

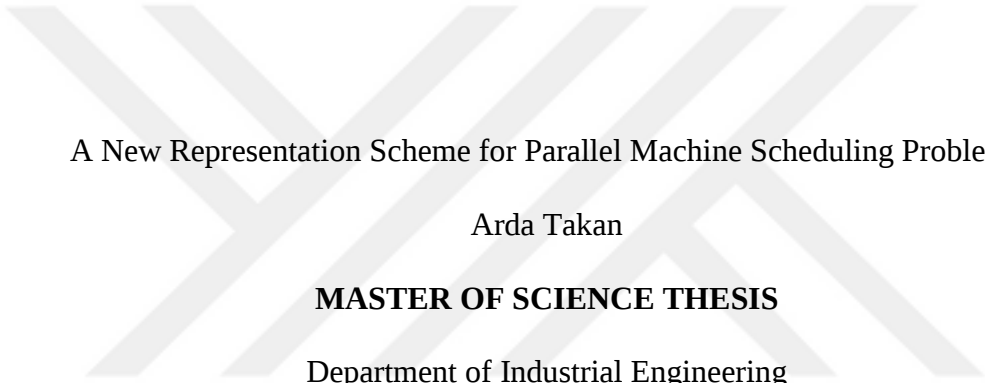
Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri İçin Yeni Bir Gösterim Şekli

Arda Takan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2018



A New Representation Scheme for Parallel Machine Scheduling Problems

Arda Takan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

May 2018

Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri İçin Yeni Bir Gösterim Şekli

Arda Takan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç.Dr. Tuğba Saraç

Mayıs 2018

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Arda Takan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri İçin Yeni Bir Gösterim Şekli” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Tuğba Saraç

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç.Dr. Tuğba Saraç

Üye : Doç.Dr. Gürkan Öztürk

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Feriştah Özçelik

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Tuğba Saraç danışmanlığında hazırlamış olduğum “Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri İçin Yeni Bir Gösterim Şekli” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/05/2018

Arda Takan

ÖZET

Bu çalışmada, literatürde önemli bir yere sahip olan sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümüne yönelik olarak literatürde farklı sezgisel ve metasezgiseller bulunmaktadır. Bu çalışmada, problem için yeni bir gösterim şekli önerilmiştir. Önerilen gösterim şeklinin başarısını gösterbilmek amacıyla ilgili probleme yönelik klasik bir genetik algoritma ile yeni önerilen gösterim şeklini kullanan genetik algoritma rassal türetilen test problemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Önerilen gösterim şekli kullanıldığında çaprazlama esnasında problemin çözüm uzayı açısından, klasik genetik algoritmaya göre çeşitliliğin arttığı ve aynı anlama gelen kromozom yapılarının elendiği gözlemlenmiştir. Özellikle iş sayısının fazla olduğu ve makine sayısının az olduğu durumlarda, geliştirilen yöntem klasik genetik algorithmadan daha iyi sonuçlara ulaşmıştır.

Anahtar kelimeler: Çizelgeleme Problemleri, Metasezgiseller, Genetik Algoritma, Gösterim Şekli

SUMMARY

In this study, parallel-machine scheduling problems with sequence-dependent setup times which is significantly important in literature, is studied. There are different heuristics and meta heuristics for the problem in the literature. In this study, a new representation scheme is presented. To show success of the proposed representation scheme, a classical genetic algorithm and a genetic algorithm using proposed representation scheme are compared by using randomly generated instances. Diversification in the solution space is expanded and duplicate results are eliminated with this representation scheme. Specifically when the number of jobs are high and number of machines are relatively low, new algorithm generates better results than the classical genetic algorithm.

Keywords: Scheduling Problems, Metaheuristics, Genetic Algorithm, Representation scheme.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında vermiş olduğu destek ve yönlendirmelerinden dolayı danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tuğba Saraç'a ve her zaman yanımda olan eşim Melis Alpaslan Takan'a ve yaşadığımız yoğunluğa rağmen çalışmalarım için gösterdiği anlayışından ötürü yöneticim Gürcan Pamuk'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Sıra Bağımsız Çizelgeleme Problemleri	6
2.1.1. Sıra bağımsız tek makineli çizelgeleme problemleri	6
2.1.2. Sıra bağımsız paralel makineli çizelgeleme problemleri.....	6
2.1.3. Sıra bağımsız akış tipi çizelgeleme problemleri	6
2.1.4. Sıra bağımsız atölye tipi çizelgeleme	7
2.2. Sıra Bağımlı Çizelgeleme Problemleri	7
2.2.1. Sıra bağımlı tek makineli çizelgeleme problemleri	7
2.2.2. Sıra bağımlı paralel makineli çizelgeleme problemleri	8
2.2.3. Sıra bağımlı akış tipi çizelgeleme problemleri	10
2.2.4. Sıra bağımlı atölye tipi çizelgeleme problemleri.....	10
3. TEORİK BİLGİ	11
3.1. Sıra Bağımlı Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Ait Matematiksel Model.....	11
3.2. Genetik Algoritma	13
3.2.1. Genetik algoritmanın genel yapısı.....	13
3.2.2. Evrimsel seçim.....	14
3.3. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Yönelik Klasik Genetik Algoritma Uygulaması.....	18
3.3.1. Kromozom Tasarımı	18
3.3.2. Seçilim	19
3.3.3. Çaprazlama.....	19
3.3.4. Mutasyon.....	20
3.4. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Yönelik Geliştirilen İşlere Ait Kısmın Rassal Anahtar ile Gösterildiği Kromozom Tasarımı ile Genetik Algoritma Uygulaması	21

İÇİNDEKİLER (devam)

3.4.1. Kromozom Tasarımı	22
3.4.2. Seçilim	29
3.4.3. Çaprazlama.....	29
3.4.4. Mutasyon.....	31
3.5. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Yönelik Geliştirilen İşlere Ait Kısımın Kendi Numaraları ile Gösterildiği Kromozom Tasarımı ile Genetik Algoritma Uygulaması .	34
3.5.1. Kromozom Tasarımı	34
3.5.2. Seçilim	34
3.5.3. Çaprazlama.....	34
3.5.4. Mutasyon.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tek noktadan çaprazlama	14
3.2. İki noktadan çaprazlama	14
3.3. Rulet tekeri seçimi	15
3.4. Turnuva seçimi	16
3.5. Sıra tabanlı seçilim	17
3.6. Cheng ve Gen'in kromozom gösterimi	18
3.7. Cheng ve Gen'in yönteminde kromozom çaprazlama	19
3.8. Cheng ve Gen'in yönteminde kromozom mutasyonu - swap.....	20
3.9. Cheng ve Gen'in yönteminde kromozom mutasyonu - insert.....	21
3.10. Eşdeğer çözüm değerine sahip kromozomlar	22
3.11. Alternatif kromozom gösterimi	22
3.12. 6 iş 3 makine için atama kombinasyonları	23
3.13. Türetme algoritmasının ilerleyişi	24
3.14. Algoritmanın döngüsel ilerleyişi ve olası tüm çözümlerin gösterimi.....	25
3.15. Kromozom Temsiliet Dağılım Grafiği	28
3.16. Rassal anahtar dönüşümü	28
3.17. Yeni yöntemde kromozom gösterimi	29
3.18. Yeni yöntemde makine atama kısmında çaprazlama	30
3.19. Yeni yöntemde makine atama kısmında çaprazlama sonrası yavru	30
3.20. Yeni yöntemde iş sıraları kısmında çaprazlama	31
3.21. Yeni yöntemde iş sırası kısmında çaprazlama sonrası yavru	31
3.22. Yeni yöntemde işlere ait kısımda rassallaştırma mutasyonu	32
3.23. Yeni yöntemde makinelere ait kısımda rassallaştırma mutasyonu.....	33
3.24. Yeni yöntemde işlere ait kısımda swap mutasyonu	33
3.25. Yeni yöntem 2'de kromozom gösterimi	34
3.26. Yeni yöntem 2'de çaprazlama	35
3.27. Yeni yöntem 2'de çarpazlama sonucu oluşan yavru	35
3.28. Yeni yöntemde işlere ait kısımda rassallaştırma mutasyonu.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.29. Yeni yöntemde işlere ait kısımda insert mutasyonu	36
4.1. 8 iş 3 makine için algoritma kıyaslaması.....	38
4.2. 15 iş 5 makine için algoritma kıyaslaması.....	38
4.3. 15 iş 6 makine için algoritma kıyaslaması.....	39
4.4. 20 iş 8 makine için algoritma kıyaslaması.....	39
4.5. Varyans analizi	40
4.6. Yöntem, boyut ve sonuç ilişkisi	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Temsilîyet frekans tablosu.....	27
4.2. Karşılaştırmalı test problem sonuçları.....	37



1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çizelgeleme, imalat ve servis endüstrilerinde önemli bir karar verme sürecidir. Sınırlı sayıdaki kaynakların, belirli bir zaman aralığındaki işlere atanmasını ele alır. Çizelgeleme, üretim sürecindeki işlerin hangi kaynaklarla üretileceğini ve bu işlerin makinalara hangi sıra ile atanacağını belirler. Bir ürünü oluşturan iş parçalarının elde bulunan tek ya da çok sayıdaki makinalarda hangi sırada ve ne zaman yapılacağını belirlenmesi sürecidir. Çizelgelemeyi oluşturan üç temel unsur: faaliyet, kaynak ve zamandır.

Üretimde çizelgelemede, üretim olanaklarının en etkin şekilde kullanılması çok önemlidir. Müşterilerin taleplerine olabildiğince hızlı bir şekilde cevap verilmelidir. İşlerin, teslim tarihinde gecikme olmadan tamamlanması önemlidir. Ayrıca, yarı mamul stoklarının enküçüklenmesi ve fazla mesai çalışmalarının enküçüklenmesi önemli olan diğer unsurlardandır. Üretimde çizelgelemenin çok fazla uygulaması görülmektedir. Örneğin; proje çizelgeleme, atölye çizelgeleme, esnek montaj hattı çizelgeleme, ekonomik parti çizelgeleme, tedarik zincirinde çizelgeleme, araçların rotalanması ve çizelgelenmesi gibi. Çizelgeleme; siparişlerin geç teslim edilmesi, var olan kapasitenin tam kullanılmaması, üretim sürecinin uzaması, üretimde darboğazların tespiti, müşteri memnuniyetsizliği ve müşteri kaybı gibi sorunların çözülmesine yardımcı olur.

Çizelgeleme problemleri literatürde genel olarak dört farklı grupta incelenmektedir. Bunlar; tek makina, paralel makina, atölye tipi ve akış tipi çizelgeleme problemleridir.

Üretim sistemine gelen işler eğer tek bir işleme, dolayısıyla tek bir makineye ihtiyaç duyuyor ise buradaki problem tek makina çizelgeleme problemi olarak adlandırılır. İşlerin hangi sırada yapılacağını belirlenmesi hedeflenir.

Paralel makina çizelgeleme problemlerde ise, sisteme gelen işler mevcut olan makinaların herhangi birinde yapılabilir. Seri akışlı problemlerde ve karmaşık akışlı problemlerde ise atölyeye gelen işler birden fazla işleme ihtiyaç duyar. Seri akışta tüm işlerin rotası aynı olur. Karmaşık akışlı problemlerde ise her bir işin rotası farklıdır. Çizelgeleme problemleri, problem yapısının deterministik veya stokastik olmasına göre de ele

alınmaktadır. Eğer işlerin süreleri ve diğer parametreler kesin olarak biliniyorsa ya da belirlenebiliyorsa, deterministik çizelgeleme problemi olarak adlandırılır. Bilinmiyorsa, stokastik çizelgeleme problemi haline dönüşür. Paralel makine çizelgeleme (PMÇ) problemlerinin büyük çoğunluğunda, işlerin gereksinim duyduğu tek kaynağın makine olduğu varsayılmaktadır. Paralel makine çizelgeleme probleminde işler, makinelerden herhangi birinde işlem görebilmektedir. Farklı özellikteki her iş, herhangi bir makinede yapılabilecek tek bir işleme sahiptir.

Akış tipi çizelgeleme probleminde (m -makine), gelen işler m makinede aynı teknolojik sırada işlenmelidir. Her işin m tane işlemi vardır ve her işin i . işlemi i . makinede yapılmalıdır. Farklı makinelerde her işin işlenme süresi farklı olabilir.

Atölye tipi çizelgeleme probleminde, genel olarak farklı makineler bulunmaktadır ve gelen iş bir ya da birden fazla makinede belirli bir sıra ile işlenmeye ihtiyaç duyabilir. Bir iş bir makineyi birden fazla kullanamaz.

Çizelgeleme problemleri kombinatorial eniyileme problemleri sınıfından olduğu için en iyi çözümlerini bulmak oldukça zordur. Genellikle küçük boyutlu problemler için en iyi çözümler bulunabilir. Büyük boyutlu problemlerin çözümüne yönelik literatürde farklı sezgisel ve meta sezgisel yöntemler bulunmaktadır. Literatürde çizelgeleme problemlerine sistematik olarak ilk yaklaşım 1950'li yılların ortalarında gerçekleşmiştir. Hazırlık sürelerinin ele alındığı ilk çalışmalar ise 1960'lı yıllarda gerçekleşmiştir. Allahverdi vd. (1999) hazırlık sürelerinin ele alındığı dinamik ve stokastik problem yapıları için; tek makine, paralel makine, atölye tipi ve akış tipi çizelgeleme problemleri için kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Young ve Liao (1999), Cheng vd. (2000), Potts ve Kovalyov (2000) da hazırlık sürelerini ele alan çizelgeleme problemleri için literatür taraması yapmışlardır.

Bu tez kapsamında sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makina çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Sıra bağımlı hazırlık süresi, bir işin hazırlık süresinin kendinden önce çizelgelenmiş olan işe göre değişmesi anlamına gelmektedir. Literatürde bu konu ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir kısmında, amaç fonksiyonu, son yapılan işin tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir.

