T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OPERASYONEL SABİT İŞ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMALAR İLE ÇÖZÜMÜ

End. Müh. Serkan KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 27.12.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir

Prof.Dr.Ahmet PEKER	Yrd.Doç.Dr.Orhan ENGİN	Yrd.Doç.Dr.M.Emin BAYSAL
(Başkan)	(Danışman)	(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OPERASYONEL SABİT İŞ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMALAR İLE ÇÖZÜMÜ

End. Müh. Serkan KAYA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN

2006, 83 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ahmet PEKER
Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN
Yrd. Doç. Dr. M. Emin BAYSAL

Sabit iş çizelgeleme; sabit bir başlangıç zamanından, sabit bir bitiş zamanına tamamlanması gereken işlerin, belirli sayıda makinelerin bulunduğu bir vardiyada işlerin çizelgelenmesi olarak tanımlanmaktadır. Sabit iş çizelgeleme problemlerinde; belirli sayılarla ağırlıklandırılmış işler içinden maksimum sayıda işlerin prosese girmesi amaçlı çizelgelemesi, operasyonel sabit iş çizelgeleme olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, polinomiyel olmayan-zor (NP-hard) operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasına yönelik bir uygulama yapılmıştır. Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritma ve genetik algoritma çözümleri için Delphi programlama dilinde yazılım yapılmıştır. Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri için literatüre uygun olarak toplam 324 adet problem seti oluşturulmuştur. Genetik algoritma çözümlerinde; başlangıç populasyonu, çaprazlama ve mutasyon oranları literatüre uygun olarak seçilmiştir. Genetik Algoritma çözümleri, Bouzina ve Emmons (1996) algoritması çözümleri ile karşılaştırılmıştır. Genetik algoritma çözümlerinin Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritmaya göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sabit iş çizelgeleme, Operasyonel sabit iş çizelgeleme, Genetik Algoritma, Bouzina ve Emmons Algoritması.

ABSTRACT

Ms Thesis

SOLVING THE OPERATIONAL FIXED JOB SCHEDULING PROBLEMS WITH GENETIC ALGORITHMS

Serkan KAYA

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department Of Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Orhan ENGİN

2006, 83 Page

Jury: Prof. Dr. Ahmet PEKER
Assist. Prof. Dr. Orhan ENGİN
Assist. Prof. Dr. M. Emin BAYSAL

Fixed job scheduling is defined as the arrangement of the jobs with a fixed start time and a deadline in a shift having a particular number of machines. In fixed job scheduling problems, scheduling a set of jobs among the jobs weighted with defined values in order to maximize the number of jobs for processing is described as operational fixed job scheduling. In this study, an application toward increasing the performance of Genetic algorithm solution to non-polynomial NP-hard operational fixed job scheduling problems is realized. Programs for the algorithm of Bouzina and Emmons (1996) and the Genetic algorithm solutions are written in Delphi Language. For the operational fixed job scheduling problems, a total of 324 problem set suiting the literature is created. In genetic algorithm solution, parameter optimization for start population, crossing and mutation rates are selected such as literature. Genetic algorithm solutions are compared to the algorithm solutions of Bouzina and Emmons (1996). The results show that genetic algorithm solutions give better results than the algorithm by Bouzina ve Emmons (1996) does.

Key Words: Fixed Job Scheduling, Operational Fixed Job Scheduling, Genetic Algorithm, Bouzina and Emmons algorithm.

ÖNSÖZ

Günümüzde havaalanlarında uçak bakım çizelgelemesinden, otel/araba kiralama, otobüs çizelgeleme ve uydu görüntüleme sistemleri gibi geniş kullanım alanı bulan sabit iş çizelgeleme problemleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Konunun pratikteki kullanım alanlarının genişliği, literatürde az çalışma yapılmış olması ve yeni bir konu olması beni bu çalışma üzerine yöneltmiştir.

Çalışmam sırasında bana her türlü imkanı sağlayan değerli hocam Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Bilge ERDİLLER'e, çalışmalarım sırasında desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan ENGİN'e, program yazılımı sırasında bana her türlü desteği veren Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer AKGÖBEK'e, kaynak araştırması aşamasında çalışmalarından yararlanmış olduğum Sayın Prof. Dr. Meral AZİZOĞLU ve Sayın Dr. Deniz TÜRSEL ELİİYİ'ye, ayrıca çalışmalarım sırasında bana maddi manevi destek olan aileme teşekkür ederim.

Konya, 27.12.2006

End. Müh. Serkan KAYA

İÇİNDEKİLER

ÖZET iii
ABSTRACT iv
ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vi
1. GİRİŞ ..... - 1 -
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI ..... - 3 -
3. MATERYAL VE METOT ..... - 9 -
3.1. Materyal ..... - 9 -
3.1.1. Sabit İş Çizelgeleme Problemleri ..... - 9 -
3.1.1.1. Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemi ..... - 15 -
3.1.1.2. Taktiksel Sabit İş Çizelgeleme Problemi ..... - 16 -
3.1.2. Genetik Algoritma ..... - 17 -
3.1.2.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri ..... - 20 -
3.1.2.2. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları ..... - 20 -
3.1.2.3. Genetik Algoritmalarda İşlem Adımları ..... - 22 -
3.1.2.4. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler ..... - 23 -
3.2. Metot ..... - 26 -
3.2.1. Bouzina ve Emmons Algoritması (BEA) ..... - 27 -
3.2.2. Genetik Algoritma Uygulaması ..... - 30 -
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ..... - 35 -
5. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... - 46 -
6. KAYNAKLAR: ..... - 48 -
EKLER ..... - 50 -

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa Nu

Şekil 3.1 Örnek Problemin Gantt Diyagramında Gösterimi 28
Şekil 3.2 Problemlerin Çözüm Yazılımında BEA Gösterimi 29
Şekil 3.3 Problemlerin Çözüm Yazılımında GA Gösterimi 30
Şekil 3.4 GA Diyagramı 32

TABLO LİSTESİ

Sayfa Nu

Tablo 2.1 Sabit İş Çizelgeleme Problemi üzerine yapılmış bazı çalışmalar. 3
Tablo 4.1 Örnek Problem Verileri 28
Tablo 4.2 Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler 36
Tablo 4.3 n=20 İş Problem Çözümleri 37
Tablo 4.4 n=30 İş Problem Çözümleri 38
Tablo 4.5 n=40 İş Problem Çözümleri 39
Tablo 4.6 n=50 İş Problem Çözümleri 40
Tablo 4.7 n=60 İş Problem Çözümleri 41
Tablo 4.8 n=70 İş Problem Çözümleri 42
Tablo 4.9 n=80 İş Problem Çözümleri 43
Tablo 4.10 n=90 İş Problem Çözümleri 44
Tablo 4.11 n=100 İş Problem Çözümleri 45

1. GİRİŞ

Genel olarak m adet paralel makine üzerinde işlem görmek üzere n adet işin olduğu bir çizelgeleme problemi göz önüne alınsın. Makine üzerinde i işinin zaman penceresi, r_i geliş zamanı ile d_i son teslim zamanları arasındaki zaman olarak tanımlansın. Eğer makinenin zaman penceresi, proses zamanından büyükse, yani; iş makine üzerinde geliş zamanı ile teslim zamanı arasındaki farktan daha uzun süre kalıyorsa, problem, değişken iş çizelgeleme olarak tanımlanır. Eğer iş, makine üzerinde kesintisiz işleme tabi tutuluyor yani, iş makine üzerine geldikten sonra geciktirilmiyor, diğer bir ifadeyle, zaman penceresi işlem süresine eşit ise problem sabit iş çizelgeleme sınıfına dahil olur. Sabit iş çizelgelemede prosese girecek bir iş, r_i'de başlar ve d_i'de biter. Değişken iş çizelgeleme de ise işin başlama zamanı; r_i ile (d_i-r_i) zamanları arasındaki bir sürede başlar.

"Aralık çizelgeleme her birinin belirli geliş zamanı ve son teslim tarihleri olan ve belli sayıdaki kaynaklarla işlem görmek zorunda olan işlerin çizelgelenmesi alanında ortaya çıkan bir problemdir. Aralık çizelgeleme problemi, sınıf tahsisi, taşıma sistemleri ve vardiya çizelgeleme gibi pek çok gerçek yaşam uygulamalarında ve rezervasyon sistemlerinde tipik bir problemdir. Aralık çizelgeleme; otel oda rezervasyonları, araba kiralama/tamir gibi rezervasyon sistemlerinde; otel odaları, arabalar veya teknisyenlerin kaynakları temsil ettiği hizmet ortamlarında ortaya çıkar. Aynı zamanda işlemler işin parçası veya kendisi olduğu ve kaynakların makine olduğu üretim ortamlarında yer alabilir. Her bir ortamda görevler sipesifik üretim zaman pencerelerinde kaynak taleplerinde bulunabilir ve problem siparişlerin kabulünde etkili olduğu gibi kaç tane kaynağın bütün siparişleri karşılayacağının kararlaştırılmasında da etkilidir" (Eliiyi ve Azizoğlu, 2004).

Sabit iş çizelgeleme problemi; belirli sayıda işlerin, sabit bir başlama zamanı ile sabit bir bitiş zamanı arasında, paralel özdeş makineler üzerinde, öne alımsız ve

aralıksız çizelgelenmesi olarak tanımlanmaktadır. Sabit iş çizelgeleme probleminde, her bir iş bir makine üzerinde işleme tabi tutulmaktadır. Özel makineler tüm operasyonları gerçekleştirebilir, tüm makineler bütün işlere uygundur. Ayrıca, bir iş için gerekli işlem zamanı makineye bağlı değildir, tüm makineler özdeş ve bir iş tüm makinelere tahsis edilebilir. İşlerin öne alınmasına ve bölünmesine izin verilmez. Makine kapasitesi üzerinde kısıtlama yoktur. Tüm makineler her zaman kullanılabilir durumdadır.

"Sabit iş çizelgeleme problemi, sabit geliş ve termin zamanlarına sahip işlerin paralel özdeş makinelere yerleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Sabit iş çizelgeleme problemi amaç fonksiyonu üzerinde iki temel varyanta sahiptir. Birinci varyant, operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi ki; her iş w_j ile ağırlıklandırılmış, prosese tabi tutulan işlerin belirli sayılarla ağırlıklandırılması ve maksimum sayıda işlerin prosese tabi tutulmasıyla ilgilidir. İkinci varyant; her bir makinenin c_k sabit maliyeti bulunan ve prosese girecek tüm işlerin toplam maliyetinin minimizasyonunu amaçlayan taktiksel sabit iş çizelgeleme problemidir" (Eliiyi ve Azizoğlu, 2004).

Çalışmanın kaynak araştırması bölümünde, sabit iş çizelgeleme problemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş; materyal ve metot bölümünün materyal kısmında, sabit iş çizelgeleme problemleri ve genetik algoritmalar hakkında bilgi verilmiş ve metot bölümünde de kullanılan Bouzina ve Emmons ile genetik algoritmaların uygulama adımaları izah edilmiştir. Araştırma sonuçları bölümünde, elde edilen sonuçlar sunulmuştur, sonuç ve öneriler bölümünde ise uygulama sonucunda ortaya çıkan bulgular tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi ve operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri üzerine literatürde birçok pratik uygulamalar bulunmaktadır. Bu bölümde, sabit iş çizelgelemenin konuları üzerine literatür taraması yapılmıştır. Aşağıda Tablo 2.1'de sabit iş çizelgeleme içinde literatürde yer almış çalışmaların konuları ve çalışmayı yapan araştırmacılar yer almaktadır.

Tablo 2.1 Sabit İş Çizelgeleme Problemi üzerine yapılmış çalışmalar

Sıra No	Araştırmacılar	Çalışma Konuları
1	Eliiyi D. Azizoglu M. (2006)	Operasyonel Sabit İş Çizelgelemede Yaygınlık Zamanı Kısıtları
2	Eliiyi D. Azizoglu M. (2005)	Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemleri İçin Yaklaştırılmış Algoritmalar.
3	Eliiyi D. Azizoğlu M. (2004)	Sabit İş Çizelgeleme Problemi: Literatür Değerlendirmesi
4	Eliiyi D. (2004)	Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemi
5	Garcia J.M.,Benitez R.R Eguia I.,Canca D. (2004)	Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Probleminin Çözümü İçin Grafik Temelli Deneye Dayalı Yöntem
6	Beki Ö.B. (2003)	Özdeş Paralel Makinelerde Sabit İş Çizelgeleme
7	Santos E.J., Zhong X. (2001)	Taktiksel Sabit Aralık Çizelgeleme Problemi İçin Takviyeli Öğrenme ve Genetik Algoritmalar
8	Wolfe W.J., Sorensen S.E. (2000)	Dünya Gözlem Uydularının Çizelgelenmesinde Uygulamalı Üç Çizelgeleme Algoritmaları
9	Bouzina K.I., Emmons H. (1996)	Özdeş Makineler Üzerinde Aralık Çizelgeleme
10	Kroon L.G., Salomon M. Wassenhove L. N. (1995)	Operasyonel Sabit Aralık Çizelgeleme Problemi İçin Tam ve Yaklaşıklama Algoritmaları
11	Kolen A.W.J.,Kroon L.G. (1994)	Vardiya Grubu Düzenleme Problemlerinin Bir Analizi
12	Kolen A.W.J.,Kroon L.G. (1992)	Lisans Sınıfı Dizaynı: Güçlükler ve Şemalar
13	Fischetti M., Martello S., Toth P., (1992)	Sabit İş Çizelgeleme Problemleri İçin Yaklaştırılmış Algoritmalar
14	Kolen A.W.J.,Kroon L.G. (1991)	Sınıf Çizelgeleme Problemlerinin (max) Hesaplama Karmaşıklığı
15	Fischetti M., Martello S., Toth P., (1989)	Çalışma zamanı kısıtlı sabit iş çizelgeleme Problemi
16	Fischetti M., Martello S., Toth P., (1987)	Yaygınlık zamanı kısıtlı sabit iş çizelgeleme Problemi

Eliiyi ve Azizoğlu (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, özdeş paralel makineler üzerinde operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi yaygınlık zamanı kısıtları altında ele alınmıştır. Araştırmacılar, makineler üzerinde işleme maruz kalan her bir işi sabit başlangıç ve teslim zamanlı, yaygınlık zamanı kısıtı altında ve prosese girecek tüm işlerin toplam ağırlığını maksimize edecek amaç fonksiyonunu belirlemeye çalışmışlardır. Problem boyutunu azaltma mekanizmalarından ve verimli alt ve üst sınır algoritmalarından yararlanan Dal ve Sınır algoritmaları geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar algoritmaların 100 işe kadar olan problemleri makul zamanlarda en uygun olarak çözebildiğini göstermiştir.

Eliiyi ve Azizoğlu (2005), Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemini, özdeş paralel makineler üzerinde toplam ağırlığı maksimize etmek üzere sabit hazırlık ve teslim zamanlı işlerin çizelgelenmesi olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar, problemin maruz kalan makinelerde, çalışma zamanı ve yaygınlık zamanı kısıtları üzerine çalışmışlar ve her iki problem için etkin yaklaştırılmış polinomiyel zaman algoritmaları sunmuşlardır.

Eliiyi ve Azizoğlu (2004) Sabit iş çizelgelemesi problemini, sabit geliş ve termin zamanları olan aktivitelerin paralel özdeş kaynaklara yerleştirilmesi olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, kaynak kullanım maliyetlerinin minimizasyonu (taktiksel problem) veya aktivitelerin toplam kâr maksimizasyonu (operasyonel problem) hedeflenmiştir. Taktiksel problem tüm işlerin işlenmesini, operasyonel problem ise işlenecek aktivite kümesinin belirlenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada yazarlar; sabit iş çizelgelemesi problemi üzerine literatürde yer alan araştırmaları, çalışma zamanı, yaygınlık zamanı veya işleyebilirlik kısıtları altında sınıflandırmış ve karşılaştırmalı değerlendirmeler yapmışlardır.

