçük kesitten tekrar küçük kesitte bir boru üretimine geçişe göre daha uzun sürmektedir. Küçük kesit boru sınıfına Ø14-16-18-20-22-25 mm çapında borular dahildir, büyük kesit boru sınıfına ise Ø32-40-50-63 mm borular dahil edilmektedir.

Sıra bağımlı hazırlık süresine etki eden bir başka husus ise üretilecek boru tipidir. İşletmede ele alınan imalat atölyesinde iki tip boru üretilmektedir. Bunlar: kangal boru ve su borusudur. Aynı tipler arası üretim geçiş işlemi, farklı tip üretim geçiş işlemine göre daha kısa sürmektedir.

Sıra bağımlı hazırlık süresine etki edecek bir başka husus ise renk geçişleridir. Açık renklerden koyu renklere ya da koyu renklerden açık renklere üretim geçişleri renk tonunun istenilen kaliteye ulaşmasını uzatmaktadır. Açık tondan yine başka bir açık renk tonuna üretim geçişi ise daha kısa sürmektedir. Açık renk sınıfına sarı, yeşil, turuncu, naturel ve gri renkler dahildir, koyu renk sınıfına ise siyah, mavi, kahverengi ve kırmızı renkler dahil edilmektedir.

Tüm bu hususlar dikkate alındığında aynı makinede üretim geçişi sırasında, makinede oluşacak sıra bağımlı hazırlık süresinin hesaplanması aşağıdaki gibidir:

$$SBHS = \text{Çap kesiti geçişi için gerekli zaman} + \text{Ürün tipi geçişi için gerekli zaman} \\ + \text{Renk geçişi için gerekli zaman}$$

İşler, gelen sipariş taleplerini karşılamak üzere işletmede bulunan üretim planlama mühendisi tarafından oluşturulmakta, üretim planına hangi işlerin dahil edileceğine üretim planlama mühendisi karar vermektedir. Karar verilen işlerin makine çizelgelemesini de üretim planlama mühendisi yapmakta ve bu çizelgeleme doğrultusunda gereken aksiyonları gerekli birimlere aldırılmaktadır. İşletmeden alınan, üretim planlama mühendisinin geçmişte yaptığı 53,5 saatlik üretim planlama sürecindeki gerçek veriler kullanılarak SBHS bulunan İPMÇP 3.4.2 bölümünde, geliştirilmiş MABA algoritması başta olmak üzere literatürde yer alan diğer metasezgisel yöntemler olan BT, GA ve ABA ile çözülecektir, çözülen veriler kıyaslanacaktır ve en iyi çözüm olan nihai çözüme karar verilerek problemdeki iyileştirme oranları hesaplanacaktır.

Yirmi dört saat kesintisiz mesai yapan işletmeden alınan planlama sürecine ait, 01.02.2024 tarihli saat 23.00'da başlayan üretim planının, 03.02.2024 saat 04.30'da tamamlanmasını içeren, siparişlerin birleştirilmiş toplam miktarları (Metre) ve üretiminde kullanılan makinelerin ürün işleme hızları (Metre/dk) verileri Ek 2' de Tablo 16'da verilmiştir. Ek 2'de Tablo 16'dan elde edilen veriler doğrultusunda makinelerin işleri işleyebilecekleri işlem süreleri dakika zaman birimi ile Ek 3'te Tablo 17'de verilmiştir.

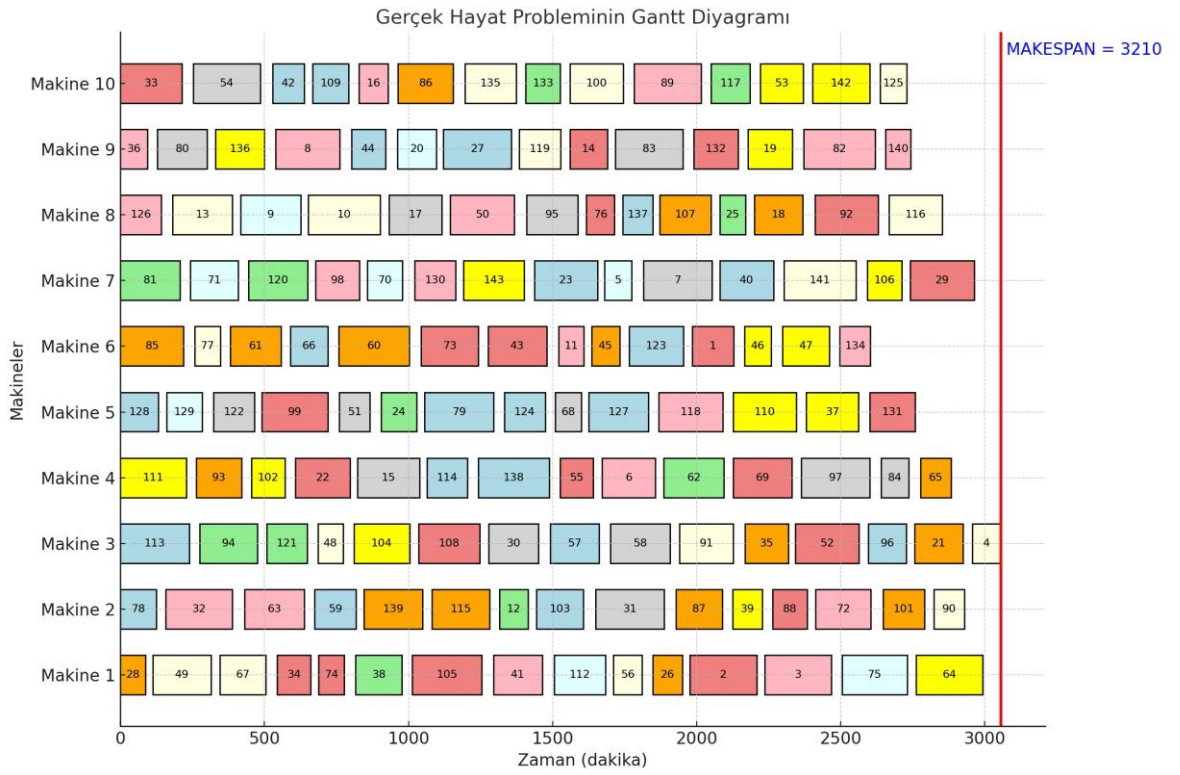
Problemin sıra bağımlı hazırlık süreleri ise, her bir makine için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Makinelerin SBHS süresi matrisleri dakika zaman birimi ile, işletmedeki üretim planlama mühendisinin elde ettiği maksimum ve minimum değer aralıklarında rassal olarak elde edilmiştir. Her bir makine için Tablo 15'te verilen işlerin SBHS matrisleri, sıra bağımlı hazırlık süresine etki eden üç faktör için de oluşturulmuş ve bu doğrultuda üç SBSHS matrisinin toplanması ile Tablo 15'te verilen 143 adet farklı işin 10 makinede işlenebilmesi için 10 adet nihai SBHS matrisi elde edilmiştir. Bu doğrultuda,

1. Çap Geçişi SBHS Matrisinin Elde Edilmesi: Çap kesitlerinde geçişlerde büyük kesitlerden küçük kesitlere ya da küçük kesitlerden büyük kesitlere geçişlerde [25,65] aralığında herhangi bir değer, küçük kesitten küçük kesite ya da büyük kesitten büyük kesite geçişlerde [10,25] aralığında herhangi bir değer elde edilerek oluşturulmuştur.

2. Ürün Tipi Geçişi SBHS Matrisinin Elde Edilmesi: Ürün tipi geçişlerinde, kangal borulardan su borusuna ya da su borusundan kangal boru ürün tipine geçişlerde [10,17], kangal boru ürün tipinden başka bir kangal boru üretimine ya da su borusu üretiminden başka

bir su borusu üretimine geçişte ise [0,5] aralığında herhangi bir değer elde edilerek oluşturulmuştur.

3. Renk Geçişi SBHS Matrisinin Elde Edilmesi: Renk geçişlerinde, açık renklere koyu renklere ya da koyu renklere açık renklere üretim geçişlerinde [10,18], açık renklere bir başka açık renge ya da koyu renklere bir başka koyu renge üretim geçişinde ise [5,10] aralığında herhangi bir değer elde edilerek oluşturulmuştur. İşletmeden alınan tüm bu veriler doğrultusunda mevcut gerçek hayat probleminin makine çizelgelemesi Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21. Gerçek hayat probleminin mevcut makine çizelgesi gantt diyagramı

3.4.2. Çözüm Sonuçları

İşletmeden elde edilen veriler, C_{max} minimizasyonunu sağlayabilmek adına, başta bu tez çalışmasında geliştirilmiş MABA olmak üzere literatürde kullanılan diğer BT, GA ve ABA ile beşer kez koşturularak çözdürülmüş ve elde edilen çözüm sonuçları ile her bir metasezgisel yöntemin koşumlarda yakaladığı ortalama değerleri Tablo 14’te verilmiştir. Tablo 14’te verilen çözüm sonuçlarının minimumdan yüzde sapma değerleri hesaplanarak Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 14'te verilen çözüm sonuçları incelendiğinde bulunan en iyi sonucun, bu çalışmada geliştirilen MABA ile bulunduğu ve 2800 dakika C_{max} değerine sahip olduğu görülmektedir. Gerçek hayat problemine bulunan en iyi çözüm değeri Tablo 14'te sarı renk dolgu ve kalın eğik puntolar ile vurgulanmıştır. Koşum ortalamaları incelendiğinde ise en iyi çözüm sonucu ortalamalarını yine geliştirilmiş olan MABA'nın sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 15'te verilen minimumdan yüzde sapma değerlerine bakıldığında ise, metasezgisel algoritmalarla yaptırılan beş koşumdan üçünde MABA algoritmasının yüzde sapmalarının sıfır olduğu hesaplanmıştır. Yapılan koşumlarda, geliştirilmiş olan MABA'nın çözüm performansının, adil performans ölçümümü sağlayabilmek adına yaptırılan hemen hemen aynı fonksiyon değerlendirme sayılarında diğer metasezgisellere oranla %60 daha başarılı olduğu, ancak diğer metasezgisellerden melez yapısı gereği daha çok fonksiyonel denklemi iç içe koşturduğundan dolayı, daha uzun sürede çözüm sonuçları elde ettiği gözlemlenmiştir.