Paralel makine çizelgeleme problemlerinin en önemli parametreleri hazırlık süresi ve işlem süresidir. Hazırlık süresi, makinenin iş başlamadan önce üretime hazırlanması sürecidir. Makineyi; sürece ya da ürün parçalarının tezgahına hazırlamak önemlidir. Bu süreç, kullanılacak aletlerin temini, malzeme sürecindeki işin pozisyonlanması ve gerekli kalibrelerin kurulumu gibi aşamaları içerebilir. Hazırlık operasyonu (zaman ya da maliyet) uzunca bir süre yapılan çalışmalarda gözardı edilmiştir ya da üretim zamanının bir parçası olarak görülmüştür. Bu durum bazı çizelgeleme problemleri için anlamlı olabilir ancak farklı durumlar için ayrı hazırlık süresi (maliyeti) gerekebilir. Ayrı hazırlık sürecinde 2 tür problem yer almaktadır. Birinci tür problemde, hazırlık süresi sadece yapılacak olan işe bağlıdır bu yüzden bu probleme sıra bağımsız hazırlık süreli denir. İkinci tür problemde ise, hazırlıklar hem o anda işlem gören işe, hem de bir önce işlem görmüş olan işe bağlıdır. Bu probleme ise sıra bağımlı hazırlık süreli denir (Allahverdi vd., 1999). Hazırlık süresinin önemi farklı çalışmalarda keşfedilmiştir. Edis (2010), paralel makine çizelgeleme problemlerinin ek kaynak gerektiren durumu için bir literatür araştırması yapmış, matematiksel ve kısıtlı programlamaya dayalı yaklaşımlar geliştirmiştir. Daniels vd. (1996), özdeş paralel makine çizelgeleme problemleri üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada, işlerin işlem süreleri, atanan ek kaynak sayısına bağımlıdır ve ek kaynak miktarı sınırlıdır. Grigoriev vd. (2007) işlem süreleri atanan ek kaynak miktarına bağlı olan paralel makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Edis ve Ozkarahan (2012) paralel makine çizelgeleme probleminde işlem sürelerinin eşit olduğu ve eşit olmadığı durumları ele almıştır.

Bu çalışma kapsamında paralel makineli sıra bağımlı hazırlık süreli çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik yeni bir gösterim şekli ve bu gösterim şeklini kullanan bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Çalışmanın izleyen bölümünde ele alınan problem ile ilgili literatür tarması sunulmuştur. 3. Bölümde ele alınan problem ve geliştirilen çözüm yaklaşımı ile ilgili teorik bilgi verilmiştir. Deneysel bulgular ve tartışma 4. bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde hazırlık sürelerini ele alan çizelgeleme problemleri genel olarak hazırlık sürelerinin (hazırlık maliyetlerinin) sıra bağımsız veya sıra bağımlı olmasına göre ikiye ayrılmaktadır (Allahverdi, 2015). Makine yapısı açısından ise tek makine, paralel makine, akış tipi ve atölye tipi olmak üzere 4 ana başlıkta toplanmaktadır.

Tek makine çizelgeleme problemlerinde, işler tek bir makineden hizmet görmektedir. Makine belli bir anda sadece bir işi yapabilmektedir. Her işin farklı özellikleri bulunmaktadır. Örneğin; işlem süreleri, teslim zamanları, hazırlık süreleri ve ağırlıkları gibi. İşler, farklı performans ölçütlerini eniyilemek üzere sıralanmaktadır (Allahverdi vd., 1999).

Paralel makine çizelgeleme probleminde ise işler makinelerden herhangi birinde işlem görebilmektedir. Farklı özellikteki her iş, herhangi bir makinede yapılabilecek tek bir işleme sahiptir.

Akış tipi çizelgeleme probleminde (m -makinelili), gelen işler m makinede aynı teknolojik sırada işlenmektedir. Her işin m tane işlemi vardır ve her işin i . işlemi j . makinede yapılmalıdır. Farklı makinelerde her işin işlenme süresi farklı olabilir.

Atölye tipi çizelgeleme probleminde, genel olarak farklı makineler bulunmaktadır ve gelen iş bir ya da birden fazla makinede belirli bir sıra ile işlenmeye ihtiyaç duymaktadır.

2.1. Sıra Bağımsız Çizelgeleme Problemleri

Literatürdeki sıra bağımsız hazırlık sürelerini dikkate alan çizelgeleme problemleri dört ana başlıkta incelenmiştir.

2.1.1. Sıra bağımsız hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemleri

1967 yılında yapılan çalışmada, tek makineli problemde hazırlık sayısını en küçükleyecek bir yöntem geliştirilmiştir (Glassey, 1967). Shwimer (1972), gecikmeden kaynaklanan toplam ceza maliyetinin en küçüklenmesi için bir dal-sınır algoritması önermiştir. Rinnooy Kan vd. (1975), n tane işin bir tane makineye aynı anda geldiği ve makinenin işleri tek tek aldığı bir durumu ele almışlardır. Her iş bir maliyet fonksiyonunu ifade etmektedir. Amaçların toplam işlem maliyetinin en küçüklenmesini sağlayacak yeni bir yöntem önermektir. Baker (1999) çalışmasında, farklı iş aileleri arasında hazırlık süreleri açısından, en fazla gecikmeyi en küçükleyecek bir sezgisel yaklaşım geliştirmiştir. Pan vd. (2001), sıra bağımsız çizelgeleme problemindeki tek makineli durum için işlerin en fazla gecikmesini en küçükleyecek bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

2.1.2. Sıra bağımsız hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemleri

Tang (1990), yaptığı çalışmada paralel makinelerin işlerinin toplam tamamlanma zamanını en küçüklemeyi amaçlamıştır. Sezgisel yaklaşım önermişlerdir ve iki adet alt sınır tanımlanmıştır. Cheng ve Chen (1993) çalışmalarında, iki özdeş paralel makinedeki farklı iş kümeleri için işlerin toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesini hedeflemişlerdir. Problem yapısının NP-zor olduğu gösterilmiştir. Schutten ve Leussink (1996), n adet bağımsız iş için herhangi bir işin en fazla gecikmesini en küçüklemek adına bir dal-sınır algoritması önermişlerdir.

2.1.3. Sıra bağımsız hazırlık süreli akış tipi çizelgeleme problemleri

Johnson (1954) tarafından yapılan çalışmada ilk defa iki makineli sıra bağımsız çizelgeleme problemi tanımlanmıştır. Her iki makine ve her bir parça için hazırlık süreleri ve iş süreleri bilinmektedir. İşlerin tamamlanma zamanını en küçükleyecek probleme yönelik

bir algoritma önerilmiştir. Üç makineli sıra bağımsız hazırlık süreli çizelgeleme problemi için de yöntem genişletilmiştir. Allahverdi (1997), iki makineli akış tipi üretim problemini ele almıştır. Hazırlık süreleri işlem zamanından bağımsız olarak ele alınmıştır ve stokastik makine arızaları ele alınmıştır. Allahverdi (2000) sıra bağımsız hazırlık sürelerinin olduğu, iki makineli akış tipi çizelgeleme problemini çalışmıştır. Bu çalışmada, çözümler iki özel akış için elde edilmiştir ve üç adet sezgisel algoritma tasarlanmıştır. Gupta ve Schaller (2006) birbirinden bağımsız aile hazırlık süreleri ile her ailenin parça işlerinin birlikte üretildiği bir problemi ele almıştır. Toplam akış süresini enküçüklemeyi amaçlayan problemde farklı sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Yagmahan ve Yenisey (2010) akış tipi çizelgeleme problemini çok amaçlı ele almışlardır. Toplam tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanını enküçükleyen, çok amaçlı bir karınca koloni sistemi algoritması geliştirmişlerdir. Ben-Daya ve Al-Fawzan (1998) akış tipi sıralama problemlerinin çözümü için yasaklı arama yaklaşımı geliştirmişlerdir.

2.1.4. Sıra bağımsız hazırlık süreli atölye tipi çizelgeleme

Laarhoven vd. (1992) atölye tipi çizelgeleme problemlerinde kullanılmak üzere, tamamlanma zamanını enküçüklemek için tavlama benzetimi tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Colorni vd. (1994) atölye tipi çizelgeleme problemleri için karınca kolonisi sistemi adı verilen yeni bir sezgisel geliştirmişlerdir. Yöntemin başarısını hesaplamalı sonuçlar ile göstermişlerdir. Hemamalini vd. (2010) karmaşık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için teslim zamanını göz önünde bulunduran derin hafızalı aç gözlü arama metodu geliştirmişlerdir.

2.2. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Çizelgeleme Problemleri

Literatürdeki sıra bağımlı hazırlık süreli çizelgeleme problemleri dört ana başlıkta incelenmiştir.

2.2.1. Sıra bağımlı hazırlık süreli tek makine çizelgeleme problemleri

Gavett 1965 yılında yaptığı çalışmada, hazırlık süreleri sıra bağımlı ve tek makineli problemler için sıralama yapabilmek amacıyla 3 farklı sezgisel önermiştir. Önerilen

sıralamaların rassal sıralamaya göre daha etkili sonuç verdiği gözlenmiştir. White ve Wilson (1977) çalışmalarında öncelikle hazırlık operasyonlarını sınıflandıran ve hazırlık sürelerini tahmin eden ve toplam hazırlık zamanını enküçükleyen bir yöntem geliştirmişlerdir. França vd. (2001) toplam gecikmeyi enküçükleyecek, teslim tarihi olan ve sıra bağımlı hazırlık süreli problemlerin çözümü için yeni memetik algoritma önermişlerdir. Memetik algoritma sonuçları genetik algoritma sonuçları ile kıyaslanmıştır. Cheng vd. (2003) enbüyük gecikmeyi enküçüklemeyi amaçlayan tek makine çizelgeleme problemlerini ele almışlardır. Tek makineli bir çizelgelemede hazırlık sürelerini de göz önüne bulundurarak toplam gecikmenin enküçüklenmesi hatta sıfırlanması probleminin NP-zor olduğunu ispatlamışlardır. Gupta ve Smith (2006) toplam gecikmeyi enküçüklemek için uzay tabanlı yerel arama sezgiselini ve açgözlü rassal uyarlanabilen arama prosedürünü geliştirmişlerdir. Liao ve Juan (2007) ağırlıklı gecikmeyi enküçüklemek için bir karınca kolonisi algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritmada; başlangıç feromon yolu için yeni parametreler yer almaktadır ve yerel arama uygulamasının zamanlaması değiştirilmiştir. Lin ve Ying (2007) sıra bağımlı hazırlık süreli problemde, toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçüklemek için tavlama benzetimi, genetik algoritma ve yasaklı arama algoritması üzerinde çalışmışlardır.

2.2.2. Sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makineli çizelgeleme problemleri

Bu tez kapsamında ele alınan problem türü olan sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi literatürde önemli bir yere sahiptir. Hamzadayı ve Yıldız (2017) paralel makine çizelgeleme problemini 3 ayrı sınıfta incelemişlerdir: özdeş paralel makineler, tek biçimli paralel makineler ve ilişkisiz paralel makineler. Allahverdi 2015 yılında yaptığı çalışmada çizelgeleme problemlerindeki hazırlık süreleri/ maliyetleri için çok geniş bir literatür taraması yapmıştır. Hu ve Yao (2011) çalışmalarında paralel makineçizelgeleme problemi için karma tamsayılı bir matematiksel model önermişlerdir. Problem NP-zor olduğundan genetik algoritma ile eniyi çözüme yaklaştırmaya çalışmışlardır. Jairo vd. (2009) çalışmalarında, sıra bağımlı hazırlık süreli problem için, sürekli zaman önceliğine dayalı, yeni karma tamsayılı bir matematiksel model önermişlerdir. Farklı vaka analizleri yaparak modellerini test etmişlerdir. Eren (2009) iki kriterli m adet özdeş paralel makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Amaç fonksiyonu toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin enküçüklenmesidir. Matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Hsu vd. (2011) ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini ele

almıştır. Hazırlık zamanının, zaten işlenmiş işlerin uzunluğuna oranlı olduğunu göstermişlerdir. Driessel ve Moench (2009) çalışmalarında özdeş paralel makineleri ele almışlardır. İşlerin hazır olma zamanı, öncelik kısıtları ve sıra bağımlı hazırlık süreleri ele alınmıştır. Toplam ağırlıklı gecikmenin enküçüklenmesi hedeflenmiştir ve probleme yönelik değişken komşuluk arama algoritması önerilmiştir. Fan ve Tang (2006) probleme yönelik sütun oluşturma tekniğini kullanmışlardır. Tran ve Christopher Beck (2011) yaptıkları çalışmada ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. İşlerin tamamlanma zamanını enküçüklemek için Benders ayrıştırma yaklaşımını önermişlerdir. Cota vd. (2014) çalışmalarında işlerin tamamlanma zamanını enküçüklemek amacıyla, tekrarlanan yerel aramaya dayalı yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Xi ve Jang (2012) özdeş paralel makineler için, görünen gecikme maliyetine (Apparent Tardiness Cost) dayanan dağıtım kurallarının performansını incelemişlerdir. Pfund vd. (2008) özdeş paralel makine çizelgeleme problemi için toplam ağırlıklı gecikmeyi enküçüklemek için yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma Lee ve Pinedo (1997) tarafından önerilen hazırlık maliyetleri ile görünen gecikme maliyetini ele alan yaklaşıma dayalıdır. Lee ve Pinedo bu çalışmasında ağırlıklandırılmış gecikme toplamını enküçüklemek için üç fazlı bir sezgisel geliştirmişlerdir. İlk faz, ön işlem prosedürüdür. Örneği karakterize eden faktörler hesaplanır. İkinci fazda dağıtım kuralı uygulanır. Üçüncü faz ile işlem sonrası fazıdır. Tavlama benzetimi algoritması uygulanmıştır. Deane ve White (1975) yaptıkları çalışmada, sıra bağımlı hazırlık süreli çizelgeleme problemleri için; n adet paralel makine üzerinde işlem görebilen m adet bağımsız iş yığınının olduğu ortamda, iş yükü dengesini de göz önünde bulunduran eniyi çizelgeyi araştırmışlardır. Problemin çözümü için kombinatoriyel programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Eom vd. (2002) yaptıkları çalışmada bir küme işin, toplam ağırlıklı gecikmesini enküçükleyecek verimli bir sezgisel önermişlerdir. İşlerin işlem süreleri, teslim tarihleri, ağırlıkları ve paralel makineler için aile türleri bilinmektedir. Paulo vd. (2007) yapmış oldukları çalışmada paralel makine çizelgeleme problemi için değişken komşuluk arama yöntemini kullanmışlardır. Bu algoritmanın sonuçları ile açgözlü rassal uyarlanabilir arama algoritmasının sonuçları ile kıyaslanmıştır. Anderson vd. (2013) probleme yönelik ağ-tabanlı karma tamsayılı programlama formülasyonunu önermişlerdir.