Eliiyi (2004) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, özdeş paralel makinelerde operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Yazar problemi, geliş ve teslim zamanları sabit işler kümesi içinden, proses edilecek iş kümesinin toplam ağırlığı maksimize edilecek şekilde seçilmesi olarak tanımlamıştır. Problem, çalışma zamanı kısıtları, yaygınlık zamanı kısıtları ve makine bağımlı iş ağırlıkları olmak üzere üç ayrı ortamda ele alınmıştır. İşleyebilirlik kısıtlı problemin, belirtilen son ortamın özel bir durumu olduğu gösterilmiştir. Çalışmada tüm

problemlerin karmaşıklık statüleri saptanmış, hepsinin NP-zor olduğu gösterilmiş ve her bir problem için polinomiyal zamanda çözülebilir özel durumlar belirlenmiştir. Tüm problemler için, problem boyutunu azaltma mekanizmalarından ve verimli alt ve üst sınır algoritmalarından yararlanan Dal ve Sınır algoritmaları geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar algoritmaların 100 işe kadar olan problemleri makul zamanlarda optimal olarak çözebildiğini göstermiştir.

Garcia ve ark. (2004), bu çalışmada paralel makine setleri üzerindeki öne alınamaz işlerin çizelgeleme problemini analiz etmişlerdir. Her bir işin belirli bir başlama ve bitiş zamanı vardır. Hedeflenen amaç, ele alınan iş sayısının artırılmasıdır. Bu problem, operasyonel belirlenmiş işlerin çizelgelenmesi olarak adlandırılır ve hava limanlarında kaynakların atanmasında önemli rol oynamaktadır. Problemin çözümü için grafik temelli deneye dayalı yöntem tanımlamışlar ve literatürden diğer deneysel yöntemlerle kıyaslama yaparak bu çalışmadaki deneysel yöntemin kısa işlem sürelerinde iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Bekki (2003), özdeş paralel makineler üzerinde sabit iş çizelgeleme probleminin operasyonel versiyonunu çalışmıştır. Yazar, problemin NP-zor olduğunu göstermiştir. Bir $O(m \log n)$ zaman algoritması bütün hazırlık zamanlarının eşit olduğu özel durumlar için sağlamıştır. Ayrıca hızlı makine üzerindeki bütün işlerin işlem zamanlarının birine eşit olduğu özel durumlar için bir polinomiyal zaman algoritması geliştirmiştir. Genel problem için, öncelik ilişkilerini kullanan ve güçlü alt ve üst sınır prosedürleri olan bir dal-sınır algoritması önermiştir. Onun hesaplama analizleri makul zamanda çok büyük problem örnekleri için çözümler bulma prosedürünü açıklamaktadır.

Santos ve Zhong (2001) tarafından işleyebilirlik kısıtlarıyla ve minimum toplam maliyet hedefli taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi için Takviyeli öğrenme sistemini kullanan bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Onların hesaplama deneyleri yaklaşımlarının problem yapısı anlamında sağlam ve hızlı yerel en küçük değeri yakalamada güvenilir olduğunu ortaya koymuştur.

Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi dünya uydularının çizelgelenmesi olarak Wolfe ve Sorenson (2000) tarafından uygulanmıştır. Yüzlerce uydu yörüngesi dünyadan gözlenmiş ve proses olarak yerden daha uzaklara verilerin gönderilmesi çizelgelenmiştir. Bir uydu pozisyonları boyunca zeminden veri iletimi için bağlantı

ihtiyacı duyar ve özel bilgileri gönderir. Bununla beraber uyduda az sayıda iletişim cihazı vardır ve bağlantı için yeterli kapasite mevcut değildir. Bu uydu çatışmalarını çözmeye yardım etmek ve bir takım önceden inceleme yapmak için öncelik sunar.

Çalışma zamanı kısıtlı Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi ile ilgili bir çalışma Bouzina ve Emmons'un (1996) çalışmasıdır. Yazarlar problemin işlem gören iş sayısını artırma hedefli öne alımlı versiyonu ile ilgilenmişler, bir minimum maliyet ağ akış problemini en iyi şekilde çözecek çok değerlikli zaman algoritmasını bulmuşlardır.

Kroon ve ark.'nın (1995) yaptığı çalışma, özdeş durumlar için varyantlı operasyonel sabit iş çizelgelemede bakım mühendisleri için, uçak bakım muayenesinde kullanılmak üzere öncelikler tanımlanmıştır. Bu çalışmada, Operasyonel Sabit Aralık Çizelgeleme Problemi; her biri sabit başlama zamanı, sabit bitirme zamanı, öncelik indeksi ve iş sınıfı olan birkaç işin çizelgelendirilmesi olarak karakterize edilmiştir. Amaç işlerin makinalara en ileri seviyede öncelikle atanmasını bulmaktır. Problem aşağıdaki sınırlamalarla komplike edilmiştir.

i. Bir makine bir defada sadece bir iş gerçekleştirebilir.
ii. Bir makine sadece; bütün iş türlerinin önceden belirlenmiş alt grubundan gelen işleri gerçekleştirebilir.
iii. Öne alıma müsaade edilmemiştir.

Yukarıdan da anlaşıldığı üzere operasyonel sabit aralık çizelgeleme problemi; iş çizelgeleme problemi ve iş atama problemlerinin her ikisinin karakterlerine sahiptir. Kroon ve ark.'nın (1995)yaptıkları bu çalışmada; uygulamada gerçekleşen problemler tartışılmış ve operasyonel sabit aralık çizelgeleme probleminin çözümü için son zamanlarda geliştirilen kesin ve yaklaştırılmış algoritmalar sunulmuştur.

Kolen ve Kroon (1994), havalimanlarında uçak bakım sürecinde ortaya çıkan sabit iş çizelgeleme problemlerinin bir genellemesini yapmışlardır. Belirli sayıda işin, sabit bir başlangıç zamanından sabit bir bitiş zamanına tamamlanması gerekmektedir. Bu işler belirli sayıda makinelerin bulunduğu özel bir vardiyada yapılması gereklidir. Bu işlerin; öncelik değişimine müsaade edilen bir işin sonunda bile olsa kesintisiz bir şekilde tamamlanması gerekir. Bu problem, herbir vardiyada işlerin bu şekilde tamamlanabilmesi ve makinelerin toplam maliyeti ve toplam makine sayısının minimum olması için belirli sayıda makine seçimini zorunlu

kılmıştır. Çalışmada bu problemlerin hesaplama karmaşıklığının bir analizi sunulmuştur. Aynı zamanda öncelikli varyantın önceliksiz (kesintisiz) varyanta karşı en kötü durum davranışı analiz edilmiştir.

Kolen ve Kroon (1992)'nun yaptıkları çalışmalarında, bir hava alanında uçak bakımı sürecinde ortaya çıkan iş çizelgeleme probleminin genellemesi ele alınmıştır. Ana özellikleri belirli başlama zamanı ve belirli bitirme zamanı ve belirli uçak türü olan belirli sayıda işin yapılması gerekmektedir. Bu işleri yapacak yeterli sayıda mühendis mevcuttur. Özel işin yapılması için sadece uçak tipine uygun lisansı olan bir mühendise müsaade edilmiştir. Ayrıca işler önealınmaz bir şekilde gerçekleştirilmeli ve bir mühendis aynı zamanda en çok bir iş uygulayabilmelidir. Doğal soruları sorarken bütün işleri gerçekleştirmek için gereken minimum mühendis sayısını veya daha genel olarak mühendis kiralamak için minimum toplam maliyeti sorulur. Bu çalışmada bu uygulama sorularıyla ilgili iki tür matematiksel problemin hesaplama zorluğu komple sınıflandırılması verilmiştir. Bundan başka bu problemlerin polinemiyel çözülebilir vak'aları doğrusal programlama ve network akış algoritmalarının kombinasyonu ile çözülebilir olduğu gösterilmiştir.

Fischetti ve ark. (1992), sabit iş çizelgeleme probleminin çalışma zamanı ve yaygınlık zamanı kısıtları altında çok değerlikli zaman yaklaştırma algoritması geliştirmişlerdir. Bunlar otobüs şoförü çizelgeleme probleminde ortaya çıkabilecek, yazarlar tarafından önceki çalışmalarda yer almış NP-zor problemlerdir. Yazarlar, birkaç yaklaştırılmış polinomiyel zaman algoritmaları için etkin uygulamalar ve bunların karmaşık ve en kötü durum performans analizini takdim etmişlerdir. Bütün algoritmalar işlem zamanı ve çözüm kalitelerine göre karşılaştırılmışlardır.

Kolen ve Kroon (1991), bu çalışmalarında bir hava limanında uçak bakımında normal olarak ortaya çıkan sabit iş çizelgeleme probleminin birkaç genellemesini göz önünde bulundurmuşlardır. Bir iş türü ve işin önceliğini temsil eden bir değeri ve sabit başlama ve bitiş zamanı gibi esas özellikleri olan belirli sayıda işin tamamlanması gerekmektedir. Bu işlerin yapılabilmesi için yeter sayıda makine mevcuttur. Bu makinalar belirli sayıda ayrı makina gruplarına bölünebilir. Her bir iş ve makina türü kombinasyonunda, bilinsin yada bilinmesin; makina grubundaki bir makinaya iş grubundan bir iş atanmasına müsaade edilmiştir. Bundan başka işler öne alınamaz bir şekilde ve bir makine en çok bir iş yapacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

Bu ortamda biri bütün işler için; eğer böyle bir çizelge mevcut değilse, maksimum toplam değerin bir alt grubu iş için uygulanabilir bir çizelge isteyebilir. Bu çalışmada operasyonel iş çizelgeleme problemiyle ilgili tümleşik operasyonel iş çizelgelemenin hesaplama zorluğuyla ilgili tam bir sınıflama sunulmuştur.

Fischetti ve ark. (1989), çalışma zamanı kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmalarında yazarlar, bütün işleri yapmak için gerekli şoför sayısını en aza indirgemek hedefi olan sabit iş çizelgeleme probleminin taktiksel versiyonu otobüs şoförü çizelgeleme problemine kısmen değinmişler ve problemi çalışma zamanı kısıtla sabit iş çizelgeleme problemi olarak tanımlamışlardır. Yazarlar, problemin matematiksel modellerini sağlamışlar ve iki model grafik sunmuşlardır. Problemin öne alımlı versiyonunu en iyi şekilde çözen bir $O(n^2)$ algoritması sunmuşlardır. Aynı zamanda en iyi amaç fonksiyonu değerinin $O(n \log n)$ zamanında bulunabileceğini ispatlamışlardır. Hesaplama sonuçları önerdikleri algoritmalarının performansı veri setlerince oluşturulan gerçek yaşam durumları için oldukça tatmin edici olduğunu göstermiştir.

Sabit iş çizelgeleme probleminde literatürde yaygınlık zamanı kısıtlaması üzerine bir diğer çalışma Fischetti ve ark. (1987) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, sürücülerin yayılma zamanı kısıtlamalı otobüs şoförü çizelgeleme konusuyla ilgilenilmiştir. Otobüs sürücüsü çizelgeleme problemi; bir şirketin belirli bir gün için verilen bir otobüs çizelgesinde birliğin kontratını ve şirketin kurallarını yerine getirirken minimum maliyete çizelgeyi yerine getirecek bir şoför grubu bulur. Yazarlar, problemin matematiksel formülünü sağlamışlar ve teorik modelin bir grafiğini sunmuşlardır. Problemin öne alımlı versiyonunu en iyi şekilde çözen bir $O(n \log n)$ algoritması sunmuşlardır. Birkaç düşük sınırla güzel performans oranları geliştirilmiş ve birkaç problemin boyutunu düşüren baskın kriterler tanımlanmıştır. Bir dal sınır algoritması, problemin çözümü için tanımlanmış ve hesaplama sonuçları bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Sabit iş çizelgeleme problemleri NP-zor problem tipi kapsamında yer almakta olup henüz optimum çözümleri bulunamamıştır. Bu tip problemlerde optimum çözüme ulaşabilmek için bir çok sezgisel yöntemler kullanılır. Bu yöntemler, klasik ve meta sezgisel olmak üzere sınıflandırılabilir.

Bu tez çalışması, operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi, meta sezgisel yöntemlerden rastlantısal arama metodu olan genetik algoritmalar yardımıyla optimum ve/veya optimuma yakın çözümleri ve Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritma çözümlerini bulmak üzere Delphi dilinde yazılmış program ve uygulamalar neticesinde elde edilen değerleri kapsamaktadır.

Çalışmada, özellikle günlük yaşamda geniş uygulama alanları bulan operasyonel sabit iş çizelgeleme probleminde; sabit geliş ve teslim zamanlı işler, işlerin ağırlık değerleri, makineler ve Delphi programlama dilinde yapılan bilgisayar yazılım programı çalışma boyunca kullanılacak materyallerdir. Bu tür problemlerin çözüm metodu olarak Genetik Algoritmalar ve Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritmalar kullanılmıştır.

3.1.1. Sabit İş Çizelgeleme Problemleri

Sabit İş Çizelgeleme; *m* adet özdeş makine üzerinde *n* adet öne alımsız işlerin çizelgelenmesi problemi göz önüne alınırsa, işlerin sabit geliş zamanında makineye yüklenmesi ve sabit teslim zamanında prosesten çıkması sonucunda yapılan çizelgeleme olarak tanımlanır.

Sabit geliş ve teslim zamanlı işlerin paralel özdeş makinelere çizelgelenmesi olarak tanımlanan sabit iş çizelgeleme problemlerinde her bir makinenin c_k maliyeti vardır. Amaç fonksiyonu makine kullanım maliyetlerinin minimizasyonu olduğu zaman problem, taktiksel sabit iş çizelgeleme sınıfına girer. Prosese giren işlerin ağırlıklandırılmasıyla toplam kâr maksimizasyonu amaçlı sabit iş çizelgeleme problemi ise, operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi olarak tanımlanır. Taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi ve operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri üzerine literatürde birçok pratik uygulamalar bulunmaktadır.

"Sabit iş çizelgeleme probleminin temel modellerinin formülasyonunda aşağıdaki genellemeler yapılmıştır. Sabit iş çizelgeleme probleminin basit modeli üstünde geleneksel çizelgeleme varsayımları izlenmiştir" (Eliiyi, 2004).

- Bütün makineler özdeştir,
- Bir makine bir anda en çok bir iş işleyebilir,
- Tüm makineler tüm işleri yapabilir, seçilme kaygısı yoktur,
- Makine arızası ve makine hazırlıksızlığından oluşan ara yoktur,
- Tüm işler ve makineler sürekli çalışır durumdadır,
- Bir iş başlandığında kesintisiz bitirilmelidir, yani hiçbir öne alıma müsaade edilmemiştir,
- Bir seferde bir iş en çok bir makinede gerçekleştirilmelidir yani iş bölünmesine müsaade edilmemiştir,
- Tüm parametreler bellidir.

Problemin ana parametreleri;

m: Makine Sayısı

n: İş sayısı

İNDEX:

i,j: İş indeksi $i,j=1,\ldots\ldots n$

k: Makine indeksi $k=1,\ldots m$

İş ile ilgili parametreler;

r_i: *i* işinin geliş zamanı $i:1,\ldots\ldots n$

d_i: *i* işinin teslim zamanı $i:1,\ldots\ldots n$

P_i: *i* işinin proses (işlem) zamanı $P_i=d_i-r_i$ $i:1,\ldots\ldots n$

W_{ik} : *i* işinin *k* makinesinde işlendiğindeki ağırlığı (kârı) $i= 1,\ldots\ldots, n$ $k = 1,\ldots\ldots,m$

C_k : *k* makinesinin maliyeti $k = 1,\ldots\ldots,m$

Eliiyi (2004) yaptığı çalışmasında, ikili karar değişkenini aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer j işi k makinesi üzerinde yapılırsa} \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases} \qquad (1)$$

Sabit iş çizelgelemenin her iki varyantı için ortak ana kısıtlar aşağıdaki gibidir.

- ✓ Her j işi en fazla bir makinede işlem görebilir.

$$\sum_{k=1}^{m} x_{jk} \le 1 \qquad j=1,2,\ldots,n \qquad (2)$$

- ✓ Bir makinede bir anda en çok bir işin prosesi yapılabilir.

$$\sum_{j \in Pa} x_{jk} \le 1 \qquad k = 1,2,\ldots\ldots m \qquad (3)$$

- ✓ İşlerin öne alımına ve kesilmesine izin verilmez.

$$x_{jk} \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots..,m \qquad j = 1,2,\ldots\ldots,n \qquad (4)$$

Çalışma zamanı kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemleri, makinenin çalıştığı gerçek zamanda sınırlı olan çalışma zamanını içine alır, yani hiçbir makine müsaade edilen toplam çalışma zamanından fazla çalışamaz. Sonuç olarak bir makinenin çalışma zamanı o makineye atanan işlerin toplam işlem süresi olarak ifade edilir ve yaygınlık zamanının tersine boş zamanları içermez. Yaygınlık zamanında olduğu gibi çalışma zamanı kısıtları farklı makineler için aynı veya farklı olabilir.