Gerçek hayat problemi metasezgisel algoritma sonuçlarının tüm değerlendirmeler neticesinde, geliştirilen MABA'nda bulunan en iyi çözüm değerinin uygulanmasına karar verildiği takdirde elde edilecek makine çizelgelemesine ait gantt şeması Şekil 22'de verilmiştir, çözümü elde ederken elde edilen iterasyonların akış grafiği Şekil 23'de verildiği gibidir.

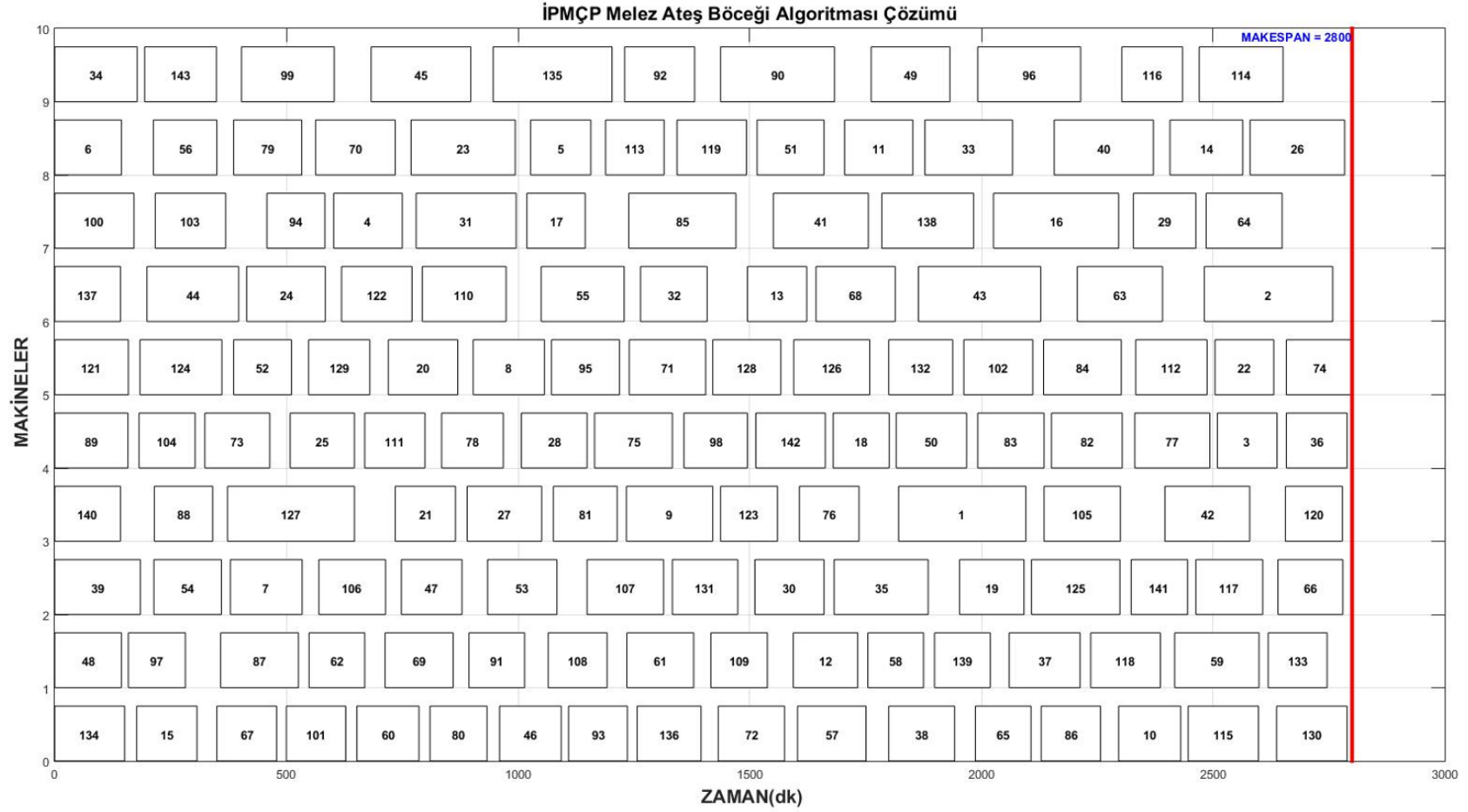
Gerçek hayat problemi için bulunan en iyi çözüm ile mevcut çizelgenin kıyaslanmasını C_{max} değerlerini kullanarak yapmak mümkündür. 53,5 saat yani 3210 dakikada tamamlanmış olan mevcut çizelgeye göre bu tezde geliştirilen bir metasezgisel yöntem olan MABA'nın bulmuş olduğu 2800 dakikalık çizelgenin işletmeye 410 dakika zaman tasarrufu sağlayacağı, başka bir deyişle bu tez çalışmasında geliştirilmiş olan MABA'nın, 01.02.2024 tarihli saat 23.00'da başlatılacak olan üretim planında makine çizelgelemesi için kullanılması durumunda işletmenin zaman karının %12,77 olacağı söylenebilmektedir.

Tablo 14. Gerçek hayat probleminin çözüm sonuçları

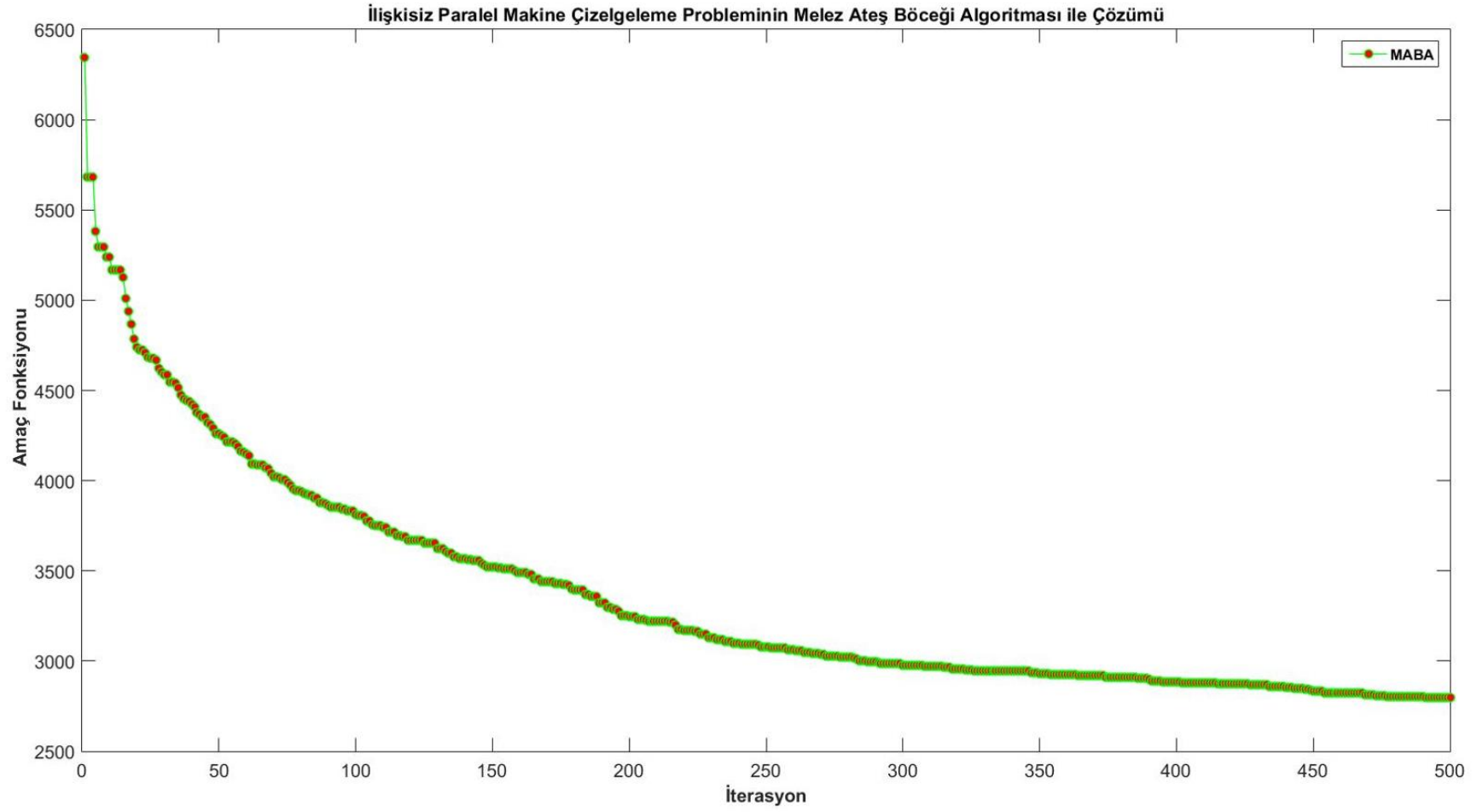
Koşum No	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
1	3.028	180,50	150.001	3.074	170,44	150.025	3.262	291,78	150.023	3.104	318,93	150.017
2	3.000	183,36	150.001	3.303	173,69	150.025	3.359	282,64	150.023	2.933	314,86	150.017
3	2.936	183,65	150.001	3.011	170,93	150.025	3.346	289,35	150.023	3.089	317,60	150.017
4	2.990	178,00	150.001	3.076	166,24	150.025	3.412	263,06	150.023	2.888	296,22	150.017
5	2.988	183,37	150.001	3.092	167,92	150.025	3.300	265,14	150.023	2.800	298,81	150.017
Ortalama	2.988	182	150.001	3.111	170	30.050	3.336	278	150.023	2.963	309	150.017