2.2.3. Sıra bağımlı hazırlık süreli akış tipi çizelgeleme problemleri

Corwin ve Esogbue (1974) çalışmalarında iki farklı akış tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Problemde iki farklı makine olduğunda, makinelerden biri sıra bağımlı hazırlık zamanı ile işlem yapmaktadır. Amaç fonksiyonu toplam tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir. Problemin çözümüne yönelik dinamik programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Gupta (1986) çalışmasında toplam tamamlanma zamanının enküçüklendiği durumu asimetrik bir gezgin satıcı problemi gibi modellemiştir. Problemin NP-zor yapıda olduğunu da göstermiştir. Aldowaisan ve Allahverdi (1998) işlerin beklemeden işleme alındığı yani bekleme kısıtının olmadığı problemi ele almışlardır. Hazırlık süreleri işlerin işlem süresinden ayrı olarak ele alınmıştır ve bu problemin çözümüne yönelik bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Performans ölçütü toplam akış zamanıdır. Ruiz vd. (2005) yaptıkları çalışmada, permütasyon akış tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Toplam tamamlanma zamanını enküçüklemeyi amaçlayan probleme yönelik, iki gelişmiş genetik algoritma önermişlerdir.

2.2.4. Sıra bağımlı hazırlık süreli atölye tipi çizelgeleme problemleri

Kim ve Bobrowski (1994), yaptıkları çalışmada atölye tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin üretim üzerindeki etkisini araştırmak istemişlerdir. 9 makineli atölye tipi çizelgeleme probleminin simülasyonu yapılmıştır. Cheung ve Zhou (2001) yaptıkları çalışmada sıra bağımlı hazırlık süreli genel atölye tipi çizelgeleme problemleri için genetik algoritma ve sezgisel kuralların entegrasyonu ile oluşturulan hibrit algoritma önermişlerdir. Önerilen hibrit algoritmanın, daha önceden bu probleme yönelik önerilen yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Naderi vd. (2009) hazırlık sürelerini ve koruyucu bakım faaliyetlerini göz önüne alan problemin çözümü için, tavlama benzetimi ve genetik algoritmalara dayalı ve literatürde yer alan farklı iki metasezgiselin uyarlanmasıyla, dört farklı metasezgisel algoritma kullanmışlardır. Amaç fonksiyonu toplam tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir.

3. TEORİK BİLGİ

Bu tez kapsamında 10.3 Sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi incelenmiştir. İlgili probleme ait model ve parametreler aşağıdaki gibidir.

3.1. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Ait Matematiksel Model

Kümeler

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ iş kümesi

$M = \{1, 2, \dots, m\}$ makine kümesi

İndisler

i or $j \in N$, i ve j iş indisleri

$k \in N$, işin sırasını ifade eden indis

$l \in M$, makine indisi

Parametreler

n : iş sayısı

m : makine sayısı

p_j : j . işin işlem süresi

h_j : eğer j . iş ilk sıradaysa hazırlık süresi

s_{jk} : eğer j . iş k . işten önce geliyorsa, k . işin sıra bağımlı hazırlık süresi

M : çok büyük pozitif bir sayı

Karar Değişkenleri

C_j : l . makinede j . işin tamamlanma zamanı

C_{max} : bütün makinelerdeki işlerin tamamlanma zamanı

$$y_{jkl} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j. \text{ iş } l. \text{ makinede } k. \text{ sıraya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$z_{ijkl} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j. \text{ iş } l. \text{ makinede } k. \text{ sıraya atanırsa ve } i. \text{ işten sonra gelirse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu

$$\text{enk } z = C_{\max} \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$C_j \geq p_j \quad \forall j \in N \quad (3.2)$$

$$C_j + M(1 - y_{j1l}) \geq h_j + p_j \quad \forall i \neq j, k = 1, i, j, k \in N, l \in M \quad (3.3)$$

$$C_j - C_i + M(1 - z_{ijkl}) \geq s_{ij} + p_j \quad \forall i \neq j, k > 1, i, j, k \in N, l \in M \quad (3.4)$$

$$1 + z_{ijkl} \geq y_{ik-1l} + y_{jkl} \quad \forall i \neq j, k > 1, i, j, k \in N, l \in M \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in N} y_{jkl} \leq 1 \quad \forall k \in N, l \in M \quad (3.6)$$

$$\sum_{k \in N} \sum_{l \in M} y_{jkl} = 1 \quad \forall j \in N \quad (3.7)$$

$$C_{\max} \geq C_j \quad \forall j \in N, l \in M \quad (3.8)$$

$$y_{jkl} \in \{0,1\} \quad \forall j, k \in N, l \in M \quad (3.9)$$

$$z_{ijkl} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k \in N, l \in M \quad (3.10)$$

Kısıt (3.1) amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Tüm makinelerdeki son işlerin en fazla tamamlanma zamanının enküçüklenmesidir. Kısıt (3.2), j . işin tamamlanma zamanının j . işin işlem zamanından büyük ya da eşit olmasını garanti eder. (3.3) numaralı kısıt, her l makinesi için ilk sıradaki işin tamamlanma zamanını hesaplar. (3.4). Kısıt l . makinenin k . sırasındaki işin ($k > 1$) tamamlanma zamanını hesaplar. Kısıt (3.5), z_{ijkl} ve y_{jkl} karar değişkenleri arasındaki ilişki kısıtıdır. Kısıt (3.6) l . makinedeki her sıraya sadece bir işin

atanabileceğini belirtir. Kısıt (3.7), bir işin bir makinenin sadece bir sırasına atanabileceğini gösterir. Kısıt (3.8), Son işin tamamlanma zamanını hesaplar. Kısıt (3.9) ve kısıt (3.10) işaret kısıtlarıdır.

3.2. Genetik Algoritma

Literatürde çizelgeleme problemlerinin çözümüne yönelik farklı metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları: yasaklı arama algoritması, karınca kolonisi algoritması, genetik algoritma, tavlama benzetimi, hibrit algoritmalar, yapay bağışıklık sistemi, parçacık sürü eniyileme algoritması yapay sinir ağları vb. İzleyen bölümde bu yöntemlerden genetik algoritmanın genel yapısından bahsedilecektir.

3.2.1. Genetik algoritmanın genel yapısı

Genetik algoritma (GA) ilk olarak Holland (1975) tarafından çalışılmıştır. Genetik algoritmanın formu ise Goldberg (1989) tarafından geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar, doğal seçime ‘doğal kalıtıma’ dayalı stokastik arama tekniğidir ve popülasyon tabanlı bir metasezgisel algoritmadır. GA, geleneksel arama tekniklerinden farklılaşmaktadır çünkü popülasyon adı verilen başlangıç rassal çözümler kümesi ile başlamaktadır. Populasyondaki her bireye kromozom adı verilir. Kromozom bir sembol dizisidir ve eldeki problemin bir çözümüne karşı gelmektedir. Kromozomlar başarılı iterasyonlar ile evrim geçirerek nesilleri oluşturur. Her bir nesil boyunca, bazı uyum ölçümleri ile kromozomlar değerlendirilir. Yeni nesili oluşturmak için yavru adı verilen yeni kromozomlar, 2 şekilde oluşturulur:

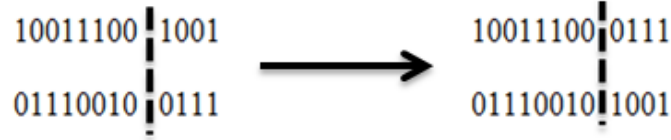
- 1) Çaprazlama operatörü kullanılarak güncel nesilden 2 tane kromozom birleştirilir.
- 2) Mutasyon operatörü kullanılarak kromozom değiştirilir.

Daha uyumlu kromozomların seçilme olasılıkları daha yüksektir. Farklı nesillerden sonra algoritma, eniyi kromozoma yakınsar. Yakınsanan bu kromozom eniyi ya da yereleniyi çözüme karşı gelebilir. GA’ da sadece 2 tür işlem yapılmaktadır:

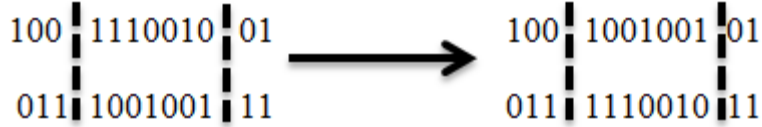
- 1) Genetik işlemler: çaprazlama ve mutasyon
- 2) Evrim işlemi: seçim

GA’ nın performansı çaprazlama operatörünün performansına büyük ölçüde bağlıdır. Çaprazlama oranı: Her nesilde üretilen yavru sayısı / popülasyon boyutu olarak tanımlanmaktadır. Çaprazlama oranının yüksek olması, çözüm uzayının daha fazla kısmının

aranmasına olanak tanır ve yerel eniyiye takılma olasılığını azaltır. Ama bu oran çok yüksek olursa, hasaplamada fazla zaman kaybı da olabilir. Arama uzayının eniyiliğinden uzak yerlerinde dolaşılır. Örneğin Şekil 3.1’de tek noktadan çaprazlama ve Şekil 3.2’de ise iki noktadan çaprazlama gösterilmiştir:



Şekil 3.1. Tek noktadan çaprazlama



Şekil 3.2 İki noktadan çaprazlama

Mutasyon operatörü ise algoritmada çeşitlendirmeyi sağlar ve farklı genlerde rassal olarak değişimler üretir. Böylelikle 1 veya birden fazla gen değiştirilir. Mutasyona ihtiyaç duyulmasının sebebi, nesiller ilerledikçe popülasyonun gen havuzu durağanlaşmasıdır. Populasyonda yeni karakteristik özelliklere sahip kromozomların oluşması engellenmiş olur. Bu yüzden algoritma yerel eniyi noktalara takılabilir. Mutasyon oranı yüksek olduğunda GA, rassal aramaya dönüşür.

3.2.2. Evrimsel seçim

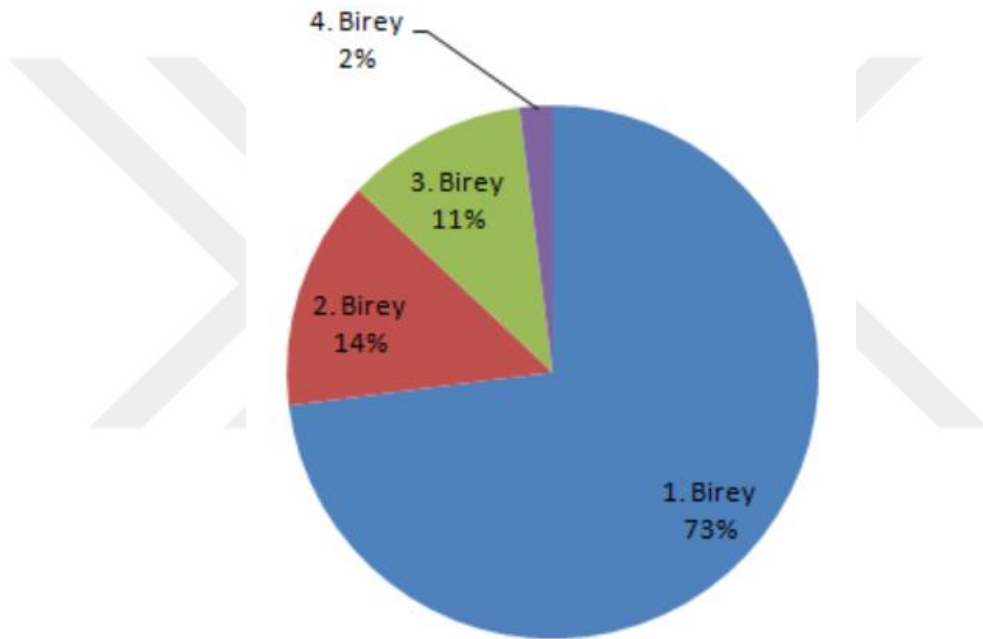
Seçim yöntemleri çaprazlama için ebeveynleri belirlemektedir. Seçilen bireyler, gen karakterlerini sonraki nesillere aktarmaktadır. GA’da farklı seçim yöntemleri bulunmaktadır (Talbi, 2009) Rulet tekeri seçimi, rassal evrensel örnekleme, turnuva yöntemi ve sıra tabanlı seçim bunların başlıcalarıdır.

Rulet tekeri seçiminde her bir bireyin uyum değeri hesaplanır (f_i). Bu durumda, her bir bireyin seçilme olasılığı p_i :

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j}$$

olarak hesaplanır. n adet eleman seçmek için rulet tekeri (en az n kere döndürülür.) Her bir bireyin seçilme olasılığı vardır ama bazıları daha şanslıdır. f_i değerinin seçimi çok kritik bir konudur. Rulet sadece bir tane değer seçer (bir tane ibre vardır) . Örneğin:

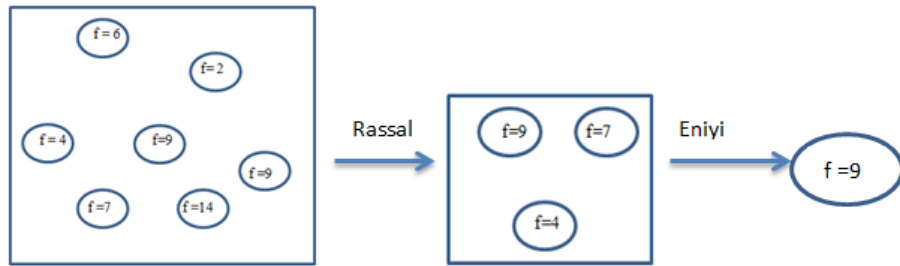
Kromozom:	1	2	3	4
Uyum değeri:	73	14	11	2



Şekil 3.3. Rulet tekeri seçimi

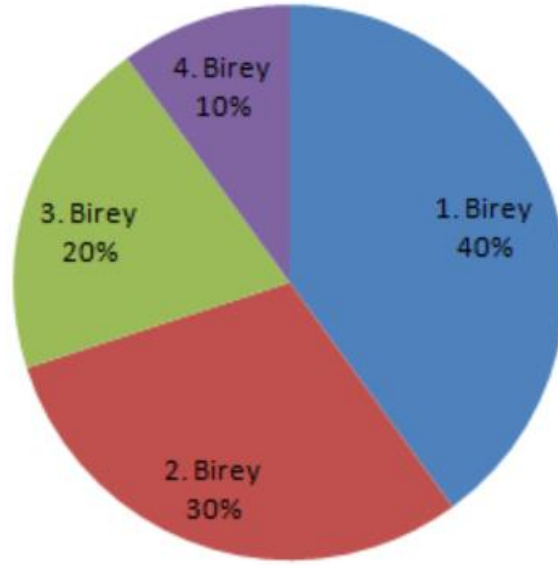
Rassal evrensel örnekleme rulet tekeri seçimindeki yanlılığı azaltmak için kullanılır. m adet ibre bulunmaktadır. Bu ibreler birbirlerine rulette eşit mesafededir. Bu yüzden seçimde her kromozoma eşit olasılık verilmiş olur.