Literatürde çalışma zamanı kısıtlı taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi Fischetti ve ark.'ı (1989) tarafından ele alınmıştır. Çalışmalarında yazarlar, bir işletmenin bütün servis işlerini yapmak üzere gerekli şoför sayısını en aza indirgemek hedefi olan Taktiksel Sabit iş çizelgeleme problemine değinmişler ve problemi çalışma zamanı kısıtla sabit iş çizelgeleme problemi olarak tanımlamışlardır. Çalışma zamanı kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemini, NP-zor olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada Fischetti ve ark.'ı (1989), problemin matematiksel formüllerini sağlamışlar ve iki model grafik sunmuşlardır. Problemin öne alımlı versiyonunu en iyi şekilde çözen bir $O(n^2)$ algoritması sunmuşlardır. Aynı zamanda en iyi amaç fonksiyonu değerinin $O(n \log n)$ zamanında bulunabileceğini ispatlamışlardır. Hesaplama sonuçları onların algoritmalarının performansının oldukça tatmin edici olduğunu göstermiştir.

Eliiyi (2004) tarafından yapılan çalışmada ise; problemin operasyonel versiyonu ele alınmıştır. Problem, çalışma zamanı kısıtları, yaygınlık zamanı kısıtları ve makine bağımlı iş ağırlıkları olmak üzere üç ayrı ortamda ele alınmıştır. Çalışmada tüm problemlerin karmaşıklık statüleri saptanmış, hepsinin NP-zor olduğu gösterilmiş ve her bir problem için polinom zamanda çözülebilir özel durumlar belirlenmiştir.

Yaygınlık zamanı kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemleri, herhangi bir makine üzerinde işlemlerin toplam başlama ve bitiş zamanları arasında en üst değerin yerleştirildiğinde Yaygınlık zamanı kısıtlamalarını içine alır. Özellikle bir makinenin

yaygınlık zamanı, makine üzerinde yapılan işler arasında en erken geliş zamanı ve en son teslim zamanı arasında ki zaman olarak tanımlanır. Makinenin bu iki zamanı arasında boş zamanlar olabilir ve yaygınlık zamanı tanımına bu zamanlar ilave edilmiştir.

Bir makine için yaygınlık zamanı, makine üzerinde prosesteki *j* son işi ile *i* ilk işi arasındaki $(d_j - r_i)$ olarak tanımlanmaktadır. Makinelerin toplam yaygınlık zamanı üzerinde maruz kalınan limit, taktiksel sabit iş çizelgeleme ve operasyonel sabit iş çizelgeleme modelleri için bir kısıt gerektirir. Eliiyi (2004) çalışmasında, yaygınlık zaman kısıtlarını operasyonel sabit iş çizelgeleme problemine tatbik etmiştir. Adı geçen çalışmada, problemin operasyonel versiyonu ile ilgilenilmiş ve yayılma zamanı üzerine operasyonel sabit iş çizelgeleme problemine kısıt denklemleri eklemiştir.

Sabit iş çizelgeleme probleminde literatürde yaygınlık zamanı kısıtlaması üzerine bir diğer çalışma Fischetti ve ark.'nın (1987) çalışmasıdır. Otobüs sürücüsü çizelgeleme problemi; bir şirketin belirli bir günde yapması gereken servis sayısını minimum maliyetle yerine getirmesini sağlayan bir çizelgeleme problemidir. Yazarlar bu çalışmada, sürücülerin yayılma zamanı kısıtlamalı otobüs şoförü çizelgeleme konusunu ele almışlar ve yaygınlık zamanı kısıtlı Taktiksel sabit iş çizelgeleme probleminin güçlü sezgide NP-zor olduğunu göstermişlerdir. Fischetti ve ark.'ı (1987), problemin matematiksel formülünü sağlamışlar ve problemin çözümü için bir dal sınır algoritması sunmuş, hesaplama sonuçları vermişlerdir.

Fischetti ve ark.'nın (1992) yaptığı diğer bir çalışmada; her bir işlemcinin çalışma zamanı üzerinde veya yaygınlık zamanı üzerinde sınırlandırılarak elde edilmiş, sabit iş çizelgeleme probleminin iki genel sonucu ele alınmıştır. Bunlar otobüs şoförü çizelgeleme probleminde ortaya çıkabilecek, yazarlar tarafından önceki çalışmalarda yer almış NP-zor problemlerdir.

Herbir makine işlerin tamamı yerine bir grup işi yapmaya elverişli olduğu zaman problem, işleyebilirlik kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemi olur. Bu durumda benzerliklerine dayalı iş ve makine sınıfları olabilir ve her bir iş ve makine sınıfı için önceden makineye iş atama fizibilitesi belirlenir. Uçak ve sınıf çizelgelemede işleyebilirlik kısıtlar uygulama alanı bulduğu iki problemdir.

Dondeti ve Emmons (1992) minimum maliyet hedefli işleyebilirlik kısıtlı taktiksel sabit iş çizelgeleme problemini, maksimum network akış problemi üzerinde tekrar tekrar çözerek ve üst sınır yayının sürekli değiştirilmesiyle çözülebilir olduğunu göstermişlerdir.

Kolen ve Kroon (1992), beş özel L matrisiyle toplam makine maliyetini minimize eden işleyebilirlik kısıtlı taktiksel sabit iş çizelgeleme problemini çalışmışlardır.

Dondeti ve Emmons (1993) işleyebilirlik ve maliyetin minimizasyonu hedefli taktiksel sabit iş çizelgeleme problemlerini, tek sınıf çizelgeleme problemi olarak almışlar ve öne alımlı tek sınıf çizelgeleme problemini çalışmışlardır.

Santos ve Zhong (2001), işleyebilirlik kısıtlı ve minimum toplam maliyet hedefli taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi için Takviyeli öğrenme sistemini kullanan bir genetik algoritma geliştirilmiştir.

Kolen ve Kroon (1991) en çok 3 iş ve makine sınıfıyla ve farklı işleyebilirlik yapılarıyla operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri için 5 spesifik L matrisi çalışmışlardır.

Kroon ve ark. (1995) işleyebilirlik kısıtlı operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi için bir yaklaştırma algoritması sunmuşlardır. Algoritmaları, bütün makineler bağımsız olduğunda operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi, minimum maliyet ağ akış problemi olarak modellenebilir gözlemine dayanmaktadır. Her bir makine sınıfı için yan kısıtları olan bir minimum maliyet ağ akış problemi çözmüşlerdir.

Kullanılabilirlik kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemleri, sürekli kullanılabilirlikten daha ziyade sadece belirli zaman aralığı için kullanılabilir herhangi bir makine kullanılırlık kısıtlı sabit iş çizelgeleme problemini verir. Kullanılırlık kısıtları genellikle makinelerin alt kümelerinin veya her makine için ardışık zamanların kaydırılması olarak görülür. Havayolları şirketi örneğinde olduğu gibi; sürekli olarak uçakların havaalanına farklı kalkış-iniş zamanlarında mühendislerin farklı kaydırılması gibi mühendislerin takımı tarafından ardışık saatlerde belirli zaman aralıkları boyunca havaalanı kullanılır.

Eliiyi ve Azizoğlu (2004) çalışmalarında, çizelgeleme probleminde kullanılabilir makine sayısının iş sayısından fazla olması durumunda, işlerin

çizelgelenmesinin kolay olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle yazarlar çalışmalarında makine sayısını çizelgelenecek iş sayısından küçük almışlar ve bir matematiksel formül sunmuşlardır.

3.1.1.1. Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemi

Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri, sabit geliş ve teslim zamanına sahip işlerin özdeş paralel makinelerde işlem görmek üzere her işin w_i ile ağırlıklandırılması üzerine toplam kâr maksimizasyonu amaçlı problemlerdir.

Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi dünya uydularının çizelgelenmesi olarak Wolfe ve Sorenson (2000) tarafından uygulanmıştır. Yüzlerce uydu yörüngesi dünyadan gözlenmiştir ve proses olarak yerden daha uzaklara verilerin gönderilmesi çizelgelenmiştir. Bir uydu pozisyonları boyunca yeryüzüne veriler gönderir. Bununla beraber uyduda iletişim cihazı az sayıda vardır ve bağlantı için yeterli kapasite mevcut değildir. Çalışma, bu uydu çakışmalarını çözmeye yardım etmek ve bir takım önceden inceleme yapmak için öncelik sunar.

Eliiyi (2004) tarafından yapılan çalışmada, sabit iş çizelgeleme problemi içinde operasyonel sabit iş çizelgeleme ve taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi olmak üzere iki varyantlı karmaşık sonuçlar ve matematiksel formülasyonlar sunulmuştur. Her iki varyantın ortak kısıtları ve varsayımları, ayrı ayrı her problemin analizi ve kompleks sonuçları belirtilmiştir.

Hava meydanına inen bir uçak, iniş ve bir sonraki kalkış zamanları arasında bir takım standart bakımdan geçirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle; gecikmeleri önlemek amacıyla sabit aralıklı bakım zorunlulukları vardır. Bu problem güvenlik kuralları nedeniyle lisanslı bir mühendis tarafından en fazla iki farklı uçağın kontrolü yapılabilmektedir. Kroon ve ark.'nın (1995) yaptığı çalışma, özdeş durumlar için varyantlı operasyonel sabit iş çizelgelemede bakım mühendisleri için, bakım muayenesinde kullanılmak üzere öncelikler tanımlanmıştır.

Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi için uygulanabilir alanda belirli kısıtlar önceki bölümde tanımlanmıştır. Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi için tam model aşağıdaki gibidir. (Eliiyi, 2004)

$$Max \sum_{k=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} w_j x_{jk} \qquad (5)$$

Beşinci ifadede prosese giren işlerin toplam ağırlıklarının maksimizasyonu diğer bir ifadeyle toplam kâr maksimizasyonu, amaç fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Özdeş tüm iş ve makineler için ağırlıklar, $w_j=w$ *(her* w_j *için)* olduğu zaman, problem prosese giren tüm işlerin sayısının maksimizasyonunu azaltır.

3.1.1.2. Taktiksel Sabit İş Çizelgeleme Problemi

Taktiksel sabit iş çizelgeleme, sabit geliş ve teslim zamanlı işlerin c_k sabit maliyetli paralel özdeş makineler üzerinde çizelgelenmesi ve maliyet minimizasyonu amaçlı problemlerdir.

Taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi uygulama alanlarından bir tanesi, otobüs şoförü çizelgeleme problemidir. Otobüs sürücüsü çizelgeleme problemi; bir şirketin belirli bir gün için verilen bir otobüs çizelgesinde birliğin kontratını ve şirketin kurallarını yerine getirirken minimum maliyete çizelgeyi yerine getirecek bir şoför grubu bulur. Fischetti ve ark. (1987) çalışmalarında sürücülerin yayılma zamanı kısıtlamalı otobüs şoförü çizelgeleme konusuyla ilgilenmişlerdir.

Eliiyi (2004) yaptığı çalışmada; Taktiksel sabit iş çizelgeleme probleminin formülasyonunda makineler için bir karar değişkenin gerekli olduğunu belirtmiştir.

$$y_k = \begin{cases} 0, & \text{k makinesine bir iş atanmazsa} \\ 1, & \text{aksi halde} \end{cases} \qquad (6)$$

Taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi olayında *m* parametresi makine sayısının üst sınırında olduğuna dikkat etmek gerekir. Sınırların üstündeki geçerli değer iş, *n* sayısıdır. Sonra Taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi için model aşağıdaki şekilde olur:

$$Min \sum_{k=1}^{m} c_k y_k \qquad (7)$$

3.1.2. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar (GA) günlük hayatta karşılaştığımız çözümü imkânsız ya da çok zor olan karmaşık problemlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. GA 1970'li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland ve onun çalışma arkadaşları ile öğrencileri tarafından geliştirilerek bilgisayar ortamına taşınmıştır. Daha sonra John Holland'ın öğrencisi David Goldberg'in "Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu" adlı doktora tezi ile birlikte genetik algoritmaların teorik olmaktan öteye piyasalarda uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg'in bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır (Goldberg, 1989).

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemi olarak ifade edilmektedir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmış olan genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları

bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989). Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan populasyonu eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır.

"Canlıların yapılarında var olan bir takım özellikler sanal ortamlarda taklit edilerek modeller geliştirilmeye ve bu modellerle de karşılaşılan problemlere çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Bu modellerin birisi olan genetik algoritmalar canlıların çevreye uyum ve genetik özelliklerinin araştırılmasıyla geliştirilmiştir" (Kömür ve Altan, 2001).

Genetik Algoritmalar mühendislik problemlerinde optimizasyon amacıyla kullanılmaktadır. Genetik Algoritmaları kör bir arama motoruna benzetebiliriz. Genetik Algoritmalar problemin yapısına bakmaksızın çok karmaşık optimizasyon problemleri için bile çözüm bulabilirler. Problemin karmaşıklığı genetik algoritmalar için hiç önemli değildir. Genetik algoritmaların ihtiyaç duyduğu şey problemin karar değişkenlerinin uygun bir yöntemle kodlanması ve neyin iyi olduğunu genetik algoritmaya belirtmek üzere tasarlanan bir uygunluk (amaç) fonksiyonudur. Genetik algoritmalar çözüm uzayını taramaya bir topluluk ile başladıkları için global optimum çözüme yaklaşmak diğer yöntemlere göre daha kolay olmaktadır. Genel olarak global optimum çözümü bulmayı garanti etmezlerse de buna yakın bir sonucu bulduğu bir çok araştırmayla ispatlanmıştır. Genetik Algoritmalar bir topluluk (başlangıçta bu topluluk genelde rastgele oluşturulur) ile başlar ve bu topluluk üzerinde çaprazlama, seçme ve mutasyon gibi yöntemlerin uygulanmasıyla problemin her aşamasında en iyiye doğru gidiş sağlanır.

"Birçok alanda uygulama imkânı ve uygulamaları olan genetik algoritmaların işleme adımları aşağıdaki gibi açıklanabilir" (Engin, 2001).

- Arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır.
- Genellikle rastsal bir çözüm kümesi seçilir ve başlangıç populasyonu olarak kabul edilir.
- Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
- Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.
- Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
- Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir.
- İterasyon, belirlenen kuşak sayısına ulaşınca işlem sona erdirilir.
- Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir.

"Genetik algoritmalar bir çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom adı verilen ikili bit dizisi ile kodlar. Her noktanın bir uygunluk değeri vardır. Tek bir nokta yerine, genetik algoritmalar bir populasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Her kuşakta, genetik algoritma, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir populasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, populasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir. Bu, Darwin'in rastsal mutasyona ve doğal seçime dayanan evrim modellerine benzemektedir. Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanmasını, uygunlukların hesaplanmasını, çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir" (Jang, 1997).

3.1.2.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri

Genetik Algoritmaların temel prensibi, her adımda bir önceki nesilden yeni bireyler oluşturarak amaç fonksiyonunun uygunluk derecesini artırmak ve sonuç olarak belli kısıtları sağlayacak şekilde amaç fonksiyonunu sağlayan en uygun değerini elde etmektir.

"Genetik Algoritmayı diğer sezgisel yöntemlerden ayıran en belirgin özellikleri aşağıda belirtilmiştir" (Biroğul, 2005).

1. Genetik Algoritma, parametre kodlarıyla uğraşır, parametrelerin kendisiyle doğrudan uğraşmaz.
2. Genetik Algoritma, tek bir alana bağımlı kalarak çözüm aramaz. Yığının tamamında çözümü arar.
3. Genetik Algoritma, ne yaptığını değil nasıl yaptığını bilir. Yani, Genetik Algoritma amaç işlevini kullanır, sapma değerleri ve diğer hata faktörlerini kullanmaz.
4. Genetik Algoritmanın uygulanmasında kullanılan operatörler rastlantısal yöntemlere dayanır, belirli ve kesin yöntemler kullanmaz.