Tablo 15. Gerçek hayat problemi çözüm sonuçları minimumdan yüzde sapma değerleri

Koşum No	BT			GA			ABA			MABA		
	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS	C_{max}	CPU	FDS
1	0,0000	5,9021	0,0000	1,5192	0,0000	0,0160	7,7279	71,1909	0,0147	2,5099	87,1218	0,0107
2	2,2844	5,5692	0,0000	12,6151	0,0000	0,0160	14,5244	62,7248	0,0147	0,0000	81,2801	0,0107
3	0,0000	7,4411	0,0000	2,5545	0,0000	0,0160	13,9646	69,2780	0,0147	5,2112	85,8018	0,0107
4	3,5319	7,0730	0,0000	6,5097	0,0000	0,0160	18,1440	58,2455	0,0147	0,0000	78,1894	0,0107
5	6,7143	9,2001	0,0000	10,4286	0,0000	0,0160	17,8571	57,8957	0,0147	0,0000	77,9481	0,0107
Ortalama	2,506	7,037	0,000	6,725	0,000	0,016	14,444	63,867	0,015	1,544	82,068	0,011



Şekil 22. Geliştirilen MABA ile gerçek hayat probleminin bulunan en iyi çözümünün gantt şeması



Şekil 23. Geliştirilen MABA ile gerçek hayat probleminde bulunan en iyi çözümün algoritma koşumu esnasında bulduğu iterasyon değerleri akışı grafiği

4. SONUÇLAR

Sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi, endüstriyel üretim süreçlerinde karşılaşılan, çözümü son derece zor olan bir optimizasyon problemidir. Bu problemde, her bir işin belirli bir makinede işlenmesi için önceden belirlenmiş bir hazırlık süresine ihtiyaç duyulmakta ve bu süre, işin türüne ve makinenin durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca, işlerin hangi makinelere atanacağına karar vermek de önemlidir, zira her makine farklı işlerde farklı performans göstermektedir. Bu durum, toplam üretim süresini minimize etmek ve makinelerin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için optimal bir çizelgeleme yapmayı oldukça zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, bu tür karmaşık problemler için yenilikçi ve etkili çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında geliştirilen Melez Ateş Böceği Algoritması (MABA), bu tür karmaşık çizelgeleme problemlerinin çözümünde önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. MABA, genetik algoritmanın mutasyon, seçim ve çaprazlama operatörleri ile ateş böceği algoritmasını bir araya getirerek, bu iki güçlü metasezgisel yöntemin avantajlarını birleştirmektedir. Ayrıca, algoritmaya entegre edilen değişken komşuluk arama (DKA) stratejisi, yerel optimum noktalardan kaçınmak için belirli bir oranda kötü komşu çözümlerin kabul edilmesini sağlamaktadır. Bu, algoritmanın daha geniş bir arama uzayını keşfetmesine olanak tanımakta ve böylece çözüm kalitesini artırmaktadır.

Çalışmada kullanılan test verileri, Python programlama dili üzerinde geliştirilen bir veri üretim programı aracılığıyla elde edilmiştir. Geliştirilen MABA, MATLAB programlama dili kullanılarak kodlanmış ve küçük boyutlu veriler için GAMS üzerinde kodlanan matematiksel model çözümleri ile fizibilite şartları sağlamıştır. Eşit FDS'na göre yapılan testlerde, geliştirilen MABA, benzetimli tavlama (BT), genetik algoritma (GA) ve ateş böceği algoritması (ABA) gibi diğer metasezgisel yöntemlerin performansları ile kıyaslanmıştır. Bu kapsamda, 66 farklı test verisi kullanılarak yapılan karşılaştırmalar, MABA'nın büyük boyutlu veriler üzerinde üstün performans sergilediğini göstermektedir.

Özellikle, MABA'nın genetik algoritma ve ateş böceği algoritmasının güçlü yönlerini birleştirerek, çözüm kalitesini ve hesaplama verimliliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, eşit FDS'na göre yapılan testlerde MABA'nın CPU

süresi açısından diğer metasezgisel yöntemlere göre daha uzun sürede sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ancak bu uzun sürenin nedeninin, algoritmanın iç içe zincirler halinde bulunan, algoritmayı melezlemede kullanılan yapılarından ve geliştirilmiş DKA algoritmasının komple entegrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu, MABA'nın özellikle eşit fonksiyon değerlendirme sayısına ulaşılması ve büyük problem verilerine çözüm aranması gereken durumlarda tercih edilebilecek güçlü bir algoritma olduğunu ortaya koymaktadır.

Gerçek veri setleri kullanılarak yapılan testler, geliştirilen melez algoritmanın pratik uygulamalarda da başarılı sonuçlar verdiğini ve üretim süreçlerinde önemli iyileştirmeler sağladığını ortaya koymuştur. MABA, eşit FDSbüyük boyutlu ve karmaşıklığı yüksek sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemlerinin çözümünde %80,3 oranında diğer metasezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum, MABA'nın, karmaşıklığı yüksek problemler için uygun ve etkili bir çözüm aracı olduğunu kanıtlamaktadır.

Elde edilen bulgulara ek olarak, eşit CPU değerlerinde gerçekleştirilen analizler, MABA'nın, belirli bir zaman dilimi içinde diğer metasezgisel yöntemlere kıyasla daha fazla fonksiyon değerlendirmesi yaparak, çözüm kalitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Zaman kısıtına göre FDS sayısı testlerinden daha başarılı olan MABA'nın diğer metasezgisel yöntemlerden %95,4 oranında daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular ile, geliştirilen MABA'nın, sınırlı zaman dilimlerinde bile yüksek performans sergileyebildiği ve çözüm etkinliğini artırdığı kanıtlanmıştır. Özellikle, 66 problem test verisinin 63'ünde MABA, diğer metasezgisel yöntemlerden daha iyi çözümler sunmuştur. Yalnızca 15x3, 20x3 ve 20x4 problem boyutlarında benzetimli tavlama (BT) algoritması daha iyi sonuçlar elde etmiş olsa da, genel olarak MABA'nın üstün performans sergilediği açıktır.

Geliştirilen algoritmanın CPU süreleri incelendiğinde, MABA'nın diğer algoritmalarından daha uzun sürede sonuç verdiği, ancak bu sürede daha fazla fonksiyon değerlendirmesi yaparak çözüm kalitesini artırdığı görülmüştür. Bu, MABA'nın özellikle zaman kısıtlamalarının olmadığı durumlarda tercih edilebilecek güçlü bir algoritma olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, eşit CPU değerlerinde yapılan analizler, MABA'nın diğer algoritmalara kıyasla daha yüksek çözüm kalitesi sunduğunu ve bu kaliteyi arama uzayında daha fazla fonksiyon değerlendirerek elde ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tezde geliştirilen Melez Ateş Böceği Algoritması, endüstriyel üretim süreçlerinde karşılaşılan zorlu çizelgeleme problemlerinin çözümünde etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Geliştirilen algoritma, hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara önemli katkılar sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, algoritmanın daha da geliştirilmesi ve farklı endüstriyel uygulamalar üzerinde test edilmesi önerilmektedir. MABA'nın yüksek performansı, özellikle büyük ve karmaşık problemler üzerinde daha fazla araştırmayı teşvik edebilir, bu da optimizasyon alanında daha yenilikçi ve etkili çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.



5. ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, genetik algoritma ve ateş böceği algoritması kullanılarak melezlenen, geliştirilen değişken komşuluk arama algoritması entegre edilen, melez ateşböceği algoritmasının, sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemlerini çözmedeki etkinliği incelenmiştir.

Tez çalışması sırasında karşılaşılan en büyük zorluk, sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi için çözdürülmüş mevcut veri setlerine ulaşamamasından kaynaklanmıştır. Son yıllarda bu problem tipi üzerinde çalışan araştırmacılar verilerini www.schedulingresearch.com internet adresini kaynak göstererek edinmiştir, ancak internet sitesine erişim sağlanamadığından dolayı bu tez çalışmasında, bütün veriler Python’da kodlanan bir veri üretici algorithmadan üretilerek, literatürde yer alan benzetimli tavlama, genetik algoritma ve melez ateşböceği algoritması metasezgiselleri de teker teker MATLAB programlama dili kodlanarak oluşturulmuş ve üretilen test verileri tek tek kodlanan algoritmalara çözüm sonuçlarını kıyaslayabilmek adına çözdürülmüştür.