Turnuva yönteminde her seferinde rassal olarak k adet birey seçilir (k , turnuva büyüklüğüdür). Eniyi uyum değeri olan birey seçilir. Eğer n adet birey seçmek istersek, n kere k adet birey seçip her turnuvayı eniyi uyum değerine sahip bireyi seçilir. Bu yöntemde n ve k parametreleri dikkatli seçilmelidir. Yöntemin akışı Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Örnekte $k = 3$ alınmıştır. İlk karede popülasyon yer almaktadır ve bu popülasyondan 3 tane çözüm seçilmiştir. Daha sonra bu çözümlerden eniyi uyum değerine sahip olan çözüm belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Turnuva seçimi

Sıra tabanlı seçimde bireyin uyum değeri yerine bireyin sırası (rankı) kullanılır. Yüksek rankı olan bireylere eğilim olur. Bu seçim yönteminde bireylerin seçilme olasılıkları uyum derecelerinin sıralamasıyla orantılıdır.



Şekil 3.5. Sıra tabanlı seçim

Genetik algoritmanın genel akışı aşağıda verilmiştir:

Adım 1) Başlangıçta, problem için uygun olan kromozom gösterimine, seçim metoduna, çaprazlama ve mutasyon yöntemlerine karar verilir.

Adım 2) Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ve mutasyon olasılığı, iterasyon sayısı gibi parametreler belirlenir.

Adım 3) Kromozomlar rassal olarak türetilir ve başlangıç popülasyonu oluşturulur.

Adım 4) Her bir kromozoma ait uyum değeri hesaplanır.

Adım 5) Yeni popülasyon için belirlenen seçim yöntemine göre ebeveynler seçilir ve çaprazlama- mutasyon işlemleri yapılır. Yeni popülasyon oluşturulur.

Adım 6) Yeni popülasyon oluşturulduktan sonra 3. , 4. , 5. adımları, iterasyon sayısına kadar devam ettirilir.

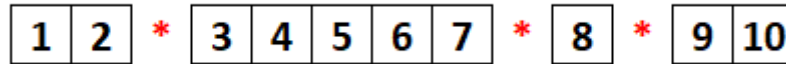
Adım 7) İterasyon sayısına ulaşıldığında son popülasyondaki en iyi uyum değerine sahip kromozom problemin çözümü olarak seçilir.

3.3. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Yönelik Klasik Genetik Algoritma Uygulaması

3.3.1. Kromozom Tasarımı

Cheng ve Gen'in önerdiği klasik GA' da tanımlanan kromozom gösteriminde n iş m makine söz konusu olduğunda kromozom uzunluğu $n+m-1$ olmaktadır (1995). İş numaraları kromozomda aynen kullanılıyorken makineler * (asteriks) karakteri ile gösterilmektedir. Birinci *'a kadar olan işler birinci makineye atananları, ikinci *'a kadar olan işler ise ikinci makineye atananları ve son *'dan sonra olan işler ise son makineye atılan işleri simgeler.

Örnek olarak on iş, dört makine için kromozom yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir:



Şekil 3.6. Cheng ve Gen'in kromozom gösterimi

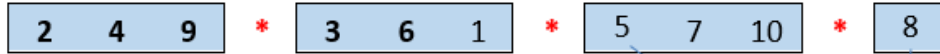
3.3.2. Seçim

Seçim için ikili turnuva yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde popülasyon içerisinde rassal olarak iki kromozom seçilir ve uyum değerleri kıyaslanır. Uyum değeri yüksek olan birey çaprazlama için seçilir.

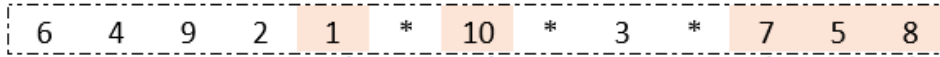
3.3.3. Çaprazlama

Cheng ve Gen'in (1995) önerdiği klasik GA' da çaprazlama operatörü izleyen şekilde tariflenmiştir. Çaprazlama için kromozom üzerinde en küçük 1 en fazla $n+m-1$ olacak şekilde, rassal bir nokta seçilir. Birinci kromozomda bu noktaya kadar olan değerler aynen alınır. Bu noktadan sonraki işler ise birinci kromozomdaki makine ataması sabit kalacak şekilde ikinci kromozomdaki sırası ile yerleştirilir.

1.Ebeveyn



2.Ebeveyn



Yavru

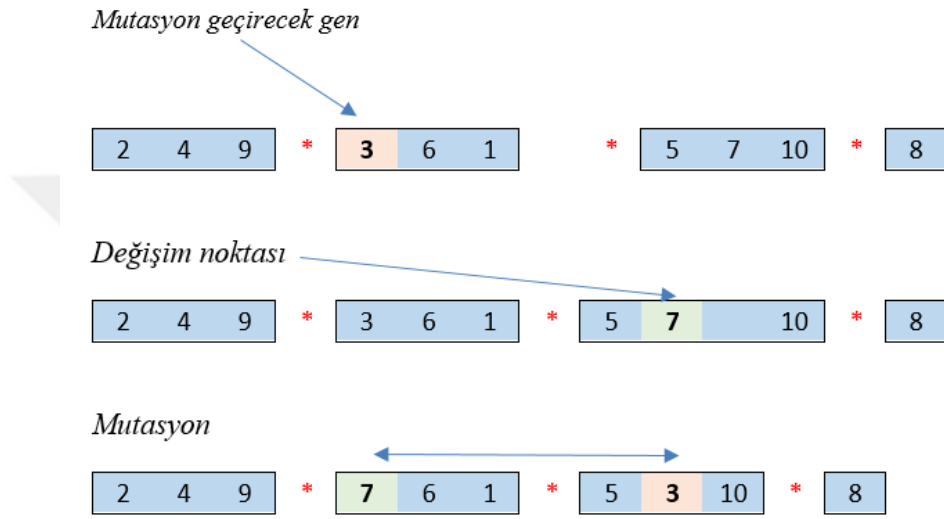


Şekil 3.7. Cheng ve Gen'in yönteminde kromozom çaprazlama

3.3.4. Mutasyon

Mutasyon operatörü olarak *swap* ve *insert* yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında bu iki yöntem de kullanılmıştır.

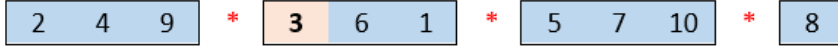
Swap operatüründe her gene bir mutasyon şansı verilir. Başarılı olan gen için rassal bir nokta seçilerek bu nokta ile yerleri değiştirilir.



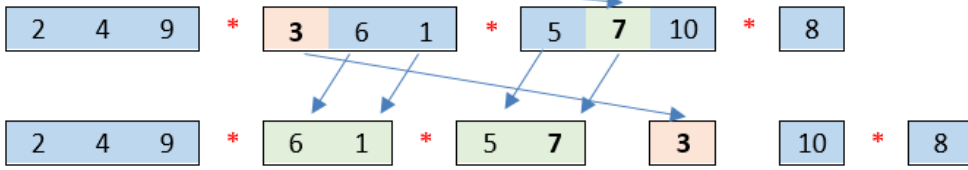
Şekil 3.8. Cheng ve Gen'in yönteminde kromozom mutasyonu - *swap*

Insert operatöründe her gene bir mutasyon şansı verilir. Başarılı olan gen için rassal bir noktaya taşınarak aradaki genler kaydırılır.

Mutasyon geçirecek gen



Değişim noktası



Mutasyon



Şekil 3.9. Cheng ve Gen'in yönteminde kromozom mutasyonu - insert

3.4. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Yönelik Geliştirilen İşlere Ait Kısımın Rassal Anahtar ile Gösterildiği Kromozom Tasarımı ile Genetik Algoritma Uygulaması

Cheng ve Gen'in önerdiği yöntemde (1995) iki kromozomun çaprazlanması esnasında ilk kromozomdaki makinelere atanan iş sayıları sabit tutulduğundan yeterli değişkenlik sağlanamayabilmektedir. Bu noktada bir iyileştirme yapabilmek adına kromozom tasarımı üzerinde değişiklik yapılabileceği düşünülmüştür. Her çaprazlama ve mutasyon sonrası kromozomun uygun çözüm olup olmadığının kontrolünü yapmak ya da özel çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanmak yerine her çaprazlamanın sonucunun uygun bir çözümü tarif ettiği ve çaprazlamaların makine atamalarının üzerinde de değişiklik sağladığı bir yöntem düşünülmüştür. Paralel makine çizelgeleme problemlerinde özdeş makineler ile çalışıldığından hangi makineye işlerin atandığındansa makine kombinasyonları önemlidir.

3.4.1. Kromozom Tasarımı

$n=5$ $m=3$ için

1-2-3-4-5 işlerini göz önüne alındığındaki durum Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

<i>Kromozom1</i>	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table> * <table><tr><td>4</td></tr></table> * <table><tr><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5
1	2	3				
4						
5						
<i>Kromozom2</i>	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table> * <table><tr><td>5</td></tr></table> * <table><tr><td>4</td></tr></table>	1	2	3	5	4
1	2	3				
5						
4						
<i>Kromozom3</i>	<table><tr><td>4</td></tr></table> * <table><tr><td>5</td></tr></table> * <table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	4	5	1	2	3
4						
5						
1	2	3				
<i>Kromozom4</i>	<table><tr><td>5</td></tr></table> * <table><tr><td>4</td></tr></table> * <table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	5	4	1	2	3
5						
4						
1	2	3				
<i>Kromozom5</i>	<table><tr><td>4</td></tr></table> * <table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table> * <table><tr><td>5</td></tr></table>	4	1	2	3	5
4						
1	2	3				
5						
<i>Kromozom6</i>	<table><tr><td>5</td></tr></table> * <table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table> * <table><tr><td>4</td></tr></table>	5	1	2	3	4
5						
1	2	3				
4						

Şekil 3.10. Eşdeğer çözüm değerine sahip kromozomlar

Aynı çözüm Şekil 3.11'deki kromozom ile de gösterilebilir.

3	1	1	1	2	3	4	5
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

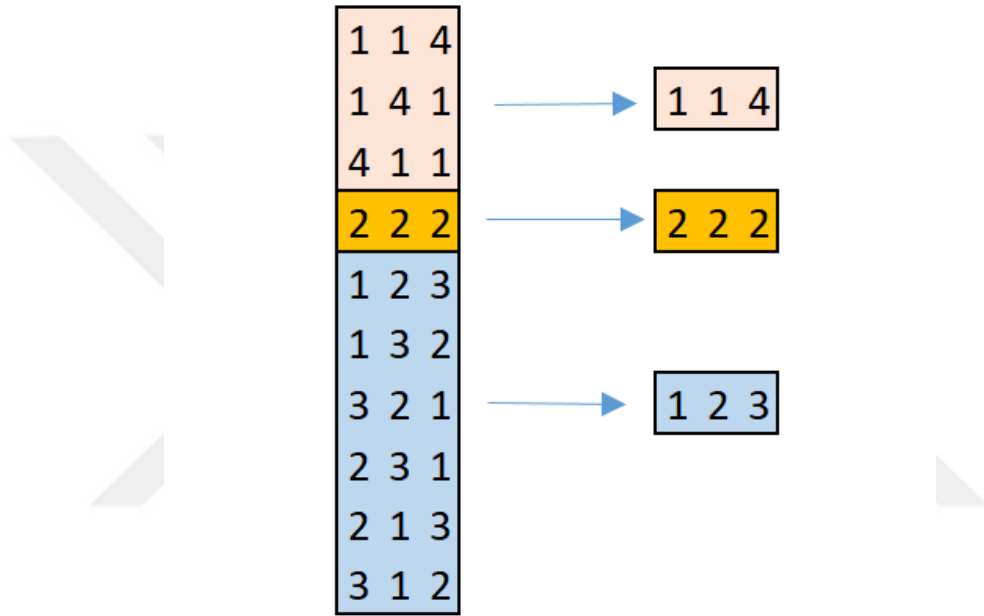
Şekil 3.11. Alternatif kromozom gösterimi

Kromozomun ilk kısmı makinelere atanan iş sayısını, ikinci kısım ise iş sıralarını göstermektedir. Yani;

1. Makinede 1-2-3
2. Makinede 4
3. Makinede 5 işleri yapılacaktır.

Ancak yine de çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygun çözümler oluşturup oluşturmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu problemi giderebilmek için 2 kromozom parçasının daha farklı gösterilmesi gerekmektedir.

n iş m makine için yapılabilecek makine atama sayısı belirlidir. Örneğin 6 makine 3 iş için Şekil 3.12’de gösterildiği gibi olası makine atama kombinasyonlarının sayısı 10 adettir. Fakat iş sıraları aynı olduğunda benzersiz çözüm sayısı aslında 3 adettir. Yani önerilen GA kromozom yapısında, sadece bu 3 çözümü değerlendirecek kromozom yapısı tasarlanmıştır. Bu da aynı çözüme denk gelen fazladan çözümlerin elenmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 3.12 6 iş 3 makine için atama kombinasyonları

Herhangi n iş m makine için, bu atama kombinasyonlarını bulacak bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın yapısı aşağıda verilmiştir. 3.13’te ise algoritmanın ilerleyişi gösterilmiştir.