3.1.2.2. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Başlangıçta doğrusal olmayan (non-linear) en iyileme problemlerine uygulanan genetik algoritma, sonraları gezgin satıcı, karesel atama, yerleşim, atölye çizelgeleme, ders/sınav programı hazırlanması gibi problemlerde başarıyla uygulanmıştır. Son yıllarda üretim planlama, tasarım, elektronik ve finansman gibi

farklı ve çok geniş sahaları kapsayan konuların alt birimlerinde yapılan gerek teorik gerekse uygulamalı genetik algoritma çalışmalarının sayısı artmaktadır.

"Genetik Algoritma hem problem çözmek hem de modelleme için kullanılmaktadır. Günümüzde genetik algoritmaların uygulama alanları genişlemektedir. Bunlardan bazılar: Atölye Çizelgeleme, Yapay Sinir Ağları Tasarımı, Görüntü Kontrolü, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Paketleme Problemleri, Makine ve Robot Öğrenmesi, Gezgin Satıcı Problemi, Ekonomik Model Çıkarma v.b sayılabilir" (Mitchell ve Forest, 1994).

Karmaşık problemleri hızlı ve optimale yakın olarak çözebilen genetik algoritmalar, çeşitli problem tiplerine uygulanabilmektedir. Büyük çözüm uzaylarının geleneksel yöntemlerle taranması hesaplama zamanını arttırmaktadır. Ancak bu tip problemlere, genetik algoritmalar ile kısa sürede, kabul edilebilir çözümler bulunabilmektedir (Gonzales ve Fernandez, 2000). Genetik algoritmalar özellikle çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar vermektedir.

"Genetik algoritmaların çizelgeleme problemine ilk uygulama çalışması, Davis tarafından 1985 yılında yapılmıştır. 1987'de Liepins ve arkadaşları, belirli teslim tarihleri ve işlem süreleri olan işlerin çizelgelenmesi problemini araştırmışlardır. Bu problem en basit çizelgeleme problemi olarak adlandırılmaktadır. 1993'de Gupta ve arkadaşları, akış zamanını minimize etme amacını taşıyan tek makine modeli üzerindeki çalışmalarını yayınlamışlardır. Lee ve Kim'de (1995) gecikme ve sarkma cezalarını da modele katan çalışmalarını sunmuşlardır. Cheng ve arkadaşları yine aynı yıl, özdeş paralel makinelerden oluşan model üzerindeki çalışmalarını yayınlamışlardır. Bunun dışında; iş atölyesi çizelgelemesi problemi için Biegel ve Davern'nin 1990'da, akış atölyesi problemi için Badami ve Parks'ın 1991'de, süreç planlama problemi için Vancza ve Markus'un 1991'de yayınlanmış

çalışmaları bulunmaktadır. Genel olarak genetik algoritmalar, çizelgeleme problemlerine optimale yakın çözüm bulmuşlardır. Fakat çözüm bulma süreleri diğer çözüm yöntemlerine göre oldukça hızlı olmuştur" (Emel ve Taşkın, 2002).

3.1.2.3. Genetik Algoritmalarda İşlem Adımları

"Genetik algoritma, rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan bir arama tekniğidir. Akış tipi çizelgeleme probleminin Genetik Algoritmalar ile çözümünde takip edilecek işlem adımları şunlardır" (Engin, 2001):

1. Çizelgelenecek bütün işler dizi olarak kodlanır. Bu diziyi (kromozomu) oluşturan her bir elemana gen denir. Her bir dizi, arama uzayında belirli bir çözüme tekabül eder.
2. Rastsal olarak iş sırası (kromozom) seçilir ve başlangıç populasyonu olarak kabul edilir.
3. Her bir dizi için bir uygunluk değeri, tüm işler için C_{max}–tamamlanma zamanı- hesaplanır, bulunan uygunluk (fitness function) değerleri, dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
4. Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip üreme işlemi gerçekleştirilir.
5. Üreme işleminde, çeşitli genetik operatörler kullanılabilir.
6. Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
7. Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca 4 ve 6 numaralı işlemler devam ettirilir.
8. İterasyon nesil sayısına ulaşınca işlem bitirilir. Uygunluk değeri en yüksek olan dizi (C_{max} değeri en küçük olan) en iyi çözüm olarak seçilir.

3.1.2.4. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler

Genetik Algoritmalarda kullanılan operatörler, varolan populasyon üzerine uygulanan işlemler olarak tanımlanabilir. Bu işlemlerin amacı daha iyi özelliklere sahip yeni nesiller üretmek ve aranan en iyi çözüm alanını genişletmektir. Farklı uygulamalarda farklı operatörler kullanılmakla birlikte genelde üç standart operatör kullanılmaktadır. Bu operatörler:

1. Üreme Operatörü
2. Çaprazlama Operatörü
3. Mutasyon Operatörü

Üreme operatörü, başlangıç populasyonunda rastsal olarak üretilen kromozomların uygunluk değerlerine göre yeni bir populasyon oluşturma işlemidir. Bu işlem, ilerleyen jenerasyonlarda daha yüksek uygunluk değerlerine sahip bireylerin oluşmasını sağlar.

Üreme işlemi belli bir seçme kriterine göre bireylerin seçilip yeni kuşağın oluşturulması işlemidir. Seçme kriterleri uyumluluğu esas alarak birbiriyle uyumlu olan bireyleri seçer. Daha sonra çaprazlama ve mutasyon uygulanacak olan bireylerden daha uyumlu yeni bireylerin ortaya çıkması olasıdır. Bireylerin tamamı uyumluluğa göre seçilebilir veya bir kısmı rasgele seçilerek yeni kuşağa aktarılabilir.

"Üreme operatöründe diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve iyi kalıtsal özellikleri gelecek kuşağa daha iyi aktaracak bireyler seçilir. Üreme operatörü yapay bir seçimdir. Dizileri uygunluk değerlerine göre kopyalama, daha yüksek uygunluk değerine sahip dizilerin, bir sonraki kuşaktaki bir veya daha fazla yavruya daha yüksek bir olasılıkla katkıda bulunması anlamına gelmektedir. Üreme, bireyleri seçme işleminden, seçilmiş bireyleri bir eşleme havuzuna kopyalama işleminden ve havuzda bireyleri çiftler halinde gruplara ayırma işleminden oluşur" (Engin ve Fığlalı, 2002).

Genetik Algoritmaların akış diyagramına göre, uygunluk değerinin hesaplanması adımından sonra mevcut kuşaktan yeni bir populasyon oluşturulması gerekmektedir. Üreme işleminde, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar verilir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Bu yöntem, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımaktadır. Bir dizinin kopyalanma şansı, uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan dizinin uygunluk değerine bağlıdır (Jang, 1997). Seçim yöntemlerine; rulet çemberi yöntemi, yapay seçim yöntemi, kısmi yapay seçim yöntemi, ters yapay seçim yöntemi örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada, Goldberg (1989) tarafından geliştirilen rulet çemberi yöntemi kullanılmıştır. Yeni nesilde yer alacak kromozomların seçim olasılıkları uygunluk fonksiyonu değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Makine verimleri yüksek olan kromozomların rulet çemberi yöntemine göre bir sonraki nesilde yer alma olasılıkları daha yüksektir.

Çaprazlama operatörü Genetik Algoritmalardaki en önemli operatördür. Rastgele seçilen iki kromozomun yapıları kullanılarak yeni bir nesil oluşturulması esasına dayanır. Çaprazlama işlemi genel olarak ikili dizilerin parçalarının değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Farklı uygulamalarda farklı kodlama yöntemleri kullanıldığı için; tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama ve üniform çaprazlama gibi değişik çaprazlama yöntemleri kullanılmaktadır. Burada amaç, bir önceki neslin kromozom genlerinin yerini değiştirerek yeni nesil için kromozomlar üretmek ve böylece varolan uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar elde etmektir.

Çaprazlama, genellikle rastsal olarak seçilen iki kromozom arasındaki genlerin değiştirilmesi ile oluşan yeni nesildir. Bu işlemde, bireylerin kromozomunu oluşturan dizilerin değişik kısımlar yer değiştirerek yeni nesil üretimi sağlanır. Bu yeni nesil populasyonunda daha az uygunluk değerine sahip “zayıf” bireylerin yerine konabilir. Çaprazlama, genetik algoritmada en önemli operatördür ve jenerasyonda yeni çözümlerin üretimini sağlar.

"Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır" (Jang, 1997).

"Genetik Algoritma'nın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri çaprazlama işlemidir. Doğal populasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelir. Üreme yöntemi sonucunda elde edilen yeni populasyondan rastsal olarak iki kromozom seçilir ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulur. Çaprazlama işleminde L, dizi uzunluğu olmak üzere, $1 \leq k \leq L-1$ aralığında üniform olarak k tamsayısı seçilir. Bu tamsayı değerine göre dizi çaprazlamaya tabi tutulur. En basit çaprazlama yöntemi tek noktalı çaprazlama yöntemidir. Tek noktalı çaprazlama yapılabilmesi için her iki kromozomun da aynı gen uzunluğunda olması gerekir. İki noktalı çaprazlamada ise kromozom iki noktadan kesilir ve karşılıklı olarak pozisyonlar yer değiştirilir. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde bir ve iki noktalı çaprazlama kullanılır. Bir ve iki noktalı çaprazlama, beş farklı yöntem ile gerçekleştirilir. Bu yöntemler, pozisyona dayalı, sıraya dayalı, kısmi planlı, dairesel, doğrusal ve sıralı çaprazlama yöntemleridir" (Murata ve ark.,1996).

Genetik Algoritmada çaprazlama işleminden sonra mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla yapılır. Mutasyon, bireyin kromozomunu oluşturan dizideki tek bir elemanın değerinin rastgele olarak değişmesidir. Mutasyon, çözümün alt optimal noktalara takılmasını önleyen ve çok düşük olasılık değeri ile uygulanan operatördür.

Mutasyon operatörü Genetik Algoritmalarda karar verici olarak ikinci derecede rol oynar. Amaç, varolan bir kromozomun genlerinin bir ya da bir kaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi durabilir veya çok

azalabilir. İşte bu sebeple nesildeki kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazılar mutasyona uğratılır.

Yapay sistemlerde mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez, sabit kalır. Doğal populasyonlar da mutasyon oranı oldukça düşüktür. Mutasyon frekansının büyüklüğü Genetik Algoritmanın performansını etkilemektedir (Goldberg, 1989). Mutasyon işlemi bir tek kromozom üzerinde yapılır. Mutasyon frekansına göre, mutasyona uğratılacak sayıdaki diziler populasyondan rastsal olarak seçilir ve belirlenen mutasyon yöntemine göre değişime uğratılır.

3.2. Metot

Bu tez çalışmasında, operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinin çözümü için, Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritma ve genetik algoritma (GA) çözümleri için Delphi programlama dili (Akgöbek, 2005) kullanılarak program yazılımı yapılmıştır. Programlamada kullanılan veri tabanı paradox seçilmiştir. Çalışmada her iki algoritma çözümleri yapılmış olup, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Her iki algoritma çözümleri, atanan iş sayıları ve amaç fonksiyonları bazında yüzde sapmaları göz önünde bulundurulmuştur. Yüzde sapma aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

$$\%SS = \frac{GA - BEA}{BEA} x100 \qquad (8)$$

Problem verileri Eliiyi ve Azizoğlu (2006) ve Eliiyi (2004) tarafından yapılan çalışmalardaki aralıklar seçilmiştir. İş sayıları *n=20*'den başlayarak onarlı artışlarla *100* işe kadar, makine sayıları ise *m=2,3* ve *4* olarak seçilmiştir. İşlerin geliş zamanları, teslim zamanları ve iş ağırlıkları üniform dağılıma göre rastsal olarak üretilmiştir. Geliş zamanları için; iki çeşit geliş zamanı seçilmiştir. Birinci tip geliş

zamanı *[1,200]* arasında rastsal sayılar üretilmiştir. İkinci tip geliş zamanları ise iş sayılarının *%30*'u *[30,40]* arasında, *%30*'u *[130,140]* arasında, kalan *%40*'lık bölümü ise *[0,29], [41,129]* ve *[141,200]* arasında rastsal olarak üretilmiştir. İşlerin teslim zamanları içinde aynı şekilde iki çeşit zaman seçilmiştir. Birinci tip teslim zamanı için *[5,210]* arasında rastsal sayılar üretilmiştir. İkinci tip teslim zamanları ise iş sayılarının; *%30*'u *[35,80]* arasında, *%30*'u *[135,180]* arasında kalan *%40*'lık bölümü ise *[5,34], [81,134]* ve *[181,210]* aralığında rastsal olarak üretilmiştir. İş ağırlıkları üç şekilde seçilmiştir. Birinci tip iş ağırlıkları *[5,10]* aralığında, ikinci tip iş ağırlıkları *[5,40]* aralığında, üçüncü tip iş ağırlıkları ise *[5,70]* aralığında rastsal olarak üretilmiştir. Bu şekilde toplam *324* problem rastsal olarak geliştirilmiştir.

3.2.1. Bouzina ve Emmons Algoritması (BEA)

Bouzina ve Emmons (1996) prosese girecek iş sayılarının maksimizasyonu amaçlı operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi çözümü için bir algoritma sunmuşlardır. Bu algoritma çözümleri ile aşağıda gelen genetik algoritmalar çözümleri karşılaştırılmıştır. Algoritma aşağıdaki gibidir.

Algoritma:

Adım1. S=Ø

Adım2. İşlerin geliş zamanlarına göre kronolojik indeksi.

Adım3. Sıralı işleri hesaba al. Her hazırlık zamanında S kümesine işi ilave et. Eğer, işin hazırlık zamanında hiçbir makine kullanılabilir değilse, S kümesinden en son teslim tarihli işi kaldır.

Aşağıda Bouzina ve Emmons Algoritması için örnek problem çözümü verilmiştir. Örnek problem verileri Tablo 3.1'de görülmektedir. Problemin çözümü Şekil 3.1'de Gantt diyagramında gösterilmiştir. Bouzina ve Emmons algoritmasının tüm problem verilerinin çözümü için delphide yapılan yazılım Şekil 3.2'de görülmektedir.

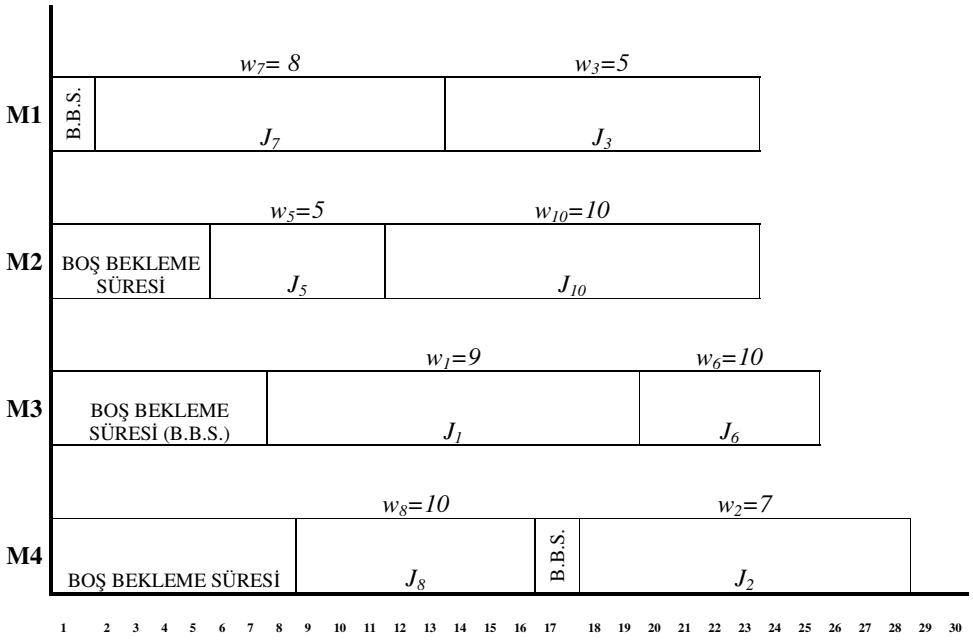
Örnek

Sabit geliş, sabit teslim zamanları ve iş ağırlıkları verilmiş *10* adet işin *4* özdeş paralel makinede çizelgelenmesi ile ilgili problemi yukarıda bulunan Algoritma'ya göre çözüldüğü takdirde; çizelgelenecek işler kümesinin *S={1,2,3,5,6,7,8,10)*, Toplam Ağırlığının $\sum w=64$ ve (maksimum tamamlanma zamanı) $C_{max}=28$ olduğu görülür.