Bu tezde geliştirilmiş olan, melez ateşböceği algoritması ile çözüm aranan sıra bağımlı hazırlık süresi bulunan ilişkisiz çizelgeleme problemine gelecekte yapılacak olan çalışmalarda, probleme çeşitli kaynak kısıtlamaları, makine uygunluk kısıtları eklendiğinde geliştirilen melez algoritmanın çözüm performansı incelenebilir. Gelecek araştırmalarda araştırmacı, geliştirilmiş olan melez algoritmaya parametre optimizasyonu uygulayabilir, işlerin bölünebilirliğini probleme ekleyebilir, problemin amaç fonksiyonunu günümüzde popüler bir alan olan yeşil çizelgeleme için güncelleyerek, amaç fonksiyonunu minimum enerji tüketimi prensibi üzerine çizelgeleme yaparak, geliştirilmiş olan melez algoritmanın etkinliğini bu çeşitli problem yapıları üzerinde inceleyebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abdullah, S., Golafshan, L., & Nazri, M. (2011). Re-heat simulated annealing algorithm for rough set attribute reduction. *International Journal of Physical Sciences*, 6(8), s. 2083-2089.
- Abreu, L. R., & Prata, B. d. (2020). A genetic algorithm with neighborhood search procedures for unrelated parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times. *Journal of Modelling in Management*, 15(3), s. 809-828.
- Afzalirad, M., & Rezaeian, J. (2016). Resource-constrained unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times, precedence constraints and machine eligibility restrictions. *Computers & Industrial Engineering*, 98, s. 40-52.
- Allahverdi, A. (2015). The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs. *European Journal of Operational Research*, 246(2), s. 345-378.
- Arani, M., Momenitabar, M., & Priyanka, T. J. (2024). Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem Considering Job Splitting, Inventories, Shortage, and Resource: A Meta-Heuristic Approach. *Systems*, 12(2).
- Arnaout, J.-P. (2020). A worm optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines with sequence-dependent setup times. *Annals of Operations Research*, 285, s. 273-293.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2009). *Principles Of Sequencing And Scheduling*. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc. Publication.
- Bozorgirad, M. A., & Logendran, R. (2012). Sequence-dependent group scheduling problem on unrelated-parallel machines. *Expert Systems with Applications*, 39(10), s. 9021-9030.
- Caniyilmaz, E., Benli, B., & Ilkay, M. S. (2015). An artificial bee colony algorithm approach for unrelated parallel machine scheduling with processing set restrictions, job sequence-dependent setup times, and due date. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77, s. 2105-2115.
- Chen, C., Fathi, M., Khakifirooz, M., & Wu, K. (2022). Hybrid tabu search algorithm for unrelated parallel machine scheduling in semiconductor fabs with setup times, job release, and expired times. *Computers & Industrial Engineering*, 165.
- Chen, J.-F. (2005). Unrelated parallel machine scheduling with secondary resource constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, s. 285-292.
- Chu, P. C., & Beasley, J. E. (1996). A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem. *Journal of Heuristics*, 2(1), s. 33-47.

- Çetin, E. (2019). *Üretim Sistemlerinde Çizelgeleme Ve Yapay Arı Kolonisi İle Sektörel Uygulama*. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Driessel, R., & Mönch, L. (2011). Variable neighborhood search approaches for scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times, precedence constraints, and ready times. *Computers & Industrial engineering*, 61(2), s. 336-345.
- Durasevic, M., & Jakobovic, D. (2023). Heuristic and metaheuristic methods for the parallel unrelated machines scheduling problem: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 56, s. 3181–3289.
- Ewees, A. A., Al-qaness, M. A., & Elaziz, M. A. (2021). Enhanced salp swarm algorithm based on firefly algorithm for unrelated parallel machine scheduling with setup times. *Applied Mathematical Modelling*, 94, s. 285-305.
- Ezugwu, A. E., & Akutsah, F. (2018). An Improved Firefly Algorithm for the Unrelated Parallel Machines Scheduling Problem With Sequence-Dependent Setup Times. *IEEE Access*, 6, s. 54459-54478.
- Fanjul-Peyro, L., & Ruiz, R. (2010). Iterated greedy local search methods for unrelated parallel machine scheduling. *European Journal of Operational Research*, 207(1), s. 55-69.
- Fister, I., Jr., I. F., Yang, X.-S., & Brest, J. (2013). A comprehensive review of firefly algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, s. 34-46.
- Furugi, A. (2021). Makine uygunluk kısıtlaması ve sıra bağımlı kurulum süresi ile özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi için tabu arama algoritması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(3), s. 1539-1549.
- Hansen, P., Mladenovic, N., Todosijevic, R., & Hanafi, S. (2017). Variable neighborhood search: basics and variants. *EURO Journal on Computational Optimization*, 5, s. 423-454.
- Helal, M., Rabadi, G., & Al-Salem, A. (2006). A Tabu Search Algorithm to Minimize the Makespan for the Unrelated Parallel Machines Scheduling Problem with Setup Times. *International Journal of Operations Research*, 3(3), s. 182-192.
- Joo, C. M., & Kim, B. S. (2015). Hybrid genetic algorithms with dispatching rules for unrelated parallel machine scheduling with setup time and production availability. *Computers & Industrial Engineering*, 85, s. 102-109.
- Karacan, O. (2019). *Sıra Bağımlı Hazırlık Sürelerinin Sipariş Tipi Üretim Çizelgesi Performansı Üzerindeki Etkisi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Kerkhove, L.-P., & Vanhoucke, M. (2013). Scheduling of unrelated parallel machines with limited server availability on multiple production locations: a case study in knitted fabrics. *International Journal of Production Research*, 52(9), s. 2630-2653.

- Kılıç, G. (2023). *Sıra Bağımlı İlişkisiz Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İçin Yeni Bir Sezgisel Algoritma Önerisi*. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli.
- Kılıç, H., & Yüzgeç, U. (2019). Improved antlion optimization algorithm via tournament selection and its application to parallel machine scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 132, s. 166-186.
- Kim, D., Kim, K., Jang, W., & Chen, F. (2002). Unrelated parallel machine scheduling with setup times using simulated annealing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3-4), s. 223-231.
- Lee, K. S., & Kim, Y. H. (1995). Genetic Algorithms and their Applications to Robotics. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 11(3), s. 317-327.
- Lefkur, B. (2021). *Single Machine Scheduling With Sequence Dependent Setup Times*. Özyeğin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Lei, D., & Liu, M. (2020). An artificial bee colony with division for distributed unrelated parallel machine scheduling with preventive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 141.
- Lewis, S., & Cratsley, C. (2008). Flash signal evolution, mate choice, and predation. *Annual Revision in Entomology*, 53, s. 293–321.
- Logendran, R., & Subur, F. (2004). Unrelated parallel machine scheduling with job splitting. *IIE Transactions*, 36(4), s. 359-372.
- Munoz-Diaz, M.-L., Escudero-Santana, A., & Lorenzo-Espejo, A. (2024). Solving an Unrelated Parallel Machines Scheduling Problem with machine- and job-dependent setups and precedence constraints considering Support Machines. *Computers & Operations Research*, 163.
- Nogueira, J. P., Arroyo, J. E., Villadiego, H. M., & Gonçalves, L. B. (2014). Hybrid GRASP Heuristics to Solve an Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem with Earliness and Tardiness Penalties. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 302, s. 53-72.
- Önem, E. (2018). *Unrelated Parallel Machine Scheduling With Sequence Dependent Setup Times By Ant Colony Optimization In Textile Industry*. İzmir Ekonomi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Özdemir, Ö. (2010). *Solving Single And Parallel Machine Scheduling Problems With Sequence Dependent Setup Times Using Differential Evolution Based Algorithms*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- P. Hansen, N. M. (2001). Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, 130(3), s. 449-467.

- Perez-Gonzalez, P., Fernandez-Viagas, V., Garcia, M. Z., & Framinan, J. M. (2019). Constructive heuristics for the unrelated parallel machines scheduling problem with machine eligibility and setup times. *Computers & Industrial Engineering*, 131, s. 131-145.
- Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems Third Edition*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Ravetti, M. G., Mateus, G. R., & Rocha, P. L. (2007). A scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence dependent setups. *International Journal of Operational Research*, 2(4), s. 380–399.
- Rocha, P. L., Ravetti, M. G., Mateus, G. R., & Pardalos, P. M. (2008). Exact algorithms for a scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence and machine-dependent setup times. *Computers & Operations Research*, 35, s. 1250-1264.
- Shahvari, O., & Logendran, R. (2017). An Enhanced tabu search algorithm to minimize a bi-criteria objective in batching and scheduling problems on unrelated-parallel machines with desired lower bounds on batch sizes. *Computers & Operations Research*, 77, s. 154-176.
- Sirkeci, E. (2015). *Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Çözüm Yaklaşımları: Savunma Sanayinde Bir Uygulama*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Soleimani, H., Ghaderi, H., Tsai, P.-W., Zarbakhshnia, N., & Maleki, M. (2020). Scheduling of unrelated parallel machines considering sequence-related setup time, start time-dependent deterioration, position-dependent learning and power consumption minimization. *Journal of Cleaner Production*, 249.
- Srinath, N., Kurz, I. O., & Taaffe, K. (2023). Hybrid multi-objective evolutionary meta-heuristics for a parallel machine scheduling problem with setup times and preferences. *Computers & Industrial Engineering*, 185.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., F.Taheri, M.Bazzazi, M.Izadi, & F.Sassani. (2009). Design of a genetic algorithm for bi-objective unrelated parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times and precedence constraints. *Computers & Operations Research*, 36, s. 3224-3230.
- Topçam, F. (2019). *Melez Ateş Böceği Algoritması İle Çok Amaçlı Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü*. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Vallada, E., & Ruiz, R. (2011). A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 211(3), s. 612-622.
- Yang, X.-S. (2008). Firefly algorithms for multimodal optimization. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies* (s. 209-213). Berlin: Springer.