n : referans değer

i = iş sayısı

m = makine sayısı

Adım-1) $n = i - (m-1)$ olarak hesapla

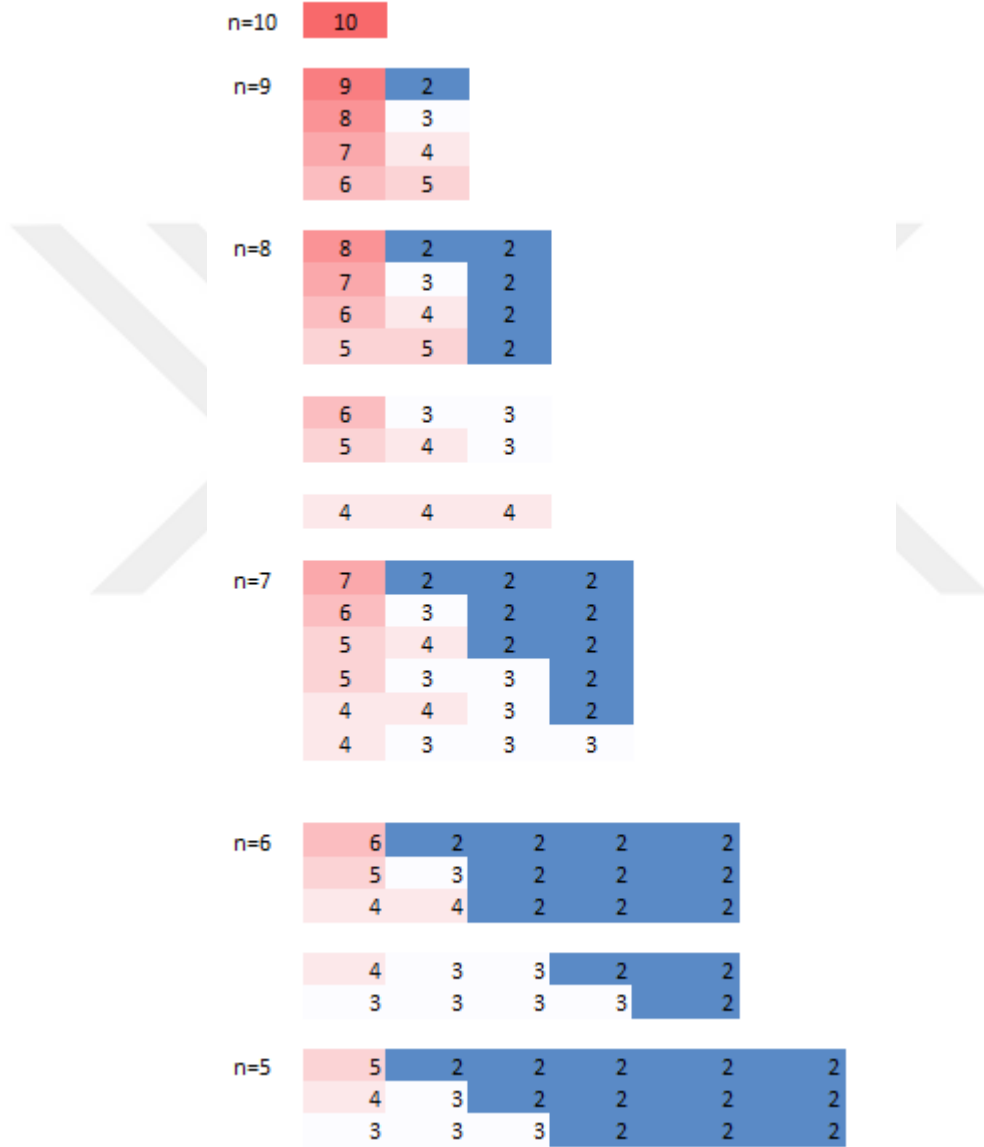
Adım-2) m kadar sütun türet, güncellenecek sütun sayısını 1 olarak belirle

Adım-3) Güncellenecek sütuna n değerini ata, 1 azalt

Adım-4) Eğer arttırılan sütunun 1 fazlası ilk sütun değerinin 1 eksiğinden küçükse arttırabildiğin ilk sütunu 1 arttır.

Adım-5) Arttıracak sütun yoksa arttırılacak sütunların sayısını 1 arttır, $n=n-1$ olarak güncelle , Adım 3'e git.

Adım-6) Eğer arttırılacak sütun yoksa dur.



Şekil 3.13. Türetme algoritmasının ilerleyişi

<u>1</u>	10	1	1	1	1	1
<u>2</u>	9	2	1	1	1	1
<u>3</u>	8	3	1	1	1	1
<u>4</u>	7	4	1	1	1	1
<u>5</u>	6	5	1	1	1	1
<u>6</u>	8	2	2	1	1	1
<u>7</u>	7	3	2	1	1	1
<u>8</u>	6	4	2	1	1	1
<u>9</u>	5	5	2	1	1	1
<u>10</u>	6	3	3	1	1	1
<u>11</u>	5	4	3	1	1	1
<u>12</u>	4	4	4	1	1	1
<u>13</u>	7	2	2	2	1	1
<u>14</u>	6	3	2	2	1	1
<u>15</u>	5	4	2	2	1	1
<u>16</u>	5	3	3	2	1	1
<u>17</u>	4	4	3	2	1	1
<u>18</u>	4	3	3	3	1	1
<u>19</u>	6	2	2	2	2	1
<u>20</u>	5	3	2	2	2	1
<u>21</u>	4	4	2	2	2	1
<u>22</u>	4	3	3	2	2	1
<u>23</u>	3	3	3	3	2	1
<u>24</u>	5	2	2	2	2	2
<u>25</u>	4	3	2	2	2	2
<u>26</u>	3	3	3	2	2	2

Şekil 3.14. Algoritmanın döngüsel ilerleyişi ve olası tüm çözümlerin gösterimi

Şekil 3.14'te iş sıralarının aynı kaldığı düşünüldüğünde 15 iş 6 makine için 26 adet çözüm vardır. 26 bitlik veriyi taşıyabilecek ikilik sistemde oluşturulmuş bir kromozom tasarımı söz konusu olabilir. Ancak ikilik sistemde oluşturulan kromozomlar 2'nin kuvvetlerine eşit bit değerine sahip çözümleri tamamen temsil etmektedir. Şekil 3.14'te olduğu gibi bu duruma uymayan değerlerin de ikilik sistemde bir kromozomla temsil edilebilmesi için öncelikle çözümlerin eşit temsiliyetini bozmamak adına büyük boyutlu bir kromozom seçilmiştir. Bu kromozom 2^0 ile 2^{12} arasındaki bütün değerleri içermektedir. 1-26 arasındaki çözüm değerlerine dönüştürülmesi için aşağıdaki kromozom temsiliyet algoritması oluşturulmuştur.

Kromozomun temsil edileceği ikilik sistem dönüşümü için bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın yapısı aşağıda verilmiştir.

Adım-1) Olası çözümlerin sayısını bul

Adım-2) İkilik sistemde eşit temsiliyeti bozmayacak bir boyut seç

Adım-3) Bu boyuttaki kromozomun alabileceği en fazla değeri olası çözüm sayısına böl

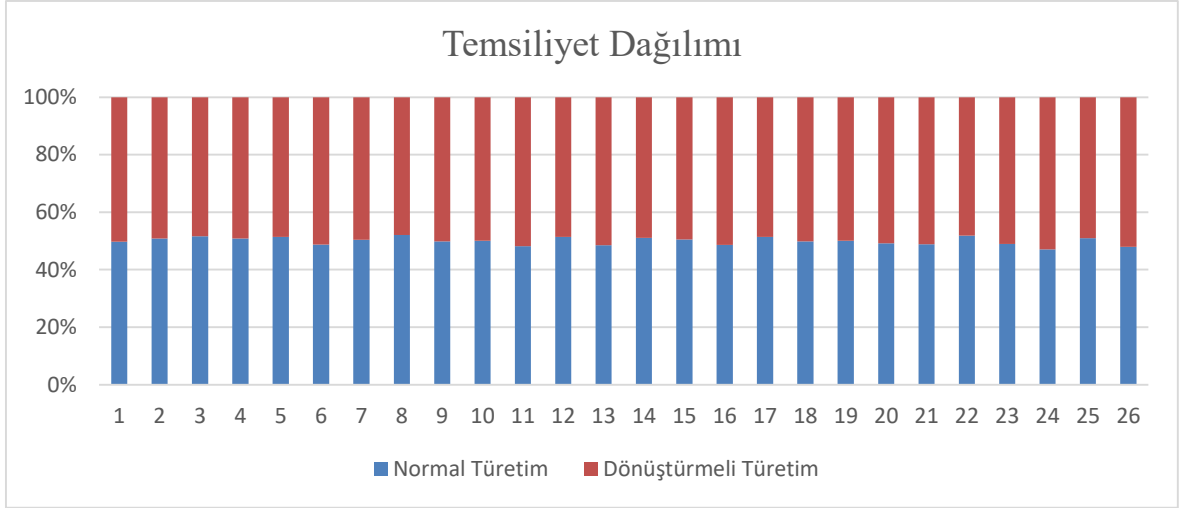
Adım-4) Rassal olarak kromozomlar oluşturulmaya başlandığında çıkan değeri Adım-3'te hesaplanan değere böl, yukarı yuvarla

Adım-5) Adım-4'te elde edilen değer karşılığından kromozomun ilgili makine atamasını bul.

Bu algoritma sayesinde her zaman kromozom ile elde edilecek değer, istenen aralıkta olacaktır. Çözümlerin bu yöntemle eşit temsil edilip edilmediğini kontrol etmek amacı ile 1-26 arasında 20704 adet rassal sayı türetilmiştir. Bu sayılar kromozom olarak düşünüldüğünde her benzersiz çözüm başına 796,31 kromozom düşmelidir. Dönüştürmeli türetimde ise 1-4095 arasında sayılar türetilip $4095/26 = 157,5$ sayısına bölünmüş ve yukarı yuvarlanmıştır. Çizelge 3.1'de iki yöntemle de elde edilen 20704 adet çözüm, ortalamaları ve standart sapmaları Şekil 3.15'te ise kromozom temsiliyet dağılım grafiği verilmiştir. Bu tabloya göre rassal olarak değerlerin eşit temsil edildiği söylenebilir.

Çizelge 3.1. Temsiliyet frekans tablosu

Çözüm No	Normal Türetim	Dönüştürmeli Türetim
1	812	822
2	792	767
3	793	742
4	817	790
5	779	736
6	783	825
7	816	804
8	819	752
9	787	792
10	820	819
11	762	818
12	827	781
13	783	832
14	827	791
15	802	785
16	754	798
17	868	820
18	794	800
19	792	790
20	774	801
21	803	841
22	830	772
23	790	824
24	727	819
25	809	777
26	744	806
Standart Sapma	29,33	26,77
Ortalama	796,31	796,31



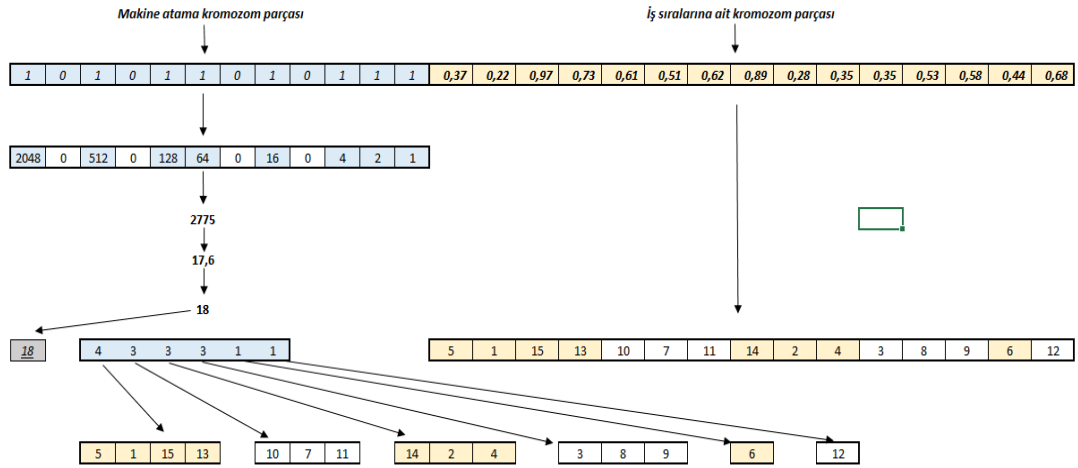
Şekil 3.15. Kromozom Temsiliyet Dağılım Grafiği

İşlere ait kısımda çaprazlama işlemlerinin kolay yapılabilmesi amacı ile rassal anahtar gösterimi tercih edilmiştir (Bean, 1994). Bu gösterimde $[0,1]$ arasında iş sayısı kadar rassal değerler türetilir. Örneğin 6 iş için rassal değerler türetildiğinde ve küçükten büyüğe sıralandığında en küçük iş 1 numaralı iş ve en büyük iş 6 nolu iş olacak biçimde Şekil 3.16'daki gibi sıralanır. Sıralama işlemi Hoare (Hoare, 1961) tarafından geliştirilen hızlı sıralama algoritması (Quick sort) kullanılarak sıralanmıştır.

Rassal anahtar	0,61	0,54	0,02	0,76	0,95	0,32
Karşılık iş no	4	3	1	5	6	2

Şekil 3.16. Rassal anahtar dönüşümü

Böylece kromozomun uyum fonksiyonu değeri Şekil 3.17'de gösterildiği gibi hesaplanır.



Şekil 3.17. Yeni yöntemde kromozom gösterimi

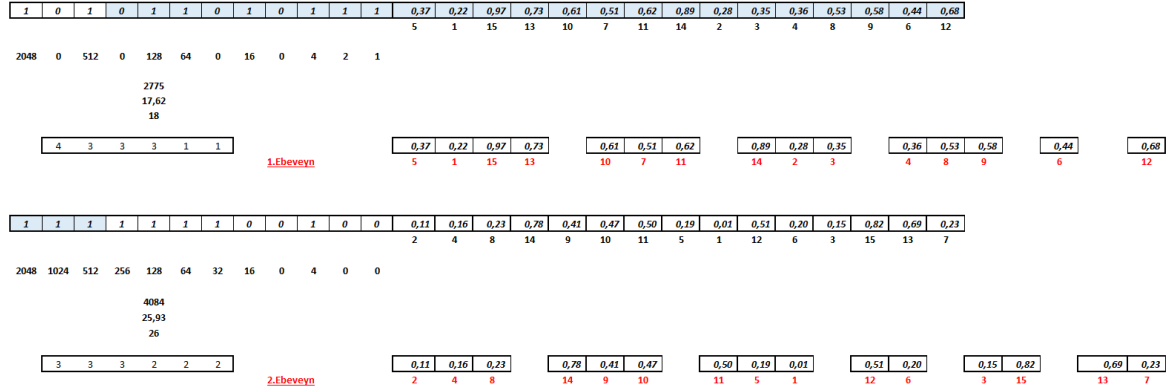
3.4.2. Seçim

Seçim için ikili turnuva yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde popülasyon içerisindeki rassal olarak iki birey seçilir ve uyum değerleri kıyaslanır. Uyum değeri yüksek olan birey çaprazlama için seçilir.