Tablo 3.1 Örnek problem verileri

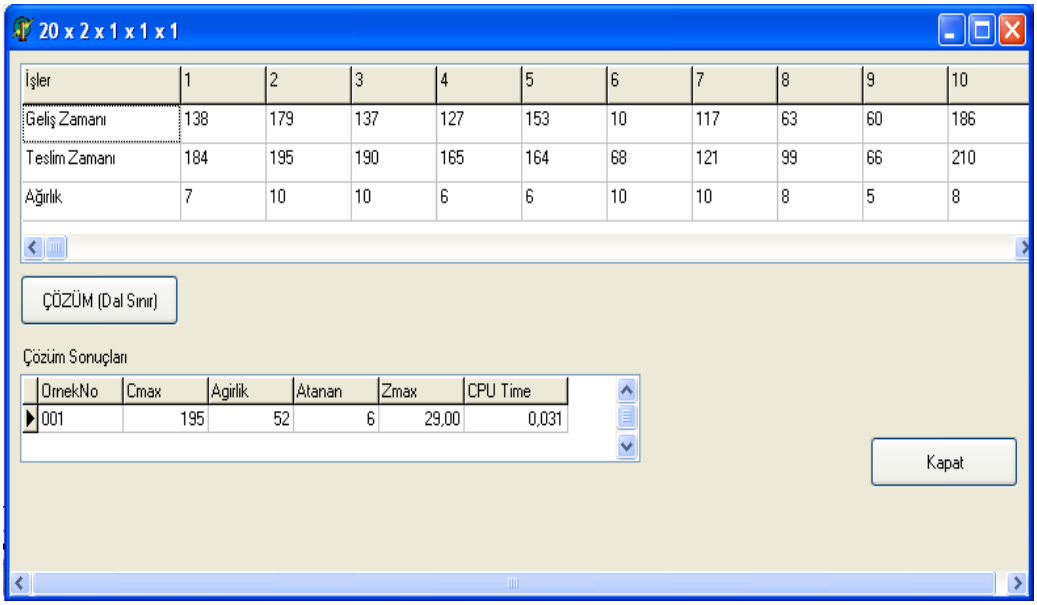
İşler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geliş Zamanı (r_i)	7	17	13	14	5	19	1	8	22	11
Teslim Zamanı (d_i)	19	28	23	18	11	25	13	16	30	23
İş Ağırlıkları(w_i)	9	7	5	9	5	10	8	10	6	10

Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritma çözümü için problem verileri Tablo 3.1'de görülmektedir. Geliş ve teslim zamanları *[1,30]* aralığında, iş ağırlıkları ise *[1,10]* aralığında rastsal olarak üretilmiştir.



Şekil 3.1 Örnek Problemin Gantt Diyagramında Gösterimi

Şekil 3.1'de örnek problemin Gantt diyagramında çözümü gösterilmiştir. *10* adet işin, özdeş *4* makine üzerinde çizelgelenmesi görülmektedir. İşler, geliş sırasına göre boş makinelere yüklenmiş, geliş zamanında dolu olan makinelere ise atama yapılmamıştır. Makinelere atanan işlerin ağırlıkları ise şekilde görüldüğü gibidir. Gantt diyagramında, (maksimum tamamlanma zamanı) $C_{max}=28$, toplam boş bekleme süresi *22* olduğu görülmektedir.

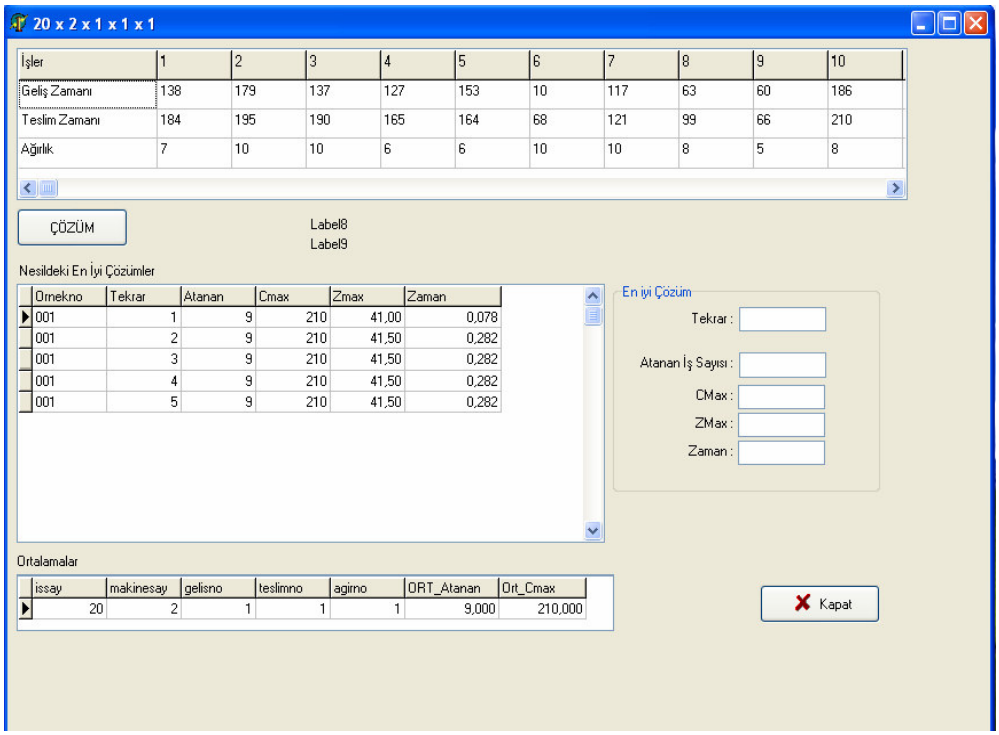


Şekil 3.2 Problemlerin çözüm yazılımında BEA gösterimi

Şekil 3.2'de rastsal olarak üretilen 324 adet problem verilerinin, Bouzina ve Emmons (1996) algoritmasına göre bilgisayar yazılımında çözümlerinin ana menüsü görülmektedir. Program yazılımında çözümler yukarıdaki algoritma'ya göre yapılmaktadır. Bilgisayar programı işlerin atamasını yaptıktan sonra, her probleme ait C_{max} (maksimum tamamlanma zamanı), toplam ağırlık *(w)*, atanan iş sayısını, amaç fonksiyonunu (Z_{max}) ve işlem süresini (CPU time) hesaplamaktadır.

3.2.2. Genetik Algoritma Uygulaması

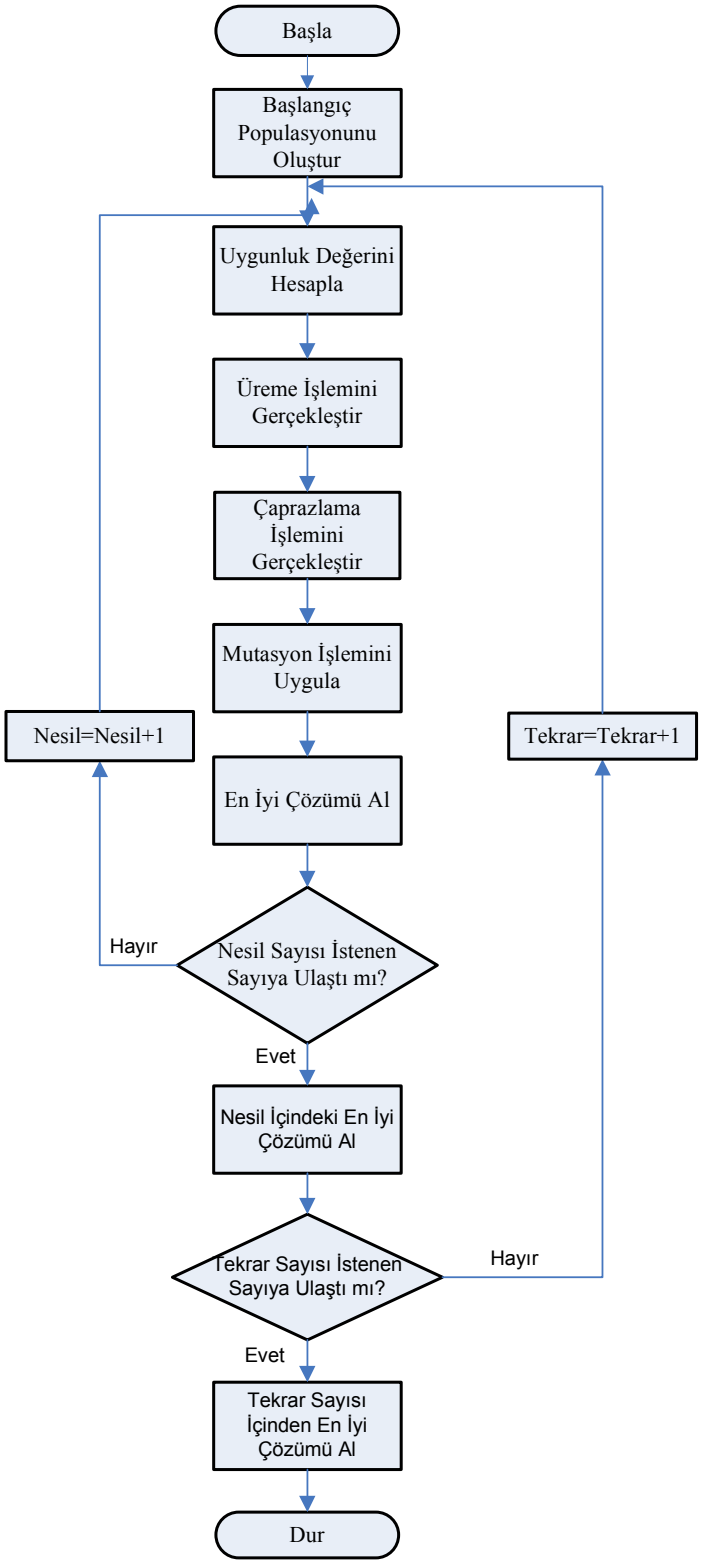
Genetik Algoritmalar, doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alarak iyi nesillerin kendi yaşamlarını muhafaza edip kötü nesillerin elimine edilmesi prensibine dayanmaktadır. Matematiksel modellemenin yapılamadığı veya optimum çözümlerin olmadığı problemlerde genetik algoritmalardan yararlanılır. Bu algoritma, bir önceki nesilden doğan yeni bireylerin şartlara uyum sağlayıp yaşamlarını devam ettirmeleri ilkesine dayanır. Genetik algoritma, uygunluk (fitness function) değerleri ile doğadaki en iyinin yaşamasını gerektirmektedir. Bunu belirlemek içinde üreme, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörleri kullanmaktadır. Bundan dolayıdır ki; genetik algoritmanın önemli özelliklerinden bir tanesi de bir grup üzerinden çözüm araması ve bu şekilde çok sayıdaki çözümlerin içinden en iyi çözümü seçebilmesi olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.3 Problemlerin çözüm yazılımında Genetik Algoritma gösterimi

Şekil 3.3'te rastsal olarak üretilen *324* adet problem verilerinin, genetik algoritmalara göre bilgisayar yazılımında çözümlerinin ana menüsü görülmektedir. Ana menüde her probleme ait rastsal olarak üretilen sabit geliş ve teslim zamanları ile her işe ait iş ağırlıkları bulunmaktadır. Her problem *100* nesil ve *5* tekrar ile çözülmüştür. Ana menünün nesildeki en iyi çözümler bölümünde, her tekrarın *100* nesli içindeki en iyi amaç fonksiyonu (Z_{max}), atanan iş sayıları, maksimum tamamlanma zamanı (C_{max}) ve işlem süreleri (CPU time) görülmektedir. Ortalamalar bölümünde *5* tekrara ait ortalama atanan iş sayısı ve ortalama tamamlanma zamanı (C_{max}) bilgileri yer almaktadır. En iyi çözüm bölümünde ise, genetik algoritma çözümleri içinde her probleme ait en iyi çözüm görülmektedir. Burada (C_{max}) maksimum tamamlanma zamanı, atanan iş sayısı, amaç fonksiyonu (Z_{max}), işlem süresi ve bu sonuçların hangi tekrarda bulunduğu görülmektedir. Bilgisayar yazılımında *324* probleme ait genetik algoritma ve Bouzina ve Emmons çözüm raporlarına programın diğer menüsünden ulaşılabilmektedir.

Şekil5.4 Operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinin genetik algoritmalar ile çözümü için yapılan bilgisayar yazılımının algoritmasını göstermektedir. Yazılım öncelikle kullanıcı tarafından girilen sayı kadar rastsal olarak başlangıç populasyonunu oluşturmakta ve amaç fonksiyonunu (Z_{max}) hesaplamaktadır. Üçüncü adımda, üreme işlemi gerçekleşmekte ve oluşan yeni neslin amaç fonksiyonu (Z_{max}) tekrar hesaplanmaktadır. Dördüncü adımda, yine kullanıcı tarafından değiştirilme imkânı verilen çaprazlama oranına göre çaprazlama işlemi gerçekleşmekte ve oluşan yeni neslin amaç fonksiyonu (Z_{max}) tekrar hesaplanmaktadır. Beşinci adımda, yine kullanıcı tarafından değiştirilme izni verilen mutasyon oranına göre mutasyon işlemi gerçekleşmekte ve mutasyon işlemi sonucunda oluşan yeni neslin amaç fonksiyonu (Z_{max}) tekrar hesaplanmaktadır. Bu adımlar problem nesil ve tekrar sayısına ulaşana kadar devam etmektedir. Her adımda oluşan nesillerin amaç fonksiyon (Z_{max}) değerleri bilgisayarda saklı tutulmaktadır. Nesil ve tekrar sayıları içinden en iyi çözümler, raporlar bölümünde görülebilmektedir.



Şekil 3.4 Genetik Algoritma Diyagramı

Uygulamada, iş çizelgeleme problemleri için temel kodlama (her bir genin bir işi temsil ettiği) kullanılmıştır. Kromozom dizisi üzerinde her bir rakam bir işi temsil etmektedir (Cleveland ve Smith, 1989). Algoritmanın bu ilk adımına populasyon sayısını seçerek başlanır ve bu seçimden sonra rastsal olarak başlangıç populasyonu kadar kromozom seçilir.

Başlangıç populasyonu alt sınırı *5* üst sınırı *100* olacak şekilde programlanmıştır. Uygulamada, başlangıç populasyonu *10* seçilmiştir.

Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu fonksiyon genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. Uygunluk fonksiyonu, parametrelere göre hesaplama yaparak kromozomların uygunluğunu bulur. Bu kısım uygulamada Genetik Algoritmamızın 2. adımını oluşturmaktadır. Çoğu zaman genetik algoritmanın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlı olmaktadır.

2. Adımda başlangıç populasyonundaki her bir dizinin (kromozom) Uygunluk (fitness function) değeri hesaplanmıştır. Her bir işin w_j ile ağırlıklandırılması ve maksimum sayıda işin prosese tabi tutulması amaçlı olan operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinde amaç fonksiyonu; işleme tabi tutulan her bir işin toplam ağırlıkları ve atanan iş sayıları amaçlarına kullanıcı tarafından değiştirme yetkisi bulunan oranlar verilmiştir. Uygulamada bu iki oran *%50 - %50* olarak alınmıştır. Genetik algoritmada kullanılan her operatörden sonra her bir kromozom için makinelere atanan iş sayıları, toplam iş ağırlıkları, maksimum tamamlanma zamanları (C_{max}), amaç fonksiyonları (Z_{max}) ve işlem süreleri (CPU time) bulunmuştur. Amaç fonksiyonu (Z_{max}) ise; atanan iş sayıları ve toplam ağırlıkların programda verilen oranlar ile çarpımından elde edilen toplam değer olarak alınmıştır.

Kromozomlarda üreme işleminin gerçekleştirilmesi kromozomların uygunluk fonksiyonu değerlerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet çemberi yöntemi, turnuva seçimi gibi yöntemler kullanılır. Bu çalışmada kullanılan rulet çemberi yöntemi aşağıda açıklanmıştır.

1. Tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloya yazılır,
2. Bu değerler toplanır,

3. Tüm bireylerin uygunluk değerleri toplama bölünerek *[0,1]* aralığında sayılar elde edilir. Bu sayılar bireylerin seçilme olasılıklarıdır. Sayıların hepsi bir tabloda tutulur.

Rastsal olarak üretilen sayılar yukarıda elde edilen *[0,1]* aralığına denk gelen kromozomlar tekrar seçilerek üreme işlemi gerçekleştirilir.

3. Adımda Üreme yöntemi olarak, Rulet çemberi yöntemi kullanılmıştır. Başlangıç populasyonunda oluşturulan her bir kromozomun uygunluk değerlerine göre seçim olasılığı hesaplanmıştır. Bu oranlara göre program tarafından üniform dağılıma göre oluşturulan rastsal sayılarla yeni nesil kromozomları bulunmuştur. Bu yeni nesil kromozomlarının yeni uygunluk değerleri Adım 2'deki gibi yeniden hesaplanmıştır.

4. Adımda Çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada literatüre uygun olarak çaprazlama oranı *%80* olarak alınmıştır.

5. Adımda kullanılan mutasyon oranı ise literatüre uygun olarak, *%20* değeri seçilmiştir.

Uygulamada Nesil sayısı *100*, tekrar sayısı *5* defa olarak alınmış yani, beşinci adıma kadar yapılan tüm işlemler bir nesil olmak üzere her problem için *100* Nesil, *5* tekrarlı olarak çözülmüştür. Bu çözümler neticesinde elde edilen en yüksek uygunluk değeri *(Z_{max})* ve makinelere atanan iş sayısı değerleri hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Eliiyi ve Azizoğlu (2006) ve Eliiyi (2004) tarafından yapılan çalışmalardaki aralıklar seçilerek, rastsal olarak oluşturulan 324 adet problem verisi öncelikle Bouzina ve Emmons (1996) tarafından geliştirilen algoritma yardımıyla, yapılan delphi yazılımı ile çözülmüştür. Aynı parametreli problem verileri yine delphi programlama diliyle yazılan genetik algoritmalar programında çözümleri yapılmıştır. Her iki çözümlerin atanan iş sayıları, maksimum tamamlanma zamanları *(C_{max}),* amaç fonksiyonları *(Z_{max})* ve işlem süreleri (CPU time) karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki algoritmaya ait çözümlerin yüzde sapmaları karşılaştırılmıştır.

Genetik algoritma ile Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerinin işlem süreleri düşük değerler çıktığından dikkate alınmamıştır. Her iki çözüm sonuçları seçilen parametre aralığı için genetik algoritmaların daha iyi çözümler verdiğini göstermiştir.

Bütün problem çözümleri Intel Pentium 4 1.7 GHz işlemcili ve 128 MB DdRam özellikli bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritma ve Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerine ait tüm sonuçlar ekler kısmında yer almaktadır.

Genetik algoritma çözümlerinde, literatüre uygun olarak, çaprazlama oranı yüksek ve mutasyon oranı düşük seçilmiştir. (Cavory ve ark., 2005) Genetik algoritma çözümlerinde kullanılan parametreler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.3'te *n=20* iş problemlerinin, Tablo 4.4'te *n=30* iş problemlerinin, Tablo 4.5'te *n=40* iş problemlerinin, Tablo 4.6'da *n=50* iş problemlerinin, Tablo 4.7'de *n=60* iş problemlerinin, Tablo 4.8'de *n=70* iş problemlerinin, Tablo 4.9'da *n=80* iş problemlerinin, Tablo 4.10'da *n=90* iş problemlerinin ve Tablo 4.11'de *n=100* iş problemlerinin, Genetik algoritma çözümleri ile Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerinin atanan iş sayıları ve amaç fonksiyon *(Z_{max})* sonuçları yer almaktadır. Yine aynı tablolarda, her iki algoritmaya ait atanan iş sayılarının ve amaç fonksiyonlarının *(Z_{max})* yüzde sapma sonuçlarıda gösterilmektedir.

Tablo 4.2 Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler

Başlangıç Populasyon Sayısı	Mutasyon Oranı (%)	Çaprazlama Oranı (%)	Nesil Sayısı	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı
10	20	80	100	5	8

Tablo 4.2'de Genetik algoritma çözümlerinde kullanılan parametre operatörlerinin değerleri verilmiştir. Bu değerler literatüre uygun olarak seçilmiştir.

Tablo 4.3 *n=20* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
1	20	2	1	1	1	9	41,50	6	29,00	50	43,10
2					2	7	116,00	5	81,50	40	42,33
3					3	9	236,50	5	103,00	80	129,61
4				2	1	10	48,00	8	34,00	25	41,18
5					2	11	119,50	10	104,50	10	14,35
6					3	10	207,50	9	168,00	11	23,51
7			2	1	1	8	34,50	4	15,00	100	130,00
8					2	8	94,00	5	58,50	60	60,68
9					3	5	130,50	4	65,00	25	100,77
10				2	1	14	54,00	9	34,50	56	56,52
11					2	13	190,50	10	128,00	30	48,83
12					3	8	187,50	6	92,50	33	102,70
13		3	1	1	1	10	45,50	7	27,50	43	65,45
14					2	10	151,00	5	74,50	100	102,68
15					3	11	231,00	9	150,50	22	53,49
16				2	1	14	61,50	12	51,00	17	20,59
17					2	14	179,50	12	152,50	17	17,70
18					3	12	276,50	11	199,00	9	38,94
19			2	1	1	11	50,50	10	46,00	10	9,78
20					2	9	127,00	6	59,00	50	115,25
21					3	11	312,50	7	156,50	57	99,68
22				2	1	13	60,50	12	50,00	8	21,00
23					2	9	105,00	7	77,00	29	36,36
24					3	12	250,50	9	179,00	33	39,94
25		4	1	1	1	16	65,00	12	52,50	33	23,81
26					2	9	136,50	9	104,50	0	30,62
27					3	16	348,50	14	278,00	14	25,36
28				2	1	16	68,50	16	67,50	0	1,48
29					2	15	161,50	12	106,00	25	52,36
30					3	14	239,00	12	185,00	17	29,19
31			2	1	1	15	66,00	11	50,50	36	30,69
32					2	10	147,50	9	108,00	11	36,57
33					3	11	228,00	6	112,00	83	103,57
34				2	1	16	70,00	15	64,00	7	9,38
35					2	15	199,00	12	150,50	25	32,23
36					3	16	327,00	14	267,00	14	22,47

Tablo 4.3'te *n=20* iş için problemlerin çözümleri görülmektedir. Sadece *2* sonuçta genetik algoritmalar ile Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerinde atanan iş sayıları eşit sonuç vermiş, diğer sonuçların tümünde genetik algoritma çözümleri daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.4 *n=30* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
37	30	2	1	1	1	12	50,50	8	33,00	50	53,03
38					2	13	171,50	6	54,50	117	214,68
39					3	9	225,50	8	152,00	13	48,36
40				2	1	13	57,50	7	32,00	86	79,69
41					2	12	152,50	8	98,00	50	55,61
42					3	13	301,50	9	172,00	44	75,29
43			2	1	1	9	41,50	5	27,00	80	53,70
44					2	10	128,00	5	74,50	100	71,81
45					3	10	265,50	4	64,50	150	311,63
46				2	1	12	55,50	10	46,50	20	19,35
47					2	10	175,00	8	125,00	25	40,00
48					3	10	258,50	7	152,00	43	70,07
49		3	1	1	1	12	54,00	8	36,50	50	47,95
50					2	12	169,00	9	98,00	33	72,45
51					3	10	280,50	7	142,50	43	96,84
52				2	1	16	72,50	13	56,00	23	29,46
53					2	17	232,50	14	180,00	21	29,17
54					3	15	335,50	12	198,00	25	69,44
55			2	1	1	12	54,50	6	25,50	100	113,73
56					2	11	156,50	6	93,50	83	67,38
57					3	9	235,00	7	139,00	29	69,06
58				2	1	18	75,00	13	50,50	38	48,51
59					2	13	146,00	11	114,50	18	27,51
60					3	14	397,00	14	358,50	0	10,74
61		4	1	1	1	13	49,00	11	46,50	18	5,38
62					2	17	234,00	11	138,00	55	69,57
63					3	16	315,00	10	132,50	60	137,74
64				2	1	22	93,00	20	84,50	10	10,06
65					2	17	177,50	9	83,50	89	112,57
66					3	24	545,00	21	429,00	14	27,04
67			2	1	1	14	55,00	11	47,00	27	17,02
68					2	15	186,00	12	136,50	25	36,26
69					3	12	281,00	7	103,50	71	171,50
70				2	1	20	92,50	17	77,00	18	20,13
71					2	21	237,00	17	168,50	24	40,65
72					3	16	332,00	12	258,50	33	28,43

Tablo 4.4 *n=30* iş problem çözümlerinde, sadece *1* sonuçta atanan iş sayılarında, Bouzina ve Emmons algoritması ile genetik algoritmalar eşit çıkmıştır. Diğer tüm sonuçlarda genetik algoritmaların daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Amaç fonksiyonlarında *(Z_{max})* genetik algoritmalar, Bouzina ve Emmons algoritmasına göre *6* sonuçta *%100*'den daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 4.5 *n=40* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
73	40	2	1	1	1	14	63,50	12	54,50	17	16,51
74					2	12	171,50	9	110,00	33	55,91
75					3	12	262,00	5	109,00	140	140,37
76				2	1	11	49,00	8	34,50	38	42,03
77					2	12	180,50	9	129,50	33	39,38
78					3	16	368,00	13	275,00	23	33,82
79			2	1	1	8	35,50	5	20,00	60	77,50
80					2	9	118,00	6	81,00	50	45,68
81					3	12	247,50	8	189,00	50	30,95
82				2	1	11	47,00	7	30,50	57	54,10
83					2	14	161,50	12	111,50	17	44,84
84					3	15	314,00	12	255,50	25	22,90
85		3	1	1	1	13	52,50	10	41,50	30	26,51
86					2	18	261,00	13	175,50	38	48,72
87					3	15	332,50	9	153,00	67	117,32
88				2	1	19	84,00	15	64,00	27	31,25
89					2	20	294,00	13	141,50	54	107,77
90					3	18	386,00	14	224,50	29	71,94
91			2	1	1	16	65,50	5	19,00	220	244,74
92					2	14	174,50	7	84,00	100	107,74
93					3	10	232,50	6	101,50	67	129,06
94				2	1	17	77,00	12	49,00	42	57,14
95					2	13	183,00	12	162,50	8	12,62
96					3	18	406,50	14	264,00	29	53,98
97		4	1	1	1	19	81,00	9	42,00	111	92,86
98					2	16	236,00	13	178,00	23	32,58
99					3	17	349,00	13	216,00	31	61,57
100				2	1	18	79,00	16	68,00	13	16,18
101					2	21	284,50	20	250,00	5	13,80
102					3	19	351,00	18	257,00	6	36,58
103			2	1	1	17	71,50	11	51,50	55	38,83
104					2	15	217,50	8	99,50	88	118,59
105					3	15	293,50	12	169,50	25	73,16
106				2	1	25	114,00	21	89,00	19	28,09
107					2	18	213,50	14	150,00	29	42,33
108					3	20	428,50	12	238,50	67	79,66

Tablo4.5'teki sonuçların tümünde genetik algoritmaların, Bouzina ve Emmons algoritmasına göre atanan iş sayılarında ve amaç fonksiyonlarında *(Z_{max})* daha iyi çözümler verdiği görülmektedir.

Tablo 4.6 *n=50* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
109	50	2	1	1	1	15	65,50	7	34,00	114	92,65
110					2	14	165,00	8	87,00	75	89,66
111					3	11	229,50	9	194,50	22	17,99
112				2	1	15	67,50	12	53,00	25	27,36
113					2	11	176,50	10	129,00	10	36,82
114					3	17	313,00	7	119,50	143	161,92
115			2	1	1	12	52,00	5	22,50	140	131,11
116					2	13	153,00	8	92,50	63	65,41
117					3	7	177,00	6	128,00	17	38,28
118				2	1	14	62,00	10	39,50	40	56,96
119					2	11	144,00	9	93,00	22	54,84
120					3	11	284,50	9	207,00	22	37,44
121		3	1	1	1	18	75,50	13	54,50	38	38,53
122					2	16	199,50	10	117,00	60	70,51
123					3	14	280,00	13	277,50	8	0,90
124				2	1	19	83,50	15	66,50	27	25,56
125					2	22	268,00	18	245,50	22	9,16
126					3	17	371,50	10	183,50	70	102,45
127			2	1	1	13	53,00	11	41,00	18	29,27
128					2	15	189,50	8	100,00	88	89,50
129					3	11	249,00	9	152,00	22	63,82
130				2	1	17	76,50	15	63,50	13	20,47
131					2	20	254,00	15	193,50	33	31,27
132					3	17	331,00	15	249,50	13	32,67
133		4	1	1	1	20	85,00	11	42,50	82	100,00
134					2	18	222,00	13	141,50	38	56,89
135					3	23	446,00	9	150,00	156	197,33
136				2	1	28	126,00	19	84,00	47	50,00
137					2	23	308,50	21	236,50	10	30,44
138					3	25	512,00	20	401,00	25	27,68
139			2	1	1	20	92,50	10	44,00	100	110,23
140					2	18	269,50	9	95,50	100	182,20
141					3	20	415,00	10	170,50	100	143,40
142				2	1	19	78,50	15	65,00	27	20,77
143					2	24	309,50	17	202,50	41	52,84
144					3	20	417,50	16	255,50	25	63,41

n=50 İş için problem verilerinin çözümleri Tablo 4.6'da görülmektedir. *7* adet sonuçta, genetik algoritma çözümleri, Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerine göre %100'den daha fazla atanan iş sayısı ve amaç fonksiyonuna *(Z_{max})* ulaşmıştır. *50* İş problemleri için tüm sonuçlarda genetik algoritma sonuçları Bouzina ve Emmons algoritmasına göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.7 *n=60* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	M	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
145	60	2	1	1	1	14	60,00	10	40,00	40	50,00
146					2	14	181,50	4	30,00	250	505,00
147					3	14	299,00	6	114,50	133	161,14
148				2	1	17	68,50	9	36,50	89	87,67
149					2	12	168,50	7	71,00	71	137,32
150					3	17	378,50	8	172,50	113	119,42
151			2	1	1	12	56,00	7	33,50	71	67,16
152					2	11	130,00	7	97,00	57	34,02
153					3	11	291,50	6	106,50	83	173,71
154				2	1	17	68,50	11	44,50	55	53,93
155					2	15	204,00	11	119,50	36	70,71
156					3	14	327,50	10	222,50	40	47,19
157		3	1	1	1	20	88,50	12	52,00	67	70,19
158					2	16	208,50	9	103,50	78	101,45
159					3	18	380,00	12	189,00	50	101,06
160				2	1	21	87,00	20	83,00	5	4,82
161					2	19	192,50	14	138,50	36	38,99
162					3	24	499,50	20	366,00	20	36,48
163			2	1	1	17	71,50	9	34,50	89	107,25
164					2	14	189,00	7	92,50	100	104,32
165					3	16	362,00	7	171,50	129	111,08
166				2	1	17	76,00	14	61,50	21	23,58
167					2	20	235,00	17	188,00	18	25,00
168					3	21	531,50	16	340,50	31	56,09
169		4	1	1	1	24	103,00	10	41,00	140	151,22
170					2	23	285,50	16	198,00	44	44,19
171					3	19	419,00	13	331,00	46	26,59
172				2	1	25	116,00	19	81,00	32	43,21
173					2	31	360,00	22	267,00	41	34,83
174					3	23	417,50	15	281,00	53	48,58
175			2	1	1	17	68,50	11	44,00	55	55,68
176					2	16	233,00	14	215,50	14	8,12
177					3	19	407,00	15	253,00	27	60,87
178				2	1	27	121,00	17	76,50	59	58,17
179					2	24	307,50	20	206,00	20	49,27
180					3	22	510,00	15	352,50	47	44,68