- Yang, X.-S. (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies* (s. 209-213). Berlin: Springer.
- Zhou, H., Li, Z., & Wu, X. (2007). Scheduling Unrelated Parallel Machine to Minimize Total Weighted Tardiness Using Ant Colony Optimization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, (s. 132-136). Jinan.
- Zhu, X., & Wilhelm, W. E. (2006). Scheduling and lot sizing with sequence-dependent setup: A literature review. *IIE Transactions*, 38(11), s. 987-1007.



7. EKLER

Ek 1: Veri Üretici Algoritma Kodları

```
import random
import xlswriter
from itertools import product

def hazirlik_suresi_matrisi_olustur(is_sayisi, min_hazirlik_suresi, max_hazirlik_suresi):
    hazirlik_sureleri = []
    for i in range(is_sayisi):
        satir = []
        for j in range(is_sayisi):
            if i == j:
                satir.append(0) # Köşegen noktalar sıfır olacak
            elif j < i:
                satir.append(hazirlik_sureleri[j][i]) # Matris simetrik olacak
            else:
                satir.append(random.randint(min_hazirlik_suresi, max_hazirlik_suresi))
        hazirlik_sureleri.append(satir)
    return hazirlik_sureleri

def islem_sureleri_matrisi_olustur(makine_sayisi, is_sayisi, min_islem_suresi,
max_islem_suresi):
    islem_sureleri = []
    for i in range(is_sayisi):
        sureler = [random.randint(min_islem_suresi, max_islem_suresi) for _ in
range(makine_sayisi)]
        islem_sureleri.append(sureler)
    return islem_sureleri

def olustur_ve_kaydet(makine_sayisi, is_sayisi, min_hazirlik_suresi, max_hazirlik_suresi,
min_islem_suresi, max_islem_suresi):
    # Excel dosyası adı
    dosya_adi = f'{is_sayisi}x{makine_sayisi} Makine Süreleri.xlsx'

    # Excel dosyası oluşturma
    calisma_kitabi = xlswriter.Workbook(dosya_adi)

    # Her bir makine için ayrı hazırlık süreleri matrislerini oluşturun
    makine_hazirlik_sureleri_matrisleri = [hazirlik_suresi_matrisi_olustur(is_sayisi,
min_hazirlik_suresi, max_hazirlik_suresi) for _ in range(makine_sayisi)]

    # Her bir makine için ayrı bir sayfa oluşturma
    for makine_numarasi, hazirlik_sureleri in enumerate(makine_hazirlik_sureleri_matrisleri):
        calisma_sayfasi = calisma_kitabi.add_worksheet(f'Makine_{makine_numarasi + 1}')

    # Hazırlık süreleri matrisini yazma
    for i in range(is_sayisi):
        for j in range(is_sayisi):
            calisma_sayfasi.write(i, j, hazirlik_sureleri[i][j])
```

```

# Her bir iş için her bir makinedeki işlem süresini oluştur ve yazma
for is_ in range(is_sayisi):
    islem_sureleri = islem_sureleri_matrisi_olustur(makine_sayisi, 1, min_islem_suresi,
max_islem_suresi)[0]
    for makine in range(makine_sayisi):
        calisma_sayfasi.write(is_, makine, islem_sureleri[makine])

calisma_kitabi.close()

# Kullanıcıdan giriş al
min_hazirlık_suresi = int(input("Minimum hazırlık süresini giriniz: "))
max_hazirlık_suresi = int(input("Maksimum hazırlık süresini giriniz: "))
min_islem_suresi = int(input("Minimum işlem süresini giriniz: "))
max_islem_suresi = int(input("Maksimum işlem süresini giriniz: "))

# Kombinasyonlanmak İstenilen boyutlardaki makine ve iş sayıları
istenilen_makine_sayıları = [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]
istenilen_is_sayıları = [30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180,
190, 200, 210, 220]

# Dosya oluştur ve kaydet
for makine_sayisi, is_sayisi in product(istenilen_makine_sayıları, istenilen_is_sayıları):
    olustur_ve_kaydet(makine_sayisi, is_sayisi, min_hazirlık_suresi, max_hazirlık_suresi,
min_islem_suresi, max_islem_suresi)

```

Ek 2: İşletmeden Alınan Veriler

Tablo 16. İşletmeden alınan veriler

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
1	Ø14 mm Kahverengi Kaplamasız Su Borusu	2200	12,02	10	9,52	9,57	10,33	11,64	9,05	8,18	14,97	8,49
2	Ø14 mm Kırmızı Kaplamalı Su Borusu	3200	14,04	24,81	14,88	15,53	11,51	11,76	20,65	16,84	14,95	15,53
3	Ø14 mm Mavi Kaplamalı Su Borusu	2100	10,71	14,48	8,71	11,29	9,68	9,59	12,21	7,55	13,91	11,8
4	Ø14 mm Naturel Kaplamalı Kangal Boru	3500	14,17	14,46	12,28	20	23,03	20,83	13,62	14,64	17,24	12,64
5	Ø14 mm Naturel Kaplamasız Kangal Boru	1700	7,56	9,04	7,36	13,49	12,78	7,17	8,99	10,9	9,83	10,76
6	Ø14 mm Naturel Kaplamasız Su Borusu	1400	5,53	9,93	6,97	6,93	10,22	6,39	5,6	8,54	5,62	6,14
7	Ø14 mm Sarı Kaplamasız Kangal Boru	2700	12,11	11,11	14,67	21,95	22,31	21,43	11,64	11,34	18,24	12,74
8	Ø14 mm Sarı Kaplamasız Su Borusu	2600	13,13	15,95	17,57	11,21	12,81	13,76	14,36	11,26	12,09	9,42

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
9	Ø14 mm Siyah Kaplamalı Kangal Boru	2800	14,29	12,96	21,54	14,07	15,56	21,21	13,73	11,62	11,76	16,67
10	Ø14 mm Turuncu Kaplamasız Kangal Boru	2100	7,69	17,5	8,94	12,07	8,86	7,39	9,46	12,88	7,45	7,81
11	Ø14 mm Turuncu Kaplamasız Su Borusu	1800	6,47	13,95	8,87	9,28	8,04	6,57	6,62	14,4	10,4	7,17
12	Ø14 mm Yeşil Kaplamalı Kangal Boru	500	1,81	2,76	3,47	4,1	1,77	2,67	2,37	2,18	2,08	2,12
13	Ø14 mm Yeşil Kaplamasız Kangal Boru	3500	17,95	14,29	21,08	16,43	15,15	29,17	13,78	21,6	17,16	14
14	Ø14 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	2100	7,53	8,54	9,17	11,11	9,68	9,59	14,19	12	9,01	10,5
15	Ø16 mm Gri Kaplamalı Kangal Boru	3400	12,69	11,97	15,96	23,94	14,17	15,38	12,14	17,62	19,1	15,6
16	Ø16 mm Gri Kaplamalı Su Borusu	800	6,3	3,02	4,65	5,33	5,63	5,41	3,32	6,15	5,06	5,88
17	Ø16 mm Gri Kaplamasız Kangal Boru	2200	12,5	17,32	10,95	10,68	11,17	8,09	17,6	11,4	9,09	8,18
18	Ø16 mm Gri Kaplamasız Su Borusu	3500	20,59	13,06	18,72	22,44	13,21	12,54	25,36	27,78	26,32	13,26

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
19	Ø16 mm Kahverengi Kaplamalı Kangal Boru	800	4,82	6,5	6,4	3,57	3,9	6,35	5,33	3,51	3,38	3,02
20	Ø16 mm Kahverengi Kaplamalı Su Borusu	2200	9,28	11,06	9,95	14,19	9,36	9,78	12,72	12,43	15,28	10,23
21	Ø16 mm Kahverengi Kaplamasız Kangal Boru	2000	16,26	11,43	7,72	7,97	9,76	10,31	8,55	16,26	15,75	10,42
22	Ø16 mm Mavi Kaplamalı Su Borusu	1900	15,7	8,92	9,79	9,18	9,84	6,81	10,33	7,22	15,7	7,92
23	Ø16 mm Naturel Kaplamalı Su Borusu	2300	15,13	10,7	11	18,55	9,54	14,47	9,47	8,21	13,69	14,74
24	Ø16 mm Naturel Kaplamasız Kangal Boru	900	5,92	6,92	3,81	4,02	5,81	5,23	4,11	5,7	3,96	3,73
25	Ø16 mm Yeşil Kaplamalı Kangal Boru	1800	10,65	7,38	7,56	14,75	13,53	7,2	6,38	8,57	9,23	8,74
26	Ø16 mm Yeşil Kaplamalı Su Borusu	2800	10,81	13,53	22,95	19,72	9,86	12,84	11,07	14,81	14,29	15,38
27	Ø16 mm Yeşil Kaplamasız Kangal Boru	2000	13,25	9,85	10,58	7,43	7,78	9,48	8,23	7,55	10,58	8,26
28	Ø16 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	1600	7,96	7,51	11,43	5,82	5,63	8,33	6,11	6,04	6,08	6,08