3.4.3. Çaprazlama

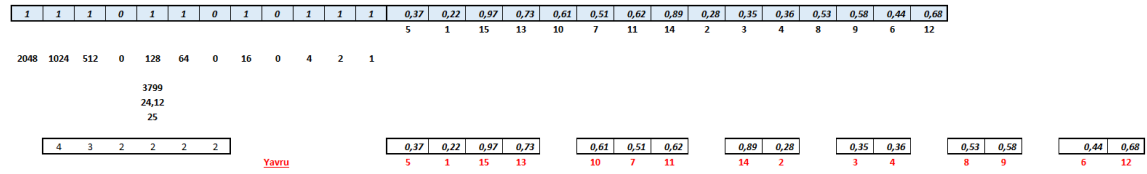
Çaprazlama işlemi kromozom üzerinde rassal olarak belirlenen herhangi bir nokta/noktalar seçilerek başka hiçbir işleme gerek kalmaksızın gerçekleştirilir. Şekil 3.18 ve 3.20’de çaprazlama yapısı gösterilmektedir. Şekil 3.18’de çaprazlama noktası ilk makine parçasına denk gelmekte Şekil 3.20’de ise iş sıralarına gelmektedir. Ancak her iki durumda da kesilme noktasından oluşan kromozom uygun bir çözümü sağlamaktadır.

Çaprazlama için kesim noktasının kromozomun makine atama kısmına denk geldiği durumda oluşan iş dizilimi 3.18’de gösterilmektedir.



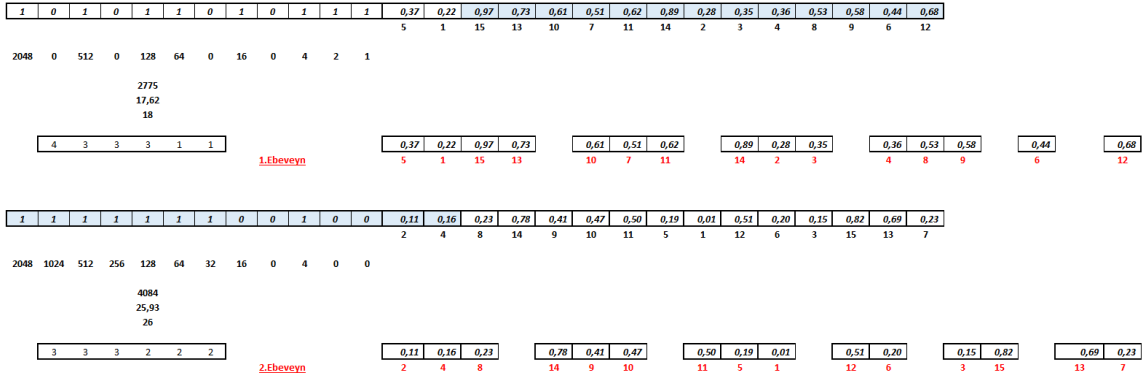
Şekil 3.18. Yeni yöntemde makine atama kısmında çaprazlama

Bu çaprazlama sonucunda oluşan yavru 3.19’da gösterilmiştir.

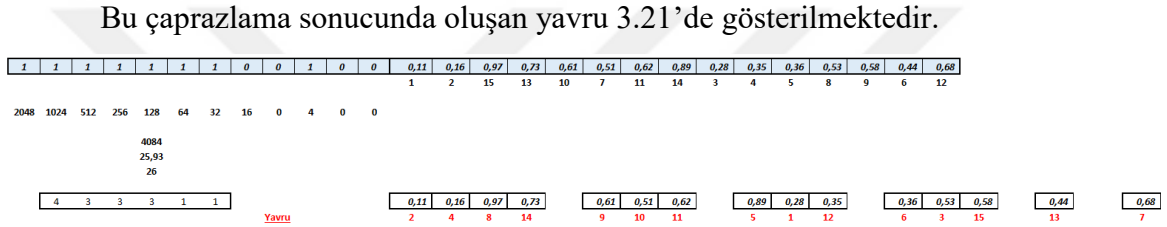


Şekil 3.19. Yeni yöntemde makine atama kısmında çaprazlama sonrası yavru

Çaprazlama için kesim noktasının kromozomun iş dizisi kısmına denk geldiği durumda oluşan iş dizilimi 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Yeni yöntemde iş sıraları kısmında çaprazlama



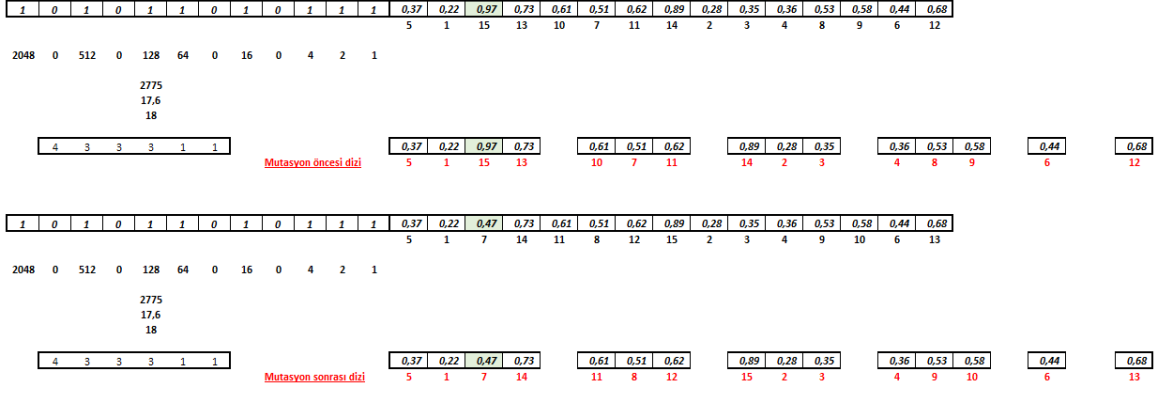
Şekil 3.21. Yeni yöntemde iş sırası kısmında çaprazlama sonrası yavru

Yukarıdaki şekillerde tek noktadan çaprazlama örnekleri verilmiştir. Ancak aynı mantık ile birden fazla noktada da çaprazlama yapılabilir. Bu tez kapsamında iki noktadan çaprazlama işlemi yapılmıştır.

3.4.4. Mutasyon

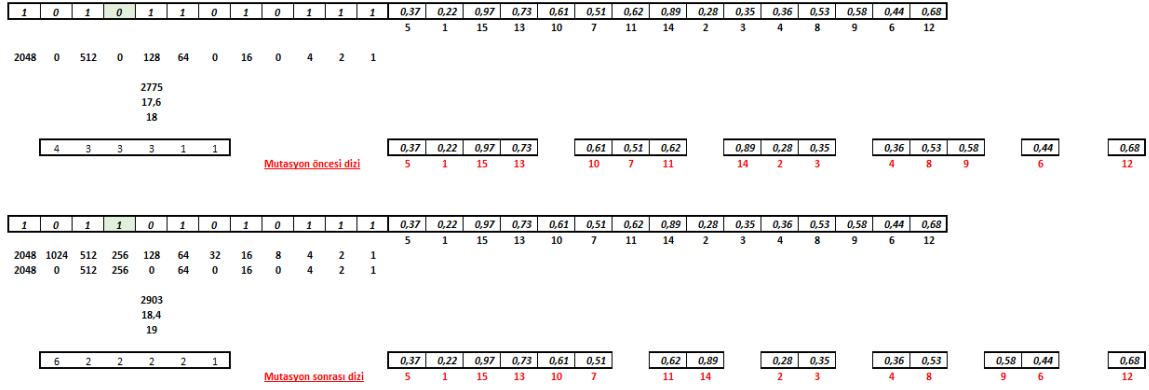
Mutasyon işlemi, genlerin değerlerinin rassal olarak değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Kromozomun ilk parçasında yer alan makine atama kısmındaki 0 olan genler 1 ile, 1 olan genler ise 0 ile değiştirilir. İkinci kısımda ise ilgili gen $[0,1]$ aralığında yeni bir rassal değerle değiştirilir. 3.23’te makine atamalarına ait mutasyon, 3.22’te iş atamalarına ait mutasyon gösterilmiştir. Buna ek olarak, iş atamalarındaki değişkenliği arttırmak için *swap* operatörü kullanılmıştır. 3.24’te bu operatöre ait örnek verilmiştir. Mutasyon işlemi eğer makine atamalarına ait kısımda gerçekleşiyorsa kromozomun en fazla alabileceği değerin, olası kombinasyon sayısı oranını geçmeyecek kısımda gerçekleşmemesi için mutasyon noktasında rassallaştırmada bir kontrol konulmalıdır. Aksi takdirde mutasyon bir değişim yaratmayacaktır.

Yeni yöntem ile 15. gende bir mutasyon olması durumunda değişikliğin nasıl yapılacağı şekil 3.21’de gösterilmiştir.



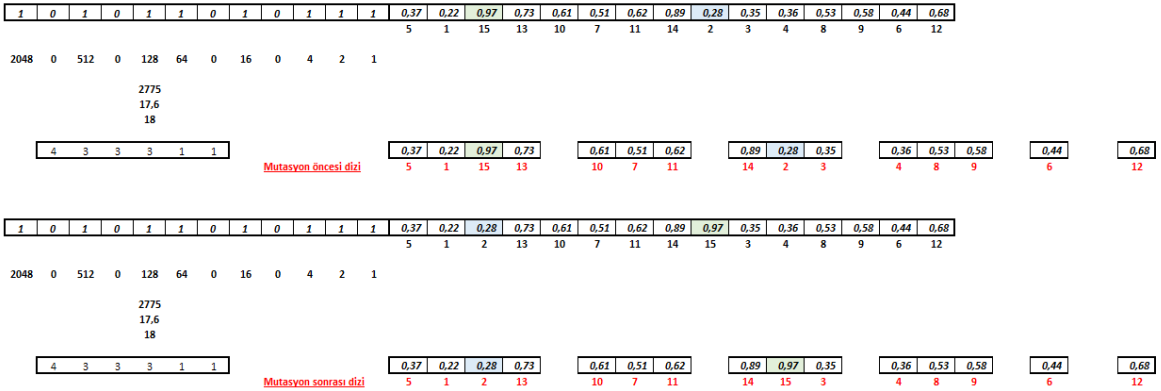
Şekil 3.22. Yeni yöntemde işlere ait kısımda rassallaştırma mutasyonu

Yeni yöntem ile 4. gende bir mutasyon olması durumunda değişikliğin nasıl yapılacağı şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Yeni yöntemde makinelere ait kısımda rassallaştırma mutasyonu

Yeni yöntem ile 13. ve 17. genlerde swap mutasyonu olması durumunda değişikliğin nasıl yapılacağı şekil 3.23’de gösterilmiştir.

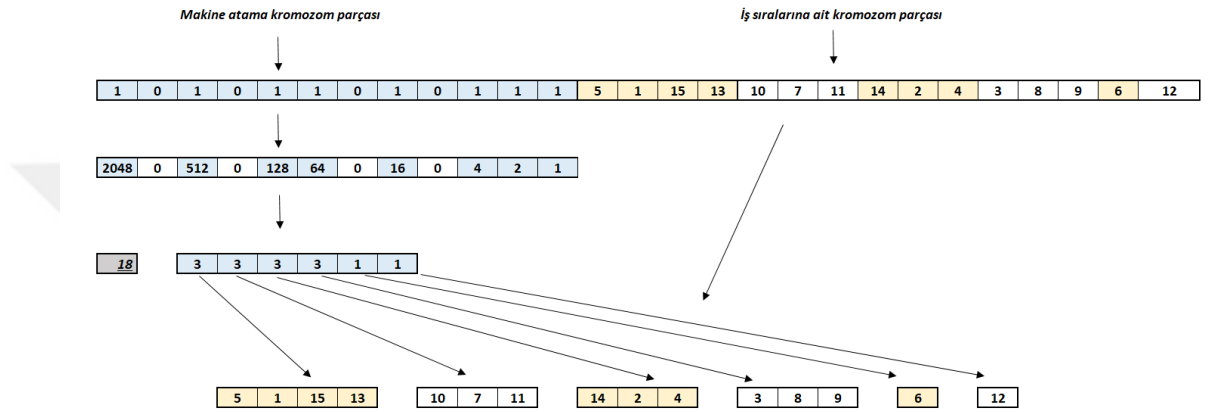


Şekil 3.24. Yeni yöntemde işlere ait kısımda swap mutasyonu

3.5. Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli Paralel Makine Çizelgeleme Problemine Yönelik Geliştirilen İşlere Ait Kısımın Kendi Numaraları ile Gösterildiği Kromozom Tasarımı ile Genetik Algoritma Uygulaması

3.5.1. Kromozom Tasarımı

Bölüm 3.4'teki kromozom tasarımı ile işlere ait kısım dışındaki gösterim tamamen aynıdır. Bu yöntemde işlere ait kısım iş numaraları ile direkt olarak simgelenmiştir.



Şekil 3.25. Yeni yöntem 2’de kromozom gösterimi

3.5.2. Seçim

Seçim için ikili turnuva yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde popülasyon içerisindeki rassal olarak iki birey seçilir ve uyum değerleri kıyaslanır. Uyum değeri yüksek olan birey çaprazlama için seçilir.