Tablo 4.7 *n=60* İş için çözümleri göstermektedir. 146. No'lu örnek göz önüne alındığında genetik algoritma çözümleri, Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerine göre atanan iş sayısında *%250*, amaç fonksiyonunda *(Z_{max}), %505* daha iyi sonuç vermiştir. *60* İşli problemlerin tüm çözümlerinde genetik algoritma çözümleri Bouzina ve Emmons çözümlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.8 *n=70* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	W	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
181	70	2	1	1	1	14	65,00	7	34,00	100	91,18
182					2	19	240,00	9	107,00	111	124,30
183					3	15	328,50	8	181,00	88	81,49
184				2	1	17	71,50	10	41,50	70	72,29
185					2	18	218,50	8	97,50	125	124,10
186					3	18	413,50	14	277,50	29	49,01
187			2	1	1	12	54,50	5	18,00	140	202,78
188					2	11	148,00	4	40,50	175	265,43
189					3	11	245,00	8	112,50	38	117,78
190				2	1	18	77,50	10	40,00	80	93,75
191					2	14	174,00	8	73,50	75	136,73
192					3	16	341,00	8	110,00	100	210,00
193		3	1	1	1	18	80,00	9	40,00	100	100,00
194					2	17	209,50	13	157,00	31	33,44
195					3	17	341,00	13	198,00	31	72,22
196				2	1	19	77,50	12	51,00	58	51,96
197					2	23	287,50	12	135,50	92	112,18
198					3	18	471,00	14	294,50	29	59,93
199			2	1	1	20	85,00	12	51,00	67	66,67
200					2	17	231,50	7	65,00	143	256,15
201					3	15	338,50	8	194,50	88	74,04
202				2	1	21	88,00	11	45,00	91	95,56
203					2	18	264,00	11	152,00	64	73,68
204					3	18	437,00	19	450,50	-5	-3,00
205		4	1	1	1	24	107,50	12	47,50	100	126,32
206					2	22	298,50	12	174,00	83	71,55
207					3	24	507,50	20	397,50	20	27,67
208				2	1	28	115,00	18	75,00	56	53,33
209					2	24	281,50	21	228,00	14	23,46
210					3	29	561,00	15	322,50	93	73,95
211			2	1	1	18	85,00	9	37,00	100	129,73
212					2	15	194,50	8	119,50	88	62,76
213					3	17	376,00	9	170,00	89	121,18
214				2	1	29	131,00	21	97,00	38	35,05
215					2	22	243,00	19	209,50	16	15,99
216					3	29	584,50	21	411,50	38	42,04

Buraya kadar yapılan tüm çözümler içinde Bouzina ve Emmons algoritmasının genetik algoritmaya göre daha iyi sonuç verdiği problem Tablo 4.8'de 204 no'lu örnekte görülmektedir. Tablo 4.8'deki diğer problem çözümlerinde genetik algoritma çözümleri Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.9 *n=80* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
217	80	2	1	1	1	13	59,00	9	43,00	44	37,21
218					2	21	261,00	6	65,00	250	301,54
219					3	12	267,50	8	199,50	50	34,09
220				2	1	19	86,50	11	50,00	73	73,00
221					2	20	232,50	14	152,50	43	52,46
222					3	18	327,50	11	235,00	64	39,36
223			2	1	1	11	49,00	8	32,00	38	53,13
224					2	13	176,00	7	80,50	86	118,63
225					3	11	248,00	13	203,50	-15	21,87
226				2	1	19	90,00	10	40,50	90	122,22
227					2	17	261,50	8	97,50	113	168,21
228					3	15	267,50	11	140,50	36	90,39
229		3	1	1	1	19	77,00	5	21,50	280	258,14
230					2	19	236,00	11	98,00	73	140,82
231					3	20	434,50	11	228,00	82	90,57
232				2	1	22	97,50	15	67,00	47	45,52
233					2	26	272,50	14	178,50	86	52,66
234					3	23	472,50	18	345,50	28	36,76
235			2	1	1	15	66,50	10	42,00	50	58,33
236					2	15	180,50	10	108,00	50	67,13
237					3	18	391,50	10	152,50	80	156,72
238				2	1	22	95,50	14	61,50	57	55,28
239					2	23	259,50	15	196,00	53	32,40
240					3	22	443,00	16	312,00	38	41,99
241		4	1	1	1	20	88,00	9	43,50	122	102,30
242					2	28	337,00	15	161,00	87	109,32
243					3	23	433,00	15	269,00	53	60,97
244				2	1	28	121,00	19	78,00	47	55,13
245					2	28	307,50	23	245,00	22	25,51
246					3	26	599,50	30	622,00	-13	-3,62
247			2	1	1	22	94,00	11	42,00	100	123,81
248					2	17	230,00	7	77,50	143	196,77
249					3	24	469,50	19	369,00	26	27,24
250				2	1	29	126,50	20	84,50	45	49,70
251					2	22	304,50	14	168,00	57	81,25
252					3	27	518,50	20	401,50	35	29,14

Tablo 4.9'da *n=80* iş problemleri için yapılan çözümlerde, atanan iş sayısı olarak iki çözümde, amaç fonksiyonu *(Z_{max})* olarak bir tane çözümde Bouzina ve Emmons algoritma çözümleri genetik algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Kalan diğer çözümlerde genetik algoritma çözümlerinin Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 4.10 *n=90* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
253	90	2	1	1	1	14	60,50	8	35,00	75	72,86
254					2	14	186,50	8	83,00	75	124,70
255					3	17	385,50	5	120,00	240	221,25
256				2	1	23	96,00	11	47,00	109	104,26
257					2	19	211,50	12	139,00	58	52,16
258					3	22	455,50	10	221,50	120	105,64
259			2	1	1	15	66,50	4	15,50	275	329,03
260					2	10	148,50	5	45,50	100	226,37
261					3	15	290,00	10	182,00	50	59,34
262				2	1	16	69,50	8	34,00	100	104,41
263					2	18	234,00	10	126,00	80	85,71
264					3	19	374,50	12	270,50	58	38,45
265		3	1	1	1	22	94,00	14	61,50	57	52,85
266					2	21	295,50	9	155,50	133	90,03
267					3	23	510,50	10	158,50	130	222,08
268				2	1	29	126,50	17	76,00	71	66,45
269					2	26	306,50	20	239,50	30	27,97
270					3	23	499,00	14	285,50	64	74,78
271			2	1	1	19	88,50	12	54,00	58	63,89
272					2	22	309,50	8	87,50	175	253,71
273					3	14	280,00	9	115,00	56	143,48
274				2	1	27	113,00	20	79,50	35	42,14
275					2	21	286,00	18	201,50	17	41,94
276					3	25	508,00	21	343,50	19	47,89
277		4	1	1	1	25	110,00	16	70,50	56	56,03
278					2	25	352,50	8	101,00	213	249,01
279					3	25	475,50	8	115,50	213	311,69
280				2	1	37	167,00	20	82,00	85	103,66
281					2	24	304,50	18	219,50	33	38,72
282					3	32	709,50	18	334,00	78	112,43
283			2	1	1	18	80,50	13	59,50	38	35,29
284					2	21	261,50	9	127,50	133	105,10
285					3	22	485,00	14	262,50	57	84,76
286				2	1	30	138,00	22	93,00	36	48,39
287					2	33	402,50	25	264,00	32	52,46
288					3	30	602,00	16	270,50	88	122,55

Tablo 4.10 sonuçlarının tümünde genetik algoritma çözümlerinin Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Amaç fonksiyonlarında *(Z_{max})* genetik algoritmalar, Bouzina ve Emmons algoritmasına göre *16* sonuçta *%100*'den daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 4.11 *n=100* iş problem çözümleri

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons Algoritması		Yüzde Sapma (%)	
Örnek No	n	m	r	d	w	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}	Atanan İş Sayısı	Z_{max}
289	100	2	1	1	1	17	74,50	12	47,50	42	56,84
290					2	14	192,00	7	55,00	100	249,09
291					3	13	240,00	8	124,50	63	92,77
292				2	1	21	88,50	12	49,50	75	78,79
293					2	16	195,00	9	131,00	78	48,85
294					3	17	362,50	11	203,00	55	78,57
295			2	1	1	11	48,50	9	39,50	22	22,78
296					2	13	182,00	6	79,50	117	128,93
297					3	13	271,50	7	152,00	86	78,62
298				2	1	17	69,50	11	49,00	55	41,84
299					2	20	232,50	7	85,00	186	173,53
300					3	14	284,00	13	255,00	8	11,37
301		3	1	1	1	24	106,50	10	41,50	140	156,63
302					2	20	233,50	7	77,00	186	203,25
303					3	19	297,00	13	201,50	46	47,39
304				2	1	25	114,00	15	62,00	67	83,87
305					2	24	268,00	22	200,50	9	33,67
306					3	21	521,50	16	399,00	31	30,70
307			2	1	1	16	67,00	9	35,50	78	88,73
308					2	20	222,00	14	151,00	43	47,02
309					3	17	332,50	6	71,00	183	368,31
310				2	1	29	128,00	15	66,00	93	93,94
311					2	28	349,50	24	255,00	17	37,06
312					3	26	528,50	19	328,00	37	61,13
313		4	1	1	1	31	133,00	9	38,00	244	250,00
314					2	25	336,50	10	113,50	150	196,48
315					3	25	480,50	16	255,00	56	88,43
316				2	1	30	137,00	18	81,00	67	69,14
317					2	29	373,50	19	220,50	53	69,39
318					3	30	573,00	21	358,00	43	60,06
319			2	1	1	22	96,50	15	61,00	47	58,20
320					2	21	307,00	13	156,00	62	96,79
321					3	17	440,50	15	329,00	13	33,89
322				2	1	27	120,50	23	103,00	17	16,99
323					2	35	402,50	23	243,00	52	65,64
324					3	30	693,00	23	467,00	30	48,39

Tablo 4.11'de *n=100* iş için çözümler görülmektedir. Tüm çözüm sonuçlarında genetik algoritma çözümlerinin, Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sabit iş çizelgeleme problemleri, sabit geliş ve termin zamanlarına sahip işlerin paralel özdeş makinalara yerleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Hizmet ve imalat sektöründe sıkça rastlanan bir problem olmasına rağmen, literatürde sabit iş çizelgelemesi üzerine az sayıda çalışma mevcuttur. Sabit iş çizelgeleme problemleri üzerine yapılan çalışmalarda, makina kullanım maliyetlerinin minimizasyonu (taktiksel sabit iş çizelgeleme problemi) veya işlerin toplam kâr maksimizasyonu (operasyonel sabit iş çizelgeleme problemi) hedeflenmiştir.

Sabit iş çizelgeleme problemleri NP-zor olarak bilinen problem sınıfına girmekte ve optimum çözümü çok zor bulunan veya sadece gerçek çözüme yaklaşık çözümleri olan problem türüdür. Bu tezde; rastlantısal arama metodu olan ve optimum çözümü bulmayı garanti etmezse de buna yakın çözümü bulduğu ispatlanmış olan genetik algoritma ile operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinin çözümleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, operasyonel sabit iş çizelgeleme problemlerinde, genetik algoritmalar ile Bouzina ve Emmons (1996) algoritma çözümleri karşılaştırılmıştır. Literatüre uygun olarak toplam *324* adet problem verisi rastsal oluşturulmuştur. Her iki algoritma çözümleri için Delphi programlama dilinde bilgisayar yazılımı yapılmıştır. Genetik algoritma çözümlerinde nesil sayısı *100*, tekrar sayısı *5* alınmıştır. Genetik algoritmada, her nesildeki en iyi çözümler alınmak üzere toplam *1620* adet çözüm elde edilmiştir. Bouzina ve Emmons algoritması çözümlerinde ise toplam *324* adet çözüm sonucu elde edilmiştir.

Bu çözüm sonuçları içersinde makinelere atanan iş sayıları göz önüne alındığında, sadece *3* adet çözüm sonucunda, Bouzina ve Emmons algoritma sonuçlarının genetik algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bouzina ve Emmons algoritma çözümleri ile genetik algoritma çözümleri arasında *3* tane çözüm aynı çıkmış, kalan *318* adet sonuçta ise genetik algoritma çözümleri, Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. *259* Çözümde genetik algoritma atanan iş sayılarının yüzde sapması, Bouzina ve Emmons algoritması atanan iş sayısı yüzde sapmasına göre

%100'den daha az oranla, *18* adet çözümde *%100* yüzde sapma ile, *41* adet çözüm sonucunda ise *%100*'den daha fazla yüzde sapmayla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Amaç fonksiyonu (Z_{max}) göz önüne alındığında ise, toplam *324* adet çözüm içersinden sadece *2* çözüm sonucunda, Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerinin, genetik algoritmaya göre daha iyi çözüm verdiği görülmüştür. Kalan *322* adet çözüm sonucunda ise, genetik algoritma çözümlerinin, Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Her iki algoritmanın amaç fonksiyonlarının (Z_{max}) yüzde sapmaları göz önüne alındığında, *234* adet çözüm sonucunda genetik algoritmaların Bouzina ve Emmons algoritma çözümlerine göre *%100*'den daha az, *3* adet çözüm sonucunun *%100*, *85* adet çözüm sonucunun ise *%100*'den daha fazla iyi çözüm yaptığını göstermiştir.

Tüm problemlerin çözümünde genetik algoritma ile Bouzina ve Emmons algoritması çözümleri sırasındaki işlem süreleri (CPU time) birbirlerine yakın değerler çıktığından dolayı dikkate alınmamıştır.

Bundan sonra çalışma konuları olarak, NP-zor kapsamında olan operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri diğer meta sezgisel metodlar yardımıyla çözümleri gerçekleştirilerek optimum ve/veya optimuma yakın çözümleri araştırılabilir. Ayrıca operasyonel sabit iş çizelgeleme problemleri, çalışma zamanı kısıtı, yaygınlık zamanı kısıtı, işleyebilirlik kısıtı ve kullanılabilirlik kısıtı altında genetik algoritmalar yardımıyla optimum çözümleri araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR:

Akgöbek, Ö. 2005. Borland Delphi ile Görsel Programlama Sanatı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.

Bekki Ö.B. 2003. Fixed Job Scheduling On Uniform Parallel Machines, Ms Thesis, Department Of Industrial Engineering, Metu, Ankara.

Biroğul S. 2005. Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Bouzina K.I., Emmons H. 1996. Interval Scheduling On Identical Machines.Journal Of Global Optimization, 9, 379-393

Cleveland,G.A.,Smıth,F.S. 1989. Using Genetic Algorithm to Schedule Flow Shop Release, Proc. 3rd Int. Conf. On Genetic Algorithms Applications, 160-169

Cavory G., Dupas R., Goncalves G., 2005. A Genetic Approach to Solving The Problem of Cyclic Job shop Scheduling with Linear Constains, Europen Journal Of Operational Research, 161, 73-85.

Dondeti V.R., Emmons H. 1992. Fixed Job Scheduling With Two Types Of Processors, Operations Research, 40, S76-S85.

Dondeti V.R., Emmons H. 1993 Algorithms For Preemptive Scheduling Of Different Classes Of Processors To Do Jobs With Fixed Times, European Journal Of Operational Research, 70, 316-326.

Eliiyi D.T., 2004. Operatıonal Fıxed Job Schedulıng Problem, A Thesıs Submıtted To The Graduate School Of Natural And Applıed Scıences Of Mıddle East Technıcal Unıversıty, Ankara

Eliiyi D.T., Azizoğlu M. 2004. Sabit İş Çizelgeleme Problemi Literatür Değerlendirmesi, YA/EM'2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep

Eliiyi D.T., Azizoğlu M., 2005. Approximation Algorithms For Operational Fixed Job Scheduling Problems, The 35th International Conference On Computers And Industrial Engineering June 19*22, 2005 Istanbul, Turkey

Eliiyi D.T., Azizoğlu M., 2006. Spread Time Considerations In Operational Fixed Job Scheduling, International Journal of Production Research, Vol. 44, No. 20. pp. 4343-4365.

Emel, G. G., Taşkın Ç. 2002. Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, s.129 152.

Engin O. 2001. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.

Engin, O., Fığlalı, A. 2002. Genetik Algoritmalarla akış tipi çizelgelemede üreme yöntemi optimizasyonu, itüdergisi/d, Cilt:1 Sayı:1.

Fischetti M., Martello S., Toth P. 1987. The Fixed Job Schedule Problem With Spread-Time Constraints, Operations Research, 35, 849-858.