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
29	Ø18 mm Kahverengi Kaplamalı Su Borusu	2400	11,71	16	14,2	13,71	11,27	16,55	12,9	19,67	9,02	11,11
30	Ø18 mm Kahverengi Kaplamasız Su Borusu	2200	8,27	10,19	14,77	12,15	13,58	12,36	10,58	9,02	13,84	11,46
31	Ø18 mm Kırmızı Kaplamalı Kangal Boru	1100	4,91	4,58	5,76	9,02	8,73	4,95	5,56	4,53	4,8	7,05
32	Ø18 mm Mavi Kaplamasız Su Borusu	2900	24,17	21,48	18,71	11,6	11,15	10,25	13,12	21,48	14,01	14,08
33	Ø18 mm Naturel Kaplamasız Su Borusu	3200	19,05	14,68	19,16	12,36	18,18	12,96	18,5	12,7	22,22	15,84
34	Ø18 mm Sarı Kaplamasız Kangal Boru	2000	15,63	9,39	8,1	7,09	7,07	7,19	7,09	11,9	15,04	8,16
35	Ø18 mm Siyah Kaplamasız Su Borusu	3200	21,62	13,45	12,85	19,28	21,48	15,09	21,62	14,22	11,55	17,68
36	Ø18 mm Turuncu Kaplamalı Su Borusu	3000	14,15	12,93	18,29	17,34	12,1	15,96	12,24	13,39	20,41	25
37	Ø20 mm Gri Kaplamalı Kangal Boru	3000	15,46	20,41	15,71	16,67	21,43	13,04	14,29	12,99	12,05	12
38	Ø20 mm Gri Kaplamalı Su Borusu	1700	9,34	7,11	8,37	11,49	6,69	7,94	10,3	6,77	6,8	7,08

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
39	Ø20 mm Gri Kaplamasız Kangal Boru	3400	13,39	28,33	18,28	23,13	23,78	12,88	15,32	17,89	15,53	15,53
40	Ø20 mm Gri Kaplamasız Su Borusu	2100	13,64	8,61	9,59	7,66	10,05	9,46	8,47	9,86	7,87	8,47
41	Ø20 mm Kahverengi Kaplamasız Kangal Boru	1500	10,56	11,9	11,11	5,38	7,73	5,68	9,38	5,38	5,38	9,43
42	Ø20 mm Kırmızı Kaplamalı Kangal Boru	1700	7,39	11,41	8,46	12,23	6,54	10,83	6,42	8,33	11,81	6,44
43	Ø20 mm Kırmızı Kaplamasız Su Borusu	3500	14,71	14,23	14,89	12,92	13,73	21,74	25,55	17,68	13,94	19,02
44	Ø20 mm Mavi Kaplamalı Kangal Boru	1400	5,88	10,07	5,38	7,22	8,86	4,96	10,14	7,14	5,96	5,19
45	Ø20 mm Mavi Kaplamasız Kangal Boru	1900	13,77	13,87	7,57	8,02	9,05	8,8	10,5	8,92	11,18	13,19
46	Ø20 mm Naturel Kaplamasız Kangal Boru	2500	15,53	12,32	17,99	10	13,97	15,43	10,25	19,53	20,33	11,16
47	Ø20 mm Sarı Kaplamalı Su Borusu	1100	8,66	7,91	4,28	3,96	5,7	7,19	3,86	4,03	6,71	5

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
48	Ø20 mm Siyah Kaplamalı Kangal Boru	3000	12,5	10,71	14,22	14,15	12,93	18,99	14,35	17,34	19,11	19,23
49	Ø20 mm Siyah Kaplamalı Su Borusu	2000	7,55	16,26	8,81	10,87	7,09	11,3	8,4	7,43	10,36	12,12
50	Ø20 mm Siyah Kaplamasız Su Borusu	700	3,33	4,35	3,24	2,48	2,88	3,24	3,54	2,52	5,22	4,27
51	Ø20 mm Turuncu Kaplamalı Kangal Boru	2300	11,86	11,68	11,06	12,43	15,03	15,75	13,29	11,27	8,58	10
52	Ø20 mm Yeşil Kaplamalı Kangal Boru	900	5,96	4,39	5,7	3,27	4,21	3,26	5,84	3,4	6,77	6,77
53	Ø20 mm Yeşil Kaplamasız Kangal Boru	800	2,94	4,35	6,5	3,56	3,81	6,3	4,65	3,94	3,9	2,9
54	Ø20 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	1200	8,96	5,36	5,58	4,71	6,09	7,79	6,12	4,48	8,57	8,16
55	Ø22 mm Gri Kaplamalı Su Borusu	3000	21,28	14,15	13,39	13,82	13,27	18,87	23,44	13,57	11,63	16,85
56	Ø22 mm Gri Kaplamasız Su Borusu	3500	24,82	14,71	16,99	18,72	12,92	19,77	24,65	12,41	28,46	15,7
57	Ø22 mm Kırmızı Kaplamalı Su Borusu	600	2,16	2,38	2,86	4,23	3,28	3,66	2,26	2,94	2,2	4,26

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
58	Ø22 mm Kırmızı Kaplamasız Kangal Boru	3500	16,28	18,04	19,44	28,46	23,81	18,82	20,59	21,21	28,69	12,96
59	Ø22 mm Kırmızı Kaplamasız Su Borusu	1900	8,64	11,73	7,17	14,96	12,75	7,34	10,61	9	10,38	7,95
60	Ø22 mm Naturel Kaplamasız Kangal Boru	700	3,52	2,87	3,68	2,87	2,8	5,6	5,43	2,9	3,78	2,51
61	Ø22 mm Naturel Kaplamasız Su Borusu	2900	22,66	16,96	20,86	10,86	14,57	12,78	17,9	13,06	12,78	11,37
62	Ø22 mm Siyah Kaplamalı Kangal Boru	2300	8,24	9,43	18,25	12,99	13,69	8,61	8,75	16,31	13,61	8,42
63	Ø22 mm Siyah Kaplamasız Kangal Boru	900	5,66	3,86	3,59	4,04	5,33	3,81	6,77	3,33	3,4	3,7
64	Ø22 mm Siyah Kaplamasız Su Borusu	2200	17,74	11,06	13,75	14,77	9,69	12,02	14,57	17,46	17,46	15,17
65	Ø22 mm Turuncu Kaplamasız Su Borusu	500	2,36	1,87	3,65	3,97	3,09	2,73	2,31	2,18	1,83	3,38
66	Ø22 mm Yeşil Kaplamalı Su Borusu	3200	12,26	20,92	19,28	13,17	13,79	11,99	16,93	21,05	13,85	25,2
67	Ø22 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	3300	12,45	23,74	15,21	22,3	12,5	16,67	11,91	11,58	18,13	16,84

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
68	Ø25 mm Gri Kaplamasız Su Borusu	2800	11,86	18,18	12,23	13,53	12,44	11,91	15,22	10,57	16,28	10,11
69	Ø25 mm Kırmızı Kaplamalı Su Borusu	2100	12,07	12,43	9,46	9,13	13,38	7,98	7,78	10,19	11,41	8,54
70	Ø25 mm Mavi Kaplamalı Kangal Boru	2800	10,18	20,74	13,66	15,47	18,42	11,76	11,48	20	11,57	12,67
71	Ø25 mm Mavi Kaplamalı Su Borusu	2700	9,54	10,11	11,02	12,22	10,11	10,11	14,92	10,47	9,78	14,36
72	Ø25 mm Naturel Kaplamalı Kangal Boru	1900	15,2	13,67	13,01	14,29	13,87	12,67	14,39	6,99	7,69	11,59
73	Ø25 mm Naturel Kaplamalı Su Borusu	1500	6,58	5,88	9,87	8,2	7,43	5,4	5,95	12,5	6,55	6,2
74	Ø25 mm Naturel Kaplamasız Kangal Boru	1000	3,68	5,99	5,71	4,02	3,94	3,73	5,32	3,56	7,69	3,66
75	Ø25 mm Naturel Kaplamasız Su Borusu	1800	6,55	8,57	9,18	11,11	6,64	10,47	7,86	9,89	10,23	9,94
76	Ø25 mm Sarı Kaplamalı Kangal Boru	3200	17,58	21,77	15,31	15,31	13,85	13,01	13,01	13,79	26,02	21,19
77	Ø25 mm Sarı Kaplamalı Su Borusu	3500	17,59	14,83	16,51	12,59	14,83	22,73	26,52	13,89	18,52	26,72

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
78	Ø25 mm Sarı Kaplamasız Su Borusu	1600	7,31	9,64	11,35	7,69	5,84	8,12	6,37	9,94	5,61	7,21
79	Ø25 mm Siyah Kaplamalı Kangal Boru	900	3,49	4,5	4,35	6,29	3,75	3,83	5,88	6,08	6,08	3,52
80	Ø25 mm Siyah Kaplamasız Su Borusu	2400	9,56	16	9,09	14,91	11,16	12,24	9,84	10,3	12,83	13,95
81	Ø25 mm Turuncu Kaplamalı Su Borusu	3300	13,81	18,13	12,89	12,09	11,58	17,74	12,5	16,75	20,37	12,6
82	Ø25 mm Turuncu Kaplamasız Kangal Boru	3200	12,4	12,9	14,81	24,81	15,17	12,21	11,55	16	11,35	15,38
83	Ø25 mm Turuncu Kaplamasız Su Borusu	600	3,09	2,64	4,44	2,29	4	2,35	2,18	2,84	3,14	2,26
84	Ø25 mm Yeşil Kaplamalı Kangal Boru	1400	7,37	8,28	9,4	6,11	6,42	8,48	5,3	10,22	9,33	5,79
85	Ø25 mm Yeşil Kaplamalı Su Borusu	800	3,15	2,87	6,61	3,32	6,2	2,85	3,39	5,48	2,88	3,76
86	Ø25 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	500	3,57	2,56	2,53	3,03	3,11	1,93	2,6	3,05	2,55	1,77
87	Ø32 mm Gri Kaplamalı Kangal Boru	1200	9,23	5,53	6,74	7,59	4,53	6,63	7,27	4,26	4,48	6,32