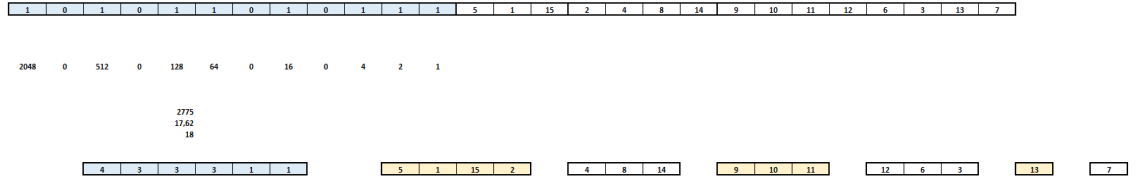
3.5.3. Çaprazlama

Cheng ve Gen’in (1995) önerdiği klasik GA’ da çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Çaprazlama için kromozom üzerinde en küçük 1 en fazla $n+m-1$ olacak şekilde, rassal bir nokta seçilir. Birinci kromozomda bu noktaya kadar olan değerler aynen alınır. Bu noktadan sonraki işler ise ikinci kromozomdaki sırası ile yerleştirilir. Önerilen çaprazlama yöntemine örnek Şekil 3.26’da ve çaprazlama sonucu oluşan yeni kromozom Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.26. Yeni yöntem 2'de çaprazlama

Çaprazlama sonucu oluşan yavru



Şekil 3.27. Yeni yöntem 2'de çaprazlama sonucu oluşan yavru

3.5.4. Mutasyon

Mutasyon operatörü olarak *swap* ve *insert* yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında bu iki yöntem de kullanılmıştır.

Swap operatöründe her gene bir mutasyon şansı verilir. Başarılı olan gen için rassal bir nokta seçilerek bu nokta ile yerleri değiştirilir.



Şekil 3.28. Yeni yöntemde işlere ait kısımda rassallaştırma mutasyonu

Insert operatöründe her gene bir mutasyon şansı verilir. Başarılı olan gen için rassal bir noktaya taşınarak aradaki genler kaydırılır. Önerilen mutasyon yöntemine örnek Şekil 3.28’de ve mutasyon sonucu oluşan yeni kromozom Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29. Yeni yöntemde işlere ait kısımda insert mutasyonu

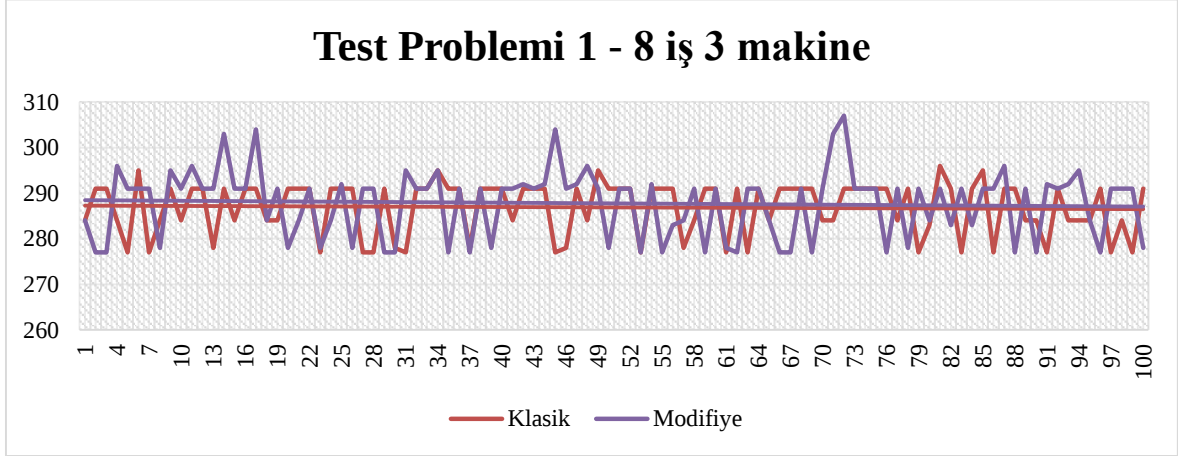
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Klasik genetik algoritma ve yeni geliştirilen genetik algoritma VBA programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Önerilen gösterim şeklini kullanan genetik algoritmasının başarısını göstermek için kullanılan test problemleri rassal olarak türetilmiştir. İşlem süreleri ve hazırlık süreleri için 0-100 aralığında sürekli düzgün dağılım kullanılmıştır. Test problemleri hem klasik hem de önerilen kromozom yapılarını kullanan genetik algoritmalar ile Intel core i7 işlemcili 16 GB RAM'e sahip bilgisayarda 10 adet problem için 100'er defa çözülmüştür. Ayrıca her test problemi iterasyon limiti 8000 saniye belirlenerek GAMS CPLEX çözücüsü ile de çözdürülmüştür. Bölüm 3.4 ve 3.5'te geliştirilen GA'lar Modifiye GA 1 ve Modifiye GA 2 olarak değerlendirilmiştir. Problem boyutları büyük olduğu için en iyi çözüme sadece en küçük boyutlu problemde ulaşılabilmiştir. Çözüm sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Örneğin problem no 9 için klasik genetik algoritma

Çizelge 4.2. – Karşılaştırmalı test problem sonuçları

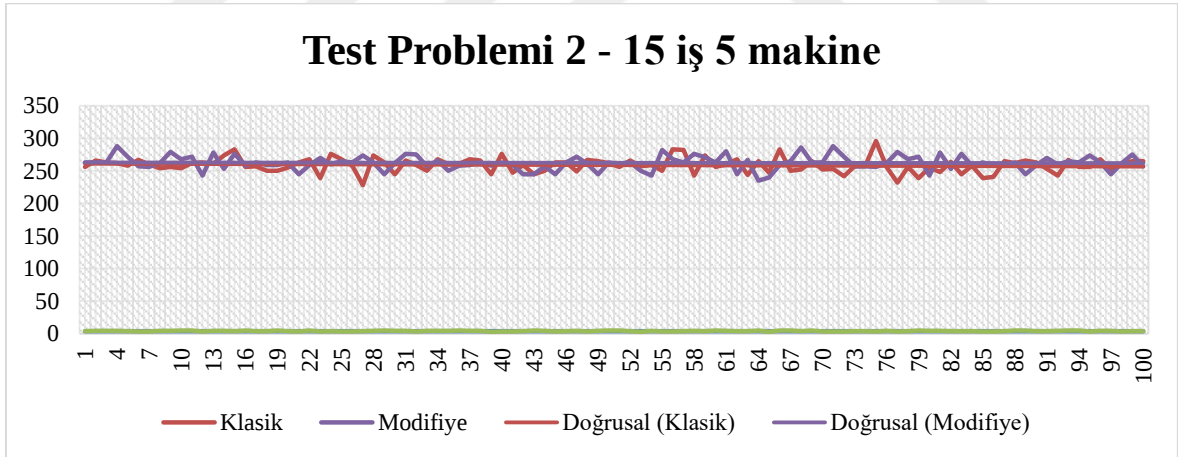
Problem	İş Sayısı	Makine Sayısı	Populasyon Büyüklüğü	İterasyon Sayısı	Mutasyon Olasılığı	Çaprazlama Olasılığı	Klasik GA		Modifiye GA 1		Modifiye GA 2		GAMS (iterlim 8000 sn) MIP çözüm Değeri	Relative GAP
							Ortalama Süre(sn)	Ortalama Çözüm Değeri	Ortalama Süre(sn)	Ortalama Çözüm Değeri	Ortalama Süre(sn)	Ortalama Çözüm Değeri		
1	8	3	50	1000	1%	80%	2,10	286,84	3,03	287,73	3,03	288,98	277,00	-
2	15	5	50	1000	1%	80%	3,74	258,70	4,07	262,25	4,03	259,01	317,00	0.93
3	15	6	50	1000	1%	80%	3,53	229,42	4,85	231,99	4,90	230,35	306,00	0.93
4	18	8	50	1000	1%	80%	4,19	255,19	4,84	231,36	4,94	235,99	251,00	0.91
5	19	8	50	1000	1%	80%	4,43	272,42	5,17	228,54	5,07	233,11	315,00	0.94
6	20	8	50	1000	1%	80%	4,56	281,04	5,55	249,76	5,66	249,76	294,00	0.95
7	20	9	50	1000	1%	80%	4,74	266,24	5,56	230,62	5,67	235,23	316,00	0.93
8	20	10	50	1000	1%	80%	4,82	252,28	5,76	215,95	5,88	211,63	298,00	0.92
9	25	7	50	1000	1%	80%	5,29	366,61	5,83	326,81	5,95	330,08	371,00	0.97
10	25	8	50	1000	1%	80%	5,31	333,49	6,01	291,47	6,01	288,56	442,00	0.94

4.1’de 8 makine 3 iş için elde edilen sonuçlar görünmektedir. Bu problemde iki yöntem arasında belirgin bir farklılıktan bahsetmek güçtür.



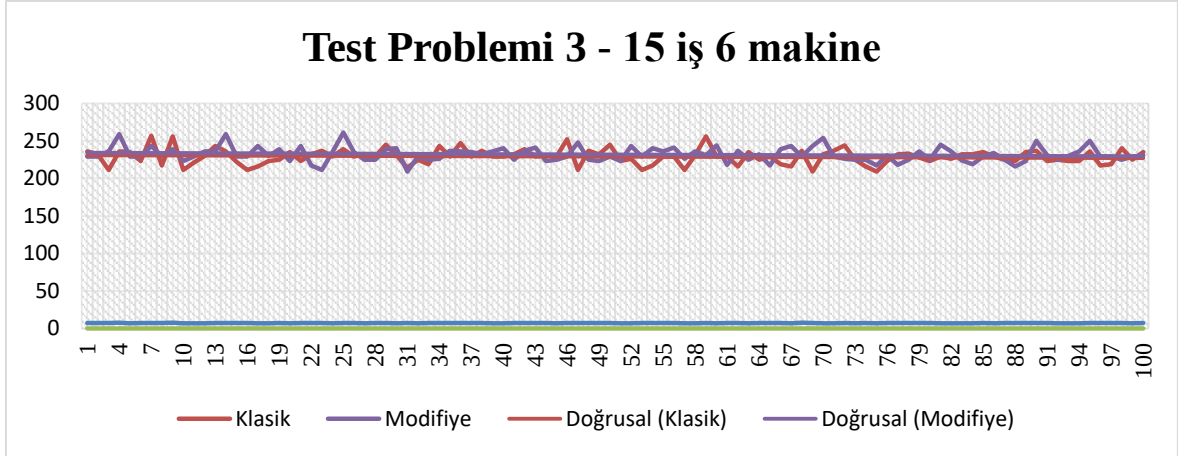
Şekil 4.1. 8 iş 3 makine için algoritma kıyaslaması

4.2’de 15 makine 5 iş için elde edilen sonuçlar görünmektedir. Bu problemde de iki yöntem arasında belirgin bir farklılıktan bahsetmek güçtür.



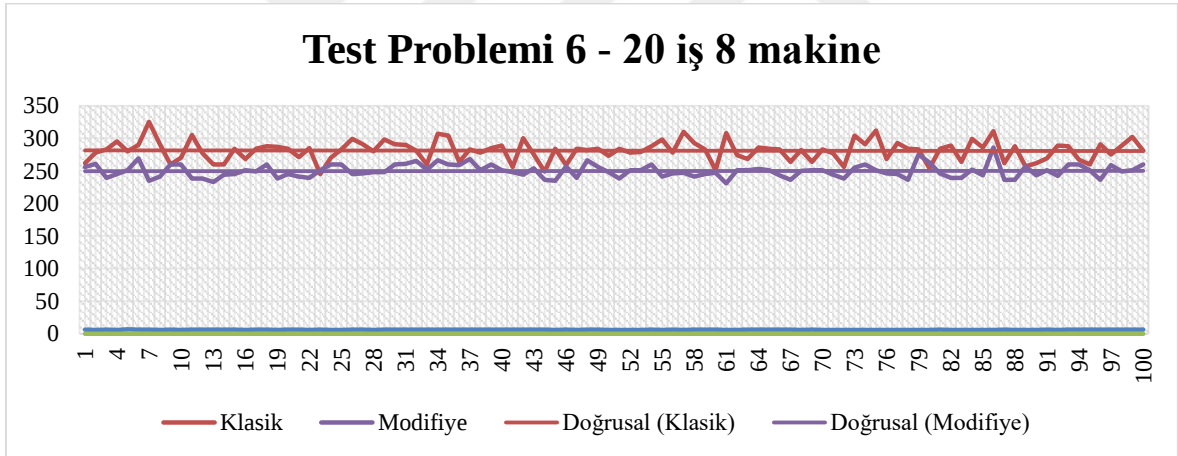
Şekil 4.2. 15 iş 5 makine için algoritma kıyaslaması

4.3’te 15 makine 6 iş için elde edilen sonuçlar görünmektedir. Yeni algoritmanın problem boyutunun artması ile daha iyi sonuçlar vermeye başladığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.3. 15 iş 6 makine için algoritma kıyaslaması

4.4'te 20 makine 8 iş için elde edilen sonuçlar görünmektedir. Yeni algoritmanın problem boyutunun artması ile sonuçlar arasında belirgin farklar oluşmaya başlamıştır.



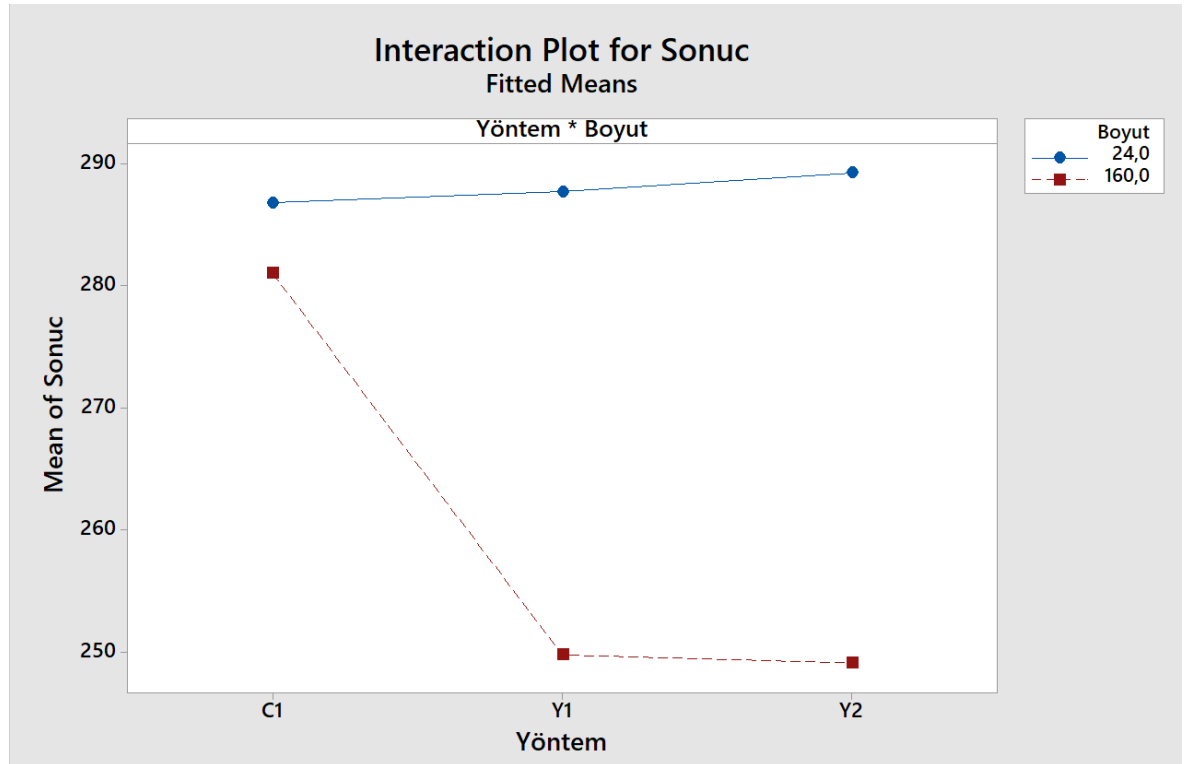
Şekil 4.4. 20 iş 8 makine için algoritma kıyaslaması

Minitab programı ile veriler analiz edilerek kullanılan yöntemlerin ve problem boyutunun sonuca olan etkisi araştırılarak varyans analizi yapılmıştır. Güven seviyesi % 95 olduğunda ($\alpha = 0.05$) yöntemin, boyutun ve yöntemle-boyutun etkileşiminin (yöntem*boyut) etkileri incelenmiştir. Bu üç faktörün p değeri $\alpha = 0.05$ değerinden küçük olduğundan aralarındaki fark anlamlıdır. C1 Cheng'in gösterimi, Y1 Bölüm 3.4'te tarif edilen gösterimi Y2 ise bölüm 3.5'te tarif edilen gösterimi ifade etmektedir.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Yöntem	2	29899	14950	79,80	0,000
Boyut	1	117488	117488	627,12	0,000
Yöntem*Boyut	2	37040	18520	98,85	0,000
Error	594	111284	187		
Total	599	295711			

Şekil 4.5. Varyans analizi



Şekil 4.6. Yöntem, boyut ve sonuç ilişkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çizelgeleme problemleri endüstride ve gerçek hayatta sıkça karşılaşılan bir problemidir. Literatürde probleme yönelik farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının motivasyonu literatürde sıklıkla kullanılan genetik algoritmanın kromozom yapısına yönelik yeni bir gösterim şeklinin tasarlanması olmuştur. Genelde klasik kromozom yapısında aynı anlama gelen ifadeler de algoritma içerisinde değerlendirilmektedir. Problem özdeş makinaları içerdiğinden aslında yapılan bu işlemin gereksiz olduğu ve aynı anlama gelen kromozomların elendiği bu yeni gösterim şekli ile gösterilmiştir. Amaç algoritmada çaprazlamada çeşitliliğin artırılmasının ve gereksiz yere aynı çözümleri araştırarak zaman kaybedilmemesinin sağlanmasıdır. Öncelikle MS Excel yazılımı üzerinde VBA dilinde klasik genetik algoritma kodlanmıştır ve daha sonra geliştirilen kromozom yapısı ile yeni genetik algoritma kodlanmıştır. İki yöntemin benzer olduğu ve farklı olduğu durumlar belirlenerek test problemleri üzerinde geliştirilen algoritmanın üstünlükleri ve farkları ortaya konmuştur. Gelecek çalışmalarda, popülasyon temelli farklı bir meta sezgisel algoritma çalışılarak, bu sonuçlar genetik algoritma sonuçları ile kıyaslanabilir. Bu tez kapsamında sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme probleminin klasik matematiksel modeli ele alınmıştır. Bu modele farklı kısıtlar eklenebilir ya da probleme farklı amaç fonksiyonu eklenerek çok amaçlı hale getirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aldowaisan, T., & Allahverdi, A. (1998). Total Flowtime in No-Wait Flowshops with Separated Setup Times. *Computers & Operations Research*, 25(9), 757-765.
- Allahverdi, A., Gupta, J., & Aldowaisan, T. (1999). A review of scheduling involving setup considerations. *Omega The International Journal of Management Science* 27, 219-239.
- Allahverdi, A. (1997). Scheduling in stochastic flowshops with independent setup, processing and removal times. *Computers & Operations Research* , 24(10), 955-960.
- Allahverdi, A. (2000). Minimizing Mean Flowtime in a Two Machine Flowshop with Sequence Independent Setup Times. *Computers & Operations Research*, 27(2), 111-127.
- Allahverdi, A. (2015). The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs. *European Journal of Operational Research*(246), 345-378.
- Anderson, B., Blocher, J., Bretthauer , K., & Venkataramanan, M. (2013). An efficient network-based formulation for sequence dependent setup scheduling on parallel identical machines. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(3-4), 483-493.
- Baker, K. (1999). Heuristic procedures for scheduling job families with setups and due dates. *Naval Research Logistics*, 46(8), 978-991.
- Bean, J. (1994). Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization. *ORSA Journal on Computing*, 6(2), 154-160.
- Ben-Daya, M., & Al-Fawzan, M. (1998). A tabu search approach for the flow shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 109(1), 88-95.
- Cheng, R., & Gen, M. (1995). Minmax earliness/tardiness scheduling in identical parallel machine system using genetic algorithm. *International Journal of Computers and Industrial Engineering*, 29(1-4), 513-517.
- Cheng, T., & Chen, Z. (1993). Parallel machine scheduling with batch setup times. *Operations Research*, 42(6), 1171-1174.
- Cheng, T., Gupta, J., & Wang, G. (2000a). A review of flowshop scheduling research with setup times. *Production and Operations Management*(9), 262-282.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cheng, T., Ng, C., & Yuan, J. (2003). The Single Machine Batching Problem with Family Setup Times to Minimize Maximum Lateness is Strongly NP-Hard. *Journal of Scheduling*, 6(5), 483-490.
- Cheung, W., & Zhou, H. (2001). Using Genetic Algorithms and Heuristics for Job Shop Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times. *Annals of Operations Research*, 107(1-4), 65-81.
- Colomi, A., Dorigo, M., Maniezzo, V., & Trubian, M. (1994). Ant-System for Job-Shop Scheduling. *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science*, 34(1), 39-53.
- Corwin, B., & Esogbue, A. (1974). Two Machine Flowshop Scheduling Problems with Sequence Dependent Setup Times: A Dynamic Programming Approach. *Naval Research Logistics*, 21(3), 515-524.
- Corwin, B., & Esogbue, A. (1974). Two Machine Flowshop Scheduling Problems with Sequence Dependent Setup Times: A Dynamic Programming Approach.
- Cota, L., Haddad, M., Souza, M., & Coelho, V. (2014). AIRP: A heuristic algorithm for solving the unrelated parallel machine scheduling problem. *Proceedings of the 2014 IEEE congress on evolutionary computation*, 1855-1862.
- Daniels, R., Hoopes, B., & Mazzola, J. (1996). Scheduling Parallel Manufacturing Cells with Resource Flexibility. *Management Science*, 42(9), 1260-1276.
- Deane, R., & White, E. (1975). Balancing Workloads and Minimizing Set-up Costs in the Parallel Processing Shop. *Operational Research Quarterly*, 26(1), 45-53.
- Driessel, R., & Moench, L. (2009). Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times, precedence constraints, and ready times using variable neighborhood search. *Proceedings of international conference of computers and industrial engineering*, 273-278.
- Edis, E. (2010). Resource Constrained Parallel Machine Scheduling with Machine Eligibility Restrictions: Mathematical and Constraint Programming Based Approaches.
- Edis, E., & Özkarahan, I. (2012). Solution Approaches for a Real Life Resource Constrained Parallel Machine Scheduling Problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(9-12), 1141-1153.
- Eom, D.-H. S.-J.-H.-K.-S. (2002). Scheduling Jobs on Parallel Machines with Sequence Dependent Family Setup Times. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(12), 926-232.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Eren, T. (2009). A bicriteria parallel machine scheduling with a learning effect of setup and removal times. *Applied Mathematical Modelling* , 33(2), 1141-1150.
- Fan, B., & Tang, G. (2006). A column generation for a parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times. *Journal of Tongji University* , 34(5), 680-683.
- França, P., Mendes, A., & Moscato, P. (2001). A Memetic Algorithm for the Total Tardiness Single Machine Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, 132(1), 224-242.
- Gavett, J. (1965). Three Heuristic Rules For Sequencing Jobs to a Single Production Facility. *Management Science*, 11(8), 166-176.
- Glassey, C. (1967). Minimum changeover scheduling of several products on one machine. *Operations Research*, 16(2), 342-352.
- Grigoriev, A., Sviridenko, M., & Uetz, M. (2007). Machine scheduling with resource dependent processing times. *Mathematical Programming Series B*, 110, 209-228.
- Gupta, J. (1986). Flowshop scheduling with sequence dependent setup times. *Journal of Operations Research Society of Japan*, 29(3), 206-219.
- Gupta, J., & Schaller, J. (2006). Minimizing flow time in a flow-line manufacturing cell with family setup times. *Journal of Operational Research Society*, 57(2), 163-176.
- Gupta, S., & Smith, J. (2006). Algorithms for Single Machine Total Tardiness Scheduling with Sequence Dependent Setups. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 722-739.
- Hamzadayi, A., & Yildiz, G. (2017). Modeling and solving m identical parallel machines scheduling problem with a common server and sequence dependent setup times . *Computers & Industrial Engineering*(106), 287-298.
- Hemamalini, T., Senthilvel, A., & Somasundaram, S. (2010). Deep Memory Greedy Search and Allocation of Job Shop Scheduling for Optimizing Shop Floor Performance. *Asian Journal of Industrial Engineering*, 2(1), 9-16.
- Hoare, C. (1961). Algorithm 64: Quicksort. *Communications of the ACM*, 4(7), 321.
- Hsu, C.-J., Kuo , W.-H., & Yang , D.-L. (2011). Unrelated parallel machine scheduling with past-sequence-dependent setup time nd learning effects. *Applied Mathematical Modelling*, 35(3), 1492-1496.
- Hu, D., & Yao, Z. (2011). Parallel Machines Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times Constraint . *Advanced Science Letters*, 4(6-7), 2528-2531.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jairo, R.-T., Milton, S.-F., Fernando, G.-S., & Edgar, H.-L. (2009). Machine scheduling with sequence-dependent setup times using a randomized search heuristic. *Proceedings of international conference on computers and industrial engineering* , 28-33.
- Johnson, S. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included . *Naval Research Logistics*, 61-68.
- Kim, S., & Bobrowski, P. (1994). Impact of sequence-dependent setup time on job shop scheduling performance. *International Journal of Production Research*, 32(7), 1503-1520.
- Laarhoven, P., Aarts, E., & Lenstra, J. (1992). Job Shop Scheduling by Simulated Annealing. *INFORMS*, 40(1), 113-125.
- Lee, Y., & Pinedo , M. (1997). Scheduling jobs on parallel machines with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*(100), 464–474.
- Lee, Y., & Pinedo, M. (1997). Scheduling Jobs on Parallel Machines with Sequence Dependent Setup Times. *European Journal of Operational Research*, 100(3), 464-474.
- Liao, C.-J., & Juan, H.-C. (2007). An Ant Colony Optimization for Single Machine Tardiness Scheduling with Sequence-Dependent Setups. *Computers & Operations Research*, 34(7), 1899-1909.
- Lin, S., & Ying, K. (2007). Solving Single-Machine Total Weighted Tardiness Problems with Sequence Dependent Setup Times by Metaheuristics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(11), 1183-1190.
- Naderi, B., Zandieh, M., & Fatemi Ghomi, S. (2009). Scheduling sequence-dependent setup time job shops with preventive maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*(43), 170-181.
- Pan, J., Chen, J., & Cheng, H. (2001). A heuristic approach for single machine scheduling with due dates and class setups. *Computers & Operations Research*, 28(11), 1111-1130.
- Paula, M. R. (2007). Solving Parallel Machines Scheduling Problems with Sequence Dependent Setup Times Using Variable Neighborhood Search. *IMA Journal of Management Mathematics*, 18(2), 101-115.
- Pfund, M., Fowler, J., Gadkari, A., & Chen, Y. (2008). Scheduling jobs on parallel machines with setup times and ready times. *Computers & Industrial Engineering* , 54(4), 764-782.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Potts, C., & Kovalyov, M. (2000). Scheduling with batching: A review. *European Journal of Operational Research*(120), 228-349.
- Rinnooy Kan, A., Lageweg, B., & Lenstra, J. (1975). Minimizing total costs in one-machine scheduling. *Operations Research*, 23(5), 908-927.
- Ruiz, R., Maroto, C., & Alcaraz, J. (2005). Solving the Flowshop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times Using Advanced Metaheuristics. *European Journal of Operations Research*, 165(1), 34-54.
- Schutten, J., & Leussink, R. (1996). Parallel machine scheduling with release dates, due dates and family setup times. *International Journal of Production Economics*, 46-47, 119-125.
- Schwimer, J. (1972). On the N-Job, One Machine, Sequence-Dependent Scheduling Problem with Tardiness Penalties: A Branch and Bound Solution. *Management Science*, 18(6), 301-313.
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics from Design to Implementation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Tang, C. (1990). Scheduling batches on parallel machines with major and minor set-ups. *European Journal of Operational Research*, 46(1), 28-37.
- Tran, T., & Christopher Beck, J. (2011). A logic-based benders approach to scheduling with alternative resources and setup times. *Proceedings of the workshop on constraint satisfaction techniques for planning and scheduling problems* , 7-14.
- White, C., & Wilson, R. (1977). Sequence Dependent Setup Times and Job Sequencing. *International Journal of Production Research*, 15(2), 191-202.
- Xi, Y., & Jang, J. (2012). Scheduling jobs on identical parallel machines with unequal future ready time and sequence dependent setup: An experimental study. *International Journal of Production Economics*, 137(1), 1-10.
- Yagmahan, B., & Yenisey, M. (2010). A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1361-1368.
- Yang, W.H; Liao, C.J;. (1999). Survey of scheduling research involving setup times. *International Journal of Systems Science*(30), 143-155.