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
88	Ø32 mm Gri Kaplamasız Su Borusu	2100	8,17	15,33	9,38	12,57	10,82	14,09	12,28	7,69	9,72	10,24
89	Ø32 mm Kahverengi Kaplamalı Kangal Boru	3100	20,95	25,83	24,03	16,15	17,61	11,36	15,12	10,99	21,09	12,35
90	Ø32 mm Kahverengi Kaplamasız Kangal Boru	1600	7,27	10,26	8	6,99	11,27	5,65	8,7	6,13	11,85	10,6
91	Ø32 mm Kahverengi Kaplamasız Su Borusu	1800	8,18	7,66	10,11	6,55	8,74	12	11,84	12,95	13,64	6,92
92	Ø32 mm Kırmızı Kaplamalı Kangal Boru	2100	10,55	14,58	13,91	8,61	8,47	9,05	8,14	13,82	8,71	11,8
93	Ø32 mm Kırmızı Kaplamalı Su Borusu	3400	23,45	19,21	20	13,23	26,15	12,14	26,98	21,25	17,89	14,23
94	Ø32 mm Kırmızı Kaplamasız Su Borusu	3400	14,85	22,37	23,61	18,28	13,65	21,38	15,11	13,44	17	13,71
95	Ø32 mm Mavi Kaplamalı Kangal Boru	1800	6,92	10,11	13,74	9,18	9	9,09	6,36	6,74	6,36	7,35
96	Ø32 mm Mavi Kaplamalı Su Borusu	2800	17,18	17,5	23,14	17,07	10,22	12,44	21,71	13,66	11,29	16,97
97	Ø32 mm Mavi Kaplamasız Su Borusu	3200	22,38	20,38	20,78	19,28	12,85	11,9	11,39	18,29	11,43	13,97

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
98	Ø32 mm Naturel Kaplamalı Su Borusu	1600	12,03	11,03	6,08	7,55	8,29	8,08	9,36	11,59	9,14	7,73
99	Ø32 mm Sarı Kaplamalı Kangal Boru	1500	7,43	6,22	5,3	6,38	6,7	7,14	5,68	6,79	6,12	7,39
100	Ø32 mm Siyah Kaplamasız Kangal Boru	2900	14,43	10,74	20,57	13,06	13,12	22,31	13,49	20,71	14,57	12,08
101	Ø32 mm Siyah Kaplamasız Su Borusu	3400	13,65	19,54	17,89	15,74	13,82	20,61	27,2	18,78	18,48	22,08
102	Ø32 mm Yeşil Kaplamalı Su Borusu	2300	10,9	18,85	12,71	18,7	12,92	12,43	8,71	13,77	8,07	10,36
103	Ø40 mm Gri Kaplamalı Kangal Boru	2900	12,45	12,61	19,86	12,39	10,82	13,24	11,89	23,02	15,51	14,43
104	Ø40 mm Kahverengi Kaplamalı Su Borusu	600	2,19	3,17	3	2,25	2,96	3,64	2,69	3,13	2,12	3,37
105	Ø40 mm Kırmızı Kaplamalı Kangal Boru	1500	9,26	9,8	5,79	12,2	8,24	5,56	10,56	11,72	10,49	5,86
106	Ø40 mm Kırmızı Kaplamasız Kangal Boru	2600	11,93	20,31	13,4	21,31	10,04	10,16	10,2	17,11	9,22	10,12
107	Ø40 mm Mavi Kaplamasız Kangal Boru	2000	8,44	7,78	13,33	13,51	8,66	7,58	10,87	7,19	9,43	9,35

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
108	Ø40 mm Naturel Kaplamalı Kungal Boru	2900	21,64	24,17	16,48	11,69	11,93	11,03	15,76	15,18	16,02	10,94
109	Ø40 mm Naturel Kaplamasız Su Borusu	1900	9,5	14,62	8,88	11,52	10,33	9,9	9,09	9,31	6,88	8,05
110	Ø40 mm Sarı Kaplamalı Kungal Boru	1200	8,39	5,48	4,8	5,85	7,79	7,79	5,66	8,96	4,55	7,45
111	Ø40 mm Sarı Kaplamalı Su Borusu	1200	5,5	9,68	6,56	7,32	6,63	8,16	7,59	5,22	7,79	5,02
112	Ø40 mm Siyah Kaplamalı Kungal Boru	1200	4,53	8,11	7,27	4,24	5,29	4,6	7,41	5,26	5,11	6,82
113	Ø40 mm Siyah Kaplamasız Kungal Boru	3200	24,06	11,64	19,39	14,41	20,78	18,93	16,33	22,54	16,84	14,41
114	Ø40 mm Turuncu Kaplamalı Kungal Boru	2600	10,24	14,29	13,13	10,66	14,29	17,45	18,06	14,29	10	13,27
115	Ø40 mm Yeşil Kaplamalı Kungal Boru	2300	9,13	8,75	17,16	13,86	8,27	13,37	11,11	10,65	8,98	8,36
116	Ø40 mm Yeşil Kaplamasız Kungal Boru	2300	9,96	9,66	8,85	8,81	16,08	13,29	15,65	12,11	11,06	15,23

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
117	Ø40 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	1300	6,57	8,84	5,91	4,87	9,35	6,7	10,83	10,74	8,5	7,07
118	Ø50 mm Gri Kaplamalı Kangal Boru	3000	13,51	22,22	21,43	13,7	11,76	12,05	11,41	23,81	12,82	10,91
119	Ø50 mm Gri Kaplamalı Su Borusu	3300	21,43	13,31	23,24	19,64	27,27	13,47	17,93	16,1	13,25	17,74
120	Ø50 mm Gri Kaplamasız Su Borusu	2500	8,83	12,56	15,92	9,88	14,97	18,12	19,69	9,26	16,67	19,69
121	Ø50 mm Kahverengi Kaplamalı Su Borusu	1500	11,19	5,32	5,98	5,93	6,44	10,34	6,41	10,14	8,43	5,88
122	Ø50 mm Kahverengi Kaplamasız Su Borusu	700	3,1	3,14	3,78	3,07	3,1	3,4	2,8	2,83	2,82	4,35
123	Ø50 mm Kırmızı Kaplamasız Su Borusu	2500	8,93	11,31	17,36	11,96	14,2	11,68	17,48	16,78	15,63	10
124	Ø50 mm Mavi Kaplamalı Su Borusu	1000	4,57	5,95	5,41	4,52	3,64	5,99	5,49	4,12	3,6	4,81
125	Ø50 mm Mavi Kaplamasız Kangal Boru	1600	10,81	6,81	12,4	12,31	6,23	5,71	6,11	11,51	9,14	6,48
126	Ø50 mm Naturel Kaplamalı Kangal Boru	3100	21,23	16,58	17,42	21,83	22,3	21,83	25,62	19,5	22,63	13,54
127	Ø50 mm Naturel Kaplamalı Su Borusu	1300	5,31	7,26	10,83	4,61	9,92	5,2	5,83	7,1	5,39	6,25

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
128	Ø50 mm Naturel Kaplamasız Kangal Boru	2400	9,49	15,69	13,64	17,52	10,17	11,59	16,22	8,79	19,2	12,44
129	Ø50 mm Sarı Kaplamasız Su Borusu	3100	23,13	17,03	18,45	25,2	14,09	23,31	11,7	25	12,7	11,7
130	Ø50 mm Siyah Kaplamalı Su Borusu	1700	10,12	7,17	7,05	7,17	7,87	10,18	11,18	8,33	7,83	12,5
131	Ø50 mm Siyah Kaplamasız Kangal Boru	1600	6,67	6,15	7,55	9,09	6,53	8,47	7,08	7,14	7,11	9,41
132	Ø50 mm Turuncu Kaplamalı Kangal Boru	1800	11,54	12,5	6,59	13,74	9,84	8	9,73	8,18	9,33	6,64
133	Ø50 mm Turuncu Kaplamasız Kangal Boru	1000	8,33	3,73	3,66	6,13	5,62	4,03	3,61	3,83	4,59	4,05
134	Ø50 mm Yeşil Kaplamalı Kangal Boru	3400	14,91	26,77	13,03	15,25	19,65	13,39	21,79	18,09	26,36	13,23
135	Ø50 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	2600	20,16	14,13	15,03	16,15	18,57	21,67	18,84	9,19	21,14	21,14
136	Ø63 mm Kahverengi Kaplamasız Su Borusu	1700	9,5	7,73	6,97	9,88	7,83	7,8	12,88	11,18	14,17	10
137	Ø63 mm Mavi Kaplamalı Su Borusu	800	2,81	3,88	3,01	3,6	4,32	5,19	6,45	5,88	2,82	5,16

Tablo 16'nın devamı

İş No	Ürün Tanımı	Sipariş Miktarı (Metre)	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4	Makine 5	Makine 6	Makine 7	Makine 8	Makine 9	Makine 10
138	Ø63 mm Mavi Kaplamasız Kangal Boru	1400	4,98	9,52	11,29	5,58	8,54	9,09	6,11	11,11	10,69	9,21
139	Ø63 mm Naturel Kaplamalı Su Borusu	2100	7,37	8,61	13,38	15,22	7,66	13,91	10,77	7,37	9,38	17,5
140	Ø63 mm Naturel Kaplamasız Su Borusu	2500	20,83	16,34	16,13	10,37	14,97	9,84	10,46	11,85	13,97	9,88
141	Ø63 mm Siyah Kaplamalı Su Borusu	1200	5,02	7,02	5,74	5,74	6,12	4,88	5,97	7,02	4,21	4,56
142	Ø63 mm Turuncu Kaplamalı Kangal Boru	3000	21,58	17,44	23,62	14,56	13,45	12,82	22,22	11,9	21,9	11,86
143	Ø63 mm Yeşil Kaplamasız Su Borusu	2400	9,02	10,91	10,57	8,96	10,67	16,33	10,21	12,97	17,02	11,59

Ek 3: Makine İşlem Süreleri

Tablo 17. Makine işlem süreleri

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	201	213	140	275	284	192	262	265	263	263
2	265	139	217	148	264	198	277	285	182	196
3	254	279	121	241	129	281	236	146	278	213
4	258	200	207	143	240	235	153	148	148	256
5	272	167	175	249	254	268	188	281	130	273
6	168	218	167	259	176	247	173	252	144	202
7	120	153	155	241	167	254	239	211	179	253
8	281	147	124	251	164	154	229	126	131	152
9	196	145	241	186	217	219	172	278	151	178
10	134	224	215	255	197	154	196	268	140	147
11	183	220	231	230	213	189	243	269	147	259
12	125	139	146	133	137	150	132	272	247	164
13	141	212	224	217	226	159	128	221	258	178
14	240	280	211	212	232	158	209	173	157	156
15	130	217	178	158	265	181	165	282	268	190
16	159	233	251	223	169	236	133	270	265	243
17	170	268	187	156	265	279	138	126	133	264
18	154	248	142	168	121	245	184	205	249	186
19	161	203	139	250	179	162	244	128	123	224

Tablo 17'nin devamı

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	220	235	178	275	206	150	152	139	132	260
21	148	235	129	130	257	280	262	139	175	247
22	272	184	123	225	210	127	172	203	205	276
23	240	260	212	176	245	189	226	224	225	170
24	215	194	180	123	147	186	170	165	122	270
25	198	147	220	267	139	194	120	121	153	184
26	195	245	166	213	231	120	254	162	204	250
27	251	150	264	161	215	196	244	233	187	172
28	127	265	172	150	142	148	241	130	158	136
29	120	135	155	250	260	283	221	135	207	206
30	266	216	149	181	162	178	208	244	159	192
31	252	263	134	166	278	172	207	216	256	275
32	254	182	198	244	182	149	144	182	260	196
33	151	203	189	269	257	211	243	265	189	242
34	274	189	200	267	203	165	223	192	283	178
35	182	239	203	148	254	214	165	251	250	240
36	245	179	120	282	131	250	223	183	241	208
37	253	153	176	137	236	207	148	273	125	193
38	142	126	135	279	194	264	160	279	279	159
39	226	223	185	228	226	206	250	247	248	161
40	228	129	215	206	278	272	155	190	214	206
41	163	160	121	164	274	225	129	205	248	165

Tablo 17'nin devamı

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
42	228	255	152	183	202	278	252	120	229	242
43	202	241	283	235	224	210	264	221	245	203
44	210	161	216	282	243	216	198	278	134	164
45	237	199	221	155	235	225	173	177	144	215
46	133	275	165	222	154	169	196	142	190	222
47	260	178	131	196	200	198	283	267	283	245
48	156	144	273	131	183	225	185	220	193	271
49	179	220	244	172	217	218	132	152	120	170
50	275	135	205	181	152	238	244	140	242	221
51	230	149	201	139	260	157	265	204	144	264
52	199	244	190	244	250	125	129	241	185	279
53	237	257	150	148	231	264	184	278	212	214
54	233	230	146	234	268	219	244	126	187	201
55	220	162	265	127	149	259	179	211	183	239
56	139	172	127	206	223	234	135	252	137	253
57	148	238	249	166	149	212	148	225	277	181
58	254	120	186	147	143	264	222	190	219	219
59	239	182	256	273	285	186	264	197	162	262
60	134	282	251	253	233	145	234	148	178	255
61	199	144	151	244	248	232	258	152	241	178
62	148	120	129	192	176	273	205	282	147	251
63	121	213	194	207	193	279	184	263	121	240

Tablo 17'nin devamı

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
64	140	195	198	165	161	259	192	164	196	283
65	120	268	273	163	178	248	277	261	218	247
66	222	135	140	219	255	249	263	126	234	275
67	129	184	173	161	140	120	138	283	123	123
68	133	145	263	212	193	198	171	138	175	207
69	182	147	209	209	231	246	246	232	123	151
70	236	154	229	207	225	235	184	265	172	277
71	249	174	190	216	246	165	125	181	184	154
72	143	157	154	166	249	269	281	175	280	229
73	194	147	191	180	140	230	210	231	249	250
74	146	187	178	142	139	142	121	159	137	229
75	279	244	126	177	168	267	263	141	169	273
76	258	248	216	129	211	262	277	200	282	208
77	212	268	137	126	162	183	216	229	273	148
78	169	244	238	122	133	250	282	210	195	206
79	212	232	164	173	248	188	245	224	147	120
80	123	175	259	251	205	194	234	123	127	192
81	285	244	157	138	274	151	195	285	224	120
82	194	197	208	185	153	146	173	204	268	230
83	231	238	260	261	143	173	147	190	208	151
84	247	242	285	175	152	168	257	239	203	277
85	198	163	148	232	203	189	181	231	215	276

Tablo 17'nin devamı

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
86	128	213	247	282	283	278	282	168	133	245
87	219	168	185	221	275	167	182	243	278	208
88	225	188	231	126	133	237	189	156	173	158
89	238	139	260	194	158	282	138	196	235	270
90	174	169	222	230	157	263	270	206	184	246
91	273	120	235	174	237	284	222	163	282	269
92	220	156	200	229	142	283	184	261	135	151
93	127	139	257	278	193	153	285	273	164	220
94	278	129	203	194	224	274	272	125	173	251
95	218	124	183	164	181	147	158	230	154	239
96	219	166	141	208	274	197	251	161	285	222
97	166	123	125	224	205	126	150	228	237	265
98	253	141	201	202	137	219	250	164	249	228
99	279	246	229	189	217	219	148	175	233	200
100	239	171	209	209	196	246	201	171	285	263
101	128	171	139	267	199	227	162	222	227	255
102	257	137	224	167	194	149	171	273	216	205
103	261	153	166	243	232	267	189	152	231	127
104	223	243	184	123	121	126	232	238	148	212
105	200	130	214	165	184	192	209	204	276	236
106	280	221	144	209	176	214	143	149	160	250
107	265	148	165	283	227	261	162	228	235	176

Tablo 17'nin devamı

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
108	228	127	261	223	173	254	156	188	129	257
109	211	122	181	123	178	185	264	167	285	222
110	283	267	245	221	267	267	181	258	276	188
111	145	177	170	257	130	280	126	160	190	239
112	143	219	250	205	154	154	212	134	264	161
113	124	199	160	149	227	183	151	126	126	145
114	275	210	196	162	271	172	229	182	176	181
115	152	215	209	124	241	159	243	280	168	156
116	199	236	212	278	236	154	132	252	189	131
117	277	181	144	122	282	187	211	229	240	236
118	205	150	169	175	213	145	186	122	266	216
119	190	169	149	229	218	165	264	137	150	242
120	162	153	259	123	182	270	142	128	143	256
121	229	152	144	186	249	159	225	253	200	248
122	168	237	241	237	216	167	152	204	217	136
123	134	182	168	123	220	133	265	124	244	265
124	265	123	227	184	282	177	238	269	193	165
125	224	240	191	122	126	222	198	243	229	156
126	278	252	210	142	183	164	265	204	273	141
127	154	244	219	274	209	222	248	213	267	248

Tablo 17'nin devamı

İş No/ Makine No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
128	266	220	227	268	225	147	235	185	141	207
129	196	216	130	199	180	132	204	241	238	168
130	152	130	236	224	155	172	219	158	227	241
131	201	270	141	222	221	130	215	140	199	240
132	283	199	157	253	167	138	127	270	150	127
133	176	127	201	206	197	272	125	193	242	269
134	151	205	158	275	214	276	154	265	133	133
135	218	128	194	122	259	256	255	152	282	257
136	138	137	251	237	210	216	181	213	170	144
137	141	238	206	187	271	177	142	282	123	223
138	238	246	235	271	255	161	137	198	251	184
139	134	120	176	248	243	263	184	191	181	265
140	268	284	213	142	240	221	280	193	178	218
141	259	207	122	142	284	218	253	189	196	182
142	194	227	135	262	150	255	275	211	191	266
143	285	206	266	222	185	154	124	136	284	155

ÖZGEÇMİŞ

Buğra Davut DAŞKIN İlköğrenimini 50.Yıl Dedeman ortaokulunda tamamladı. Lise eğitimine Kayseri Lisesi'nde başladı ve 2015 yılında Ankara 75.Yıl Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016-2017 öğretim yılında Necmettin Erbakan Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü kazanarak, İngilizce hazırlık sınıfında lisans eğitime başladı. 2019-2020 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaptı, buradan 2021 yılında mezun oldu. 2022 yılı bahar döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği tezli yüksek lisans programına başladı. Lisans eğitimi bitimine müteakip sanayi sektöründe üretim ve planlama alanlarında çalıştı. İyi derece İngilizce bilmektedir.