Fischetti M., Martello S., Toth P. 1989. The Fixed Job Schedule Problem With Working -Time Constraints, Operations Research, 37, 395-403.

Fischetti M., Martello S., Toth P. 1992. Approximation Algorithms for Fixed Job Schedule Problems, Operations Research Society of America, 40, 96-108.

Garcia J. M.,Benitez R.R., Eguia1 I., et.al. 2004. Graph-Based Heurıstıc For Solvılng The Operatıonal Fıxed Job Schedulıng Problem, 35th International Conference On Computers And Industrial Engineering

Goldberg D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA.

Gonzales, E. L., Fernandez, M.A.R. 2000. Genetic Optimisation of A Fuzzy Distribution Model, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Volume 30, Number 7/8, s. 681-696.

Jang J. S. R. 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, USA, s. 173-196.

Kolen A.J.W., Kroon L.G. 1991. On The Computational Complexity Of (Maximum) Class Scheduling, European Journal Of Operational Research, 54, 23-38.

Kolen A.J.W., Kroon L.G. 1992. License Class Design: Complexity And Algorithms, European Journal Of Operational Research, 63, 432-444.

Kolen A.J.W., Kroon L.G. 1994. An analysis of shift class design problems, European Journal of Operational Research, 79, 417-430.

Kömür, M., Altan, M. 2001. Betonarme Bir Kiriş ve Kolonun Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı , Mühendislikte Modern Yöntemler Semp.

Kroon L.G., Salomon M., Van Wassenhove L.N. 1995. Exact And Approximation Algorithms For The Operational Fixed Interval Scheduling Problem, European Journal Of Operational Research, 82, 190-205.

Mıtchell, M., Forest S. 1994. Genetic Algorithms and Artificial Life. Vol. 1, No. 3, pp. 267-289. Reprinted in C. G. Langton (Ed.) Artificial Life: an Overview, MIT Press, Cambridge, MA

Murata,T.,Ishıbuchı,H., Tanaka, H. 1996. Genetic Algorithms for Flow Shop Scheduling Problems, Computers and Industrial Enginering vol.30, No.4, pp 1061-1071

Santos E.J., Zhong X. 2001. Genetic Algorithms And Reinforcement Learning For The Tactical Fixed Interval Scheduling Problem, International Journal On Artificialıntelligence Tools, 10, 23-38.

Wolfe W.J., Sorensen S.E. 2000. Three Scheduling Algorithms Applied To The Earth Observing Systems Domain, Management Science, 46, 148-168.

EKLER

EK–1 *n=20* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	D	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
20	2	1	1	1	1	9	41.00	6	29.00	50	41.38
					2	9	41.50	6	29.00	50	43.10
					3	9	41.50	6	29.00	50	43.10
					4	9	41.50	6	29.00	50	43.10
					5	9	41.50	6	29.00	50	43.10
				2	1	6	98.50	5	81.50	20	20.86
					2	7	116.00	5	81.50	40	42.33
					3	7	116.00	5	81.50	40	42.33
					4	7	116.00	5	81.50	40	42.33
					5	7	116.00	5	81.50	40	42.33
				3	1	9	221.50	5	103.00	80	115.05
					2	9	236.50	5	103.00	80	129.61
					3	9	236.50	5	103.00	80	129.61
					4	9	236.50	5	103.00	80	129.61
					5	9	236.50	5	103.00	80	129.61
			2	1	1	10	43.00	8	34.00	25	26.47
					2	10	46.50	8	34.00	25	36.76
					3	10	46.50	8	34.00	25	36.76
					4	10	48.00	8	34.00	25	41.18
					5	10	48.00	8	34.00	25	41.18
				2	1	11	119.50	10	104.50	10	14.35
					2	11	119.50	10	104.50	10	14.35
					3	11	119.50	10	104.50	10	14.35
					4	11	119.50	10	104.50	10	14.35
					5	11	119.50	10	104.50	10	14.35
				3	1	10	201.50	9	168.00	11	19.94
					2	10	201.50	9	168.00	11	19.94
					3	10	201.50	9	168.00	11	19.94
					4	10	207.50	9	168.00	11	23.51
					5	10	207.50	9	168.00	11	23.51
		2	1	1	1	6	27.50	4	15.00	50	83.33
					2	6	28.00	4	15.00	50	86.67
					3	7	33.00	4	15.00	75	120.00
					4	7	33.00	4	15.00	75	120.00
					5	8	34.50	4	15.00	100	130.00
				2	1	8	94.00	5	58.50	60	60.68
					2	8	94.00	5	58.50	60	60.68
					3	8	94.00	5	58.50	60	60.68
					4	8	94.00	5	58.50	60	60.68
					5	8	94.00	5	58.50	60	60.68
				3	1	5	115.50	4	65.00	25	77.69
					2	5	115.50	4	65.00	25	77.69
					3	5	119.50	4	65.00	25	83.85
					4	5	119.50	4	65.00	25	83.85
					5	5	130.50	4	65.00	25	100.77
			2	1	1	12	47.50	9	34.50	33	37.68
					2	13	53.50	9	34.50	44	55.07
					3	13	53.50	9	34.50	44	55.07
					4	14	54.00	9	34.50	56	56.52
					5	14	54.00	9	34.50	56	56.52
				2	1	13	179.00	10	128.00	30	39.84
					2	13	179.00	10	128.00	30	39.84
					3	13	190.50	10	128.00	30	48.83
					4	13	190.50	10	128.00	30	48.83
					5	13	190.50	10	128.00	30	48.83
				3	1	7	166.00	6	92.50	17	79.46
					2	7	168.00	6	92.50	17	81.62
					3	7	168.00	6	92.50	17	81.62
					4	7	168.00	6	92.50	17	81.62
					5	8	187.50	6	92.50	33	102.70

EK–2 *n=20* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
20	3	1	1	1	1	10	44.00	7	27.50	43	60.00
					2	10	44.00	7	27.50	43	60.00
					3	10	45.50	7	27.50	43	65.45
					4	10	45.50	7	27.50	43	65.45
					5	10	45.50	7	27.50	43	65.45
				2	1	9	147.00	5	74.50	80	97.32
					2	9	147.00	5	74.50	80	97.32
					3	9	147.00	5	74.50	80	97.32
					4	10	151.00	5	74.50	100	102.68
					5	10	151.00	5	74.50	100	102.68
				3	1	10	209.00	9	150.50	11	38.87
					2	10	209.00	9	150.50	11	38.87
					3	11	231.00	9	150.50	22	53.49
					4	11	231.00	9	150.50	22	53.49
					5	11	231.00	9	150.50	22	53.49
			2	1	1	13	58.00	12	51.00	8	13.73
					2	14	61.00	12	51.00	17	19.61
					3	14	61.00	12	51.00	17	19.61
					4	14	61.00	12	51.00	17	19.61
					5	14	61.50	12	51.00	17	20.59
				2	1	14	179.50	12	152.50	17	17.70
					2	14	179.50	12	152.50	17	17.70
					3	14	179.50	12	152.50	17	17.70
					4	14	179.50	12	152.50	17	17.70
					5	14	179.50	12	152.50	17	17.70
				3	1	13	269.00	11	199.00	18	35.18
					2	13	269.00	11	199.00	18	35.18
					3	12	276.50	11	199.00	9	38.94
					4	12	276.50	11	199.00	9	38.94
					5	12	276.50	11	199.00	9	38.94
		2	1	1	1	11	50.50	10	46.00	10	9.78
					2	11	50.50	10	46.00	10	9.78
					3	11	50.50	10	46.00	10	9.78
					4	11	50.50	10	46.00	10	9.78
					5	11	50.50	10	46.00	10	9.78
				2	1	8	111.50	6	59.00	33	88.98
					2	9	127.00	6	59.00	50	115.25
					3	9	127.00	6	59.00	50	115.25
					4	9	127.00	6	59.00	50	115.25
					5	9	127.00	6	59.00	50	115.25
				3	1	11	286.50	7	156.50	57	83.07
					2	11	286.50	7	156.50	57	83.07
					3	11	312.50	7	156.50	57	99.68
					4	11	312.50	7	156.50	57	99.68
					5	11	312.50	7	156.50	57	99.68
			2	1	1	13	60.50	12	50.00	8	21.00
					2	13	60.50	12	50.00	8	21.00
					3	13	60.50	12	50.00	8	21.00
					4	13	60.50	12	50.00	8	21.00
					5	13	60.50	12	50.00	8	21.00
				2	1	10	102.00	7	77.00	43	32.47
					2	10	102.00	7	77.00	43	32.47
					3	9	105.00	7	77.00	29	36.36
					4	9	105.00	7	77.00	29	36.36
					5	9	105.00	7	77.00	29	36.36
				3	1	12	250.50	9	179.00	33	39.94
					2	12	250.50	9	179.00	33	39.94
					3	12	250.50	9	179.00	33	39.94
					4	12	250.50	9	179.00	33	39.94
					5	12	250.50	9	179.00	33	39.94

EK–3 *n=20* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
20	4	1	1	1	1	16	61.50	12	52.50	33	17.14
					2	16	62.00	12	52.50	33	18.10
					3	16	62.00	12	52.50	33	18.10
					4	16	65.00	12	52.50	33	23.81
					5	16	65.00	12	52.50	33	23.81
				2	1	9	130.50	9	104.50	0	24.88
					2	9	130.50	9	104.50	0	24.88
					3	9	130.50	9	104.50	0	24.88
					4	9	134.00	9	104.50	0	28.23
					5	9	136.50	9	104.50	0	30.62
				3	1	15	320.50	14	278.00	7	15.29
					2	15	325.00	14	278.00	7	16.91
					3	15	330.00	14	278.00	7	18.71
					4	16	348.50	14	278.00	14	25.36
					5	16	348.50	14	278.00	14	25.36
			2	1	1	16	67.50	16	67.50	0	0.00
					2	16	67.50	16	67.50	0	0.00
					3	16	67.50	16	67.50	0	0.00
					4	16	68.50	16	67.50	0	1.48
					5	16	68.50	16	67.50	0	1.48
				2	1	15	146.00	12	106.00	25	37.74
					2	16	159.00	12	106.00	33	50.00
					3	15	161.50	12	106.00	25	52.36
					4	15	161.50	12	106.00	25	52.36
					5	15	161.50	12	106.00	25	52.36
				3	1	12	218.50	12	185.00	0	18.11
					2	14	239.00	12	185.00	17	29.19
					3	14	239.00	12	185.00	17	29.19
					4	14	239.00	12	185.00	17	29.19
					5	14	239.00	12	185.00	17	29.19
		2	1	1	1	14	59.50	11	50.50	27	17.82
					2	14	61.50	11	50.50	27	21.78
					3	15	66.00	11	50.50	36	30.69
					4	15	66.00	11	50.50	36	30.69
					5	15	66.00	11	50.50	36	30.69
				2	1	10	147.50	9	108.00	11	36.57
					2	10	147.50	9	108.00	11	36.57
					3	10	147.50	9	108.00	11	36.57
					4	10	147.50	9	108.00	11	36.57
					5	10	147.50	9	108.00	11	36.57
				3	1	11	220.00	6	112.00	83	96.43
					2	10	223.00	6	112.00	67	99.11
					3	10	223.00	6	112.00	67	99.11
					4	11	228.00	6	112.00	83	103.57
					5	11	228.00	6	112.00	83	103.57
			2	1	1	16	70.00	15	64.00	7	9.38
					2	16	70.00	15	64.00	7	9.38
					3	16	70.00	15	64.00	7	9.38
					4	16	70.00	15	64.00	7	9.38
					5	16	70.00	15	64.00	7	9.38
				2	1	13	174.50	12	150.50	8	15.95
					2	14	192.50	12	150.50	17	27.91
					3	14	192.50	12	150.50	17	27.91
					4	15	199.00	12	150.50	25	32.23
					5	15	199.00	12	150.50	25	32.23
				3	1	13	289.00	14	267.00	-7	8.24
					2	16	327.00	14	267.00	14	22.47
					3	16	327.00	14	267.00	14	22.47
					4	16	327.00	14	267.00	14	22.47
					5	16	327.00	14	267.00	14	22.47

EK–4 *n=30* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
30	2	1	1	1	1	11	44.50	8	33.00	38	34.85
					2	12	49.50	8	33.00	50	50.00
					3	12	49.50	8	33.00	50	50.00
					4	12	49.50	8	33.00	50	50.00
					5	12	50.50	8	33.00	50	53.03
				2	1	12	153.50	6	54.50	100	181.65
					2	12	153.50	6	54.50	100	181.65
					3	12	153.50	6	54.50	100	181.65
					4	13	171.50	6	54.50	117	214.68
					5	13	171.50	6	54.50	117	214.68
				3	1	9	222.00	8	152.00	13	46.05
					2	9	222.00	8	152.00	13	46.05
					3	9	222.00	8	152.00	13	46.05
					4	9	222.00	8	152.00	13	46.05
					5	9	225.50	8	152.00	13	48.36
			2	1	1	12	52.50	7	32.00	71	64.06
					2	12	52.50	7	32.00	71	64.06
					3	12	52.50	7	32.00	71	64.06
					4	13	57.50	7	32.00	86	79.69
					5	13	57.50	7	32.00	86	79.69
				2	1	10	145.00	8	98.00	25	47.96
					2	10	145.00	8	98.00	25	47.96
					3	10	145.00	8	98.00	25	47.96
					4	12	152.50	8	98.00	50	55.61
					5	12	152.50	8	98.00	50	55.61
				3	1	12	282.50	9	172.00	33	64.24
					2	12	284.00	9	172.00	33	65.12
					3	12	284.00	9	172.00	33	65.12
					4	13	301.50	9	172.00	44	75.29
					5	13	301.50	9	172.00	44	75.29
		2	1	1	1	9	40.50	5	27.00	80	50.00
					2	9	40.50	5	27.00	80	50.00
					3	9	40.50	5	27.00	80	50.00
					4	9	40.50	5	27.00	80	50.00
					5	9	41.50	5	27.00	80	53.70
				2	1	9	120.50	5	74.50	80	61.74
					2	10	128.00	5	74.50	100	71.81
					3	10	128.00	5	74.50	100	71.81
					4	10	128.00	5	74.50	100	71.81
					5	10	128.00	5	74.50	100	71.81
				3	1	9	253.00	4	64.50	125	292.25
					2	9	253.00	4	64.50	125	292.25
					3	10	265.50	4	64.50	150	311.63
					4	10	265.50	4	64.50	150	311.63
					5	10	265.50	4	64.50	150	311.63
			2	1	1	12	55.50	10	46.50	20	19.35
					2	12	55.50	10	46.50	20	19.35
					3	12	55.50	10	46.50	20	19.35
					4	12	55.50	10	46.50	20	19.35
					5	12	55.50	10	46.50	20	19.35
				2	1	10	175.00	8	125.00	25	40.00
					2	10	175.00	8	125.00	25	40.00
					3	10	175.00	8	125.00	25	40.00
					4	10	175.00	8	125.00	25	40.00
					5	10	175.00	8	125.00	25	40.00
				3	1	11	248.50	7	152.00	57	63.49
					2	11	248.50	7	152.00	57	63.49
					3	11	248.50	7	152.00	57	63.49
					4	11	248.50	7	152.00	57	63.49
					5	10	258.50	7	152.00	43	70.07

EK–5 *n=30* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
30	3	1	1	1	1	12	54.00	8	36.50	50	47.95
					2	12	54.00	8	36.50	50	47.95
					3	12	54.00	8	36.50	50	47.95
					4	12	54.00	8	36.50	50	47.95
					5	12	54.00	8	36.50	50	47.95
				2	1	12	169.00	9	98.00	33	72.45
					2	12	169.00	9	98.00	33	72.45
					3	12	169.00	9	98.00	33	72.45
					4	12	169.00	9	98.00	33	72.45
					5	12	169.00	9	98.00	33	72.45
				3	1	13	255.50	7	142.50	86	79.30
					2	13	255.50	7	142.50	86	79.30
					3	13	278.50	7	142.50	86	95.44
					4	10	280.50	7	142.50	43	96.84
					5	10	280.50	7	142.50	43	96.84
			2	1	1	16	71.50	13	56.00	23	27.68
					2	16	71.50	13	56.00	23	27.68
					3	16	71.50	13	56.00	23	27.68
					4	16	72.50	13	56.00	23	29.46
					5	16	72.50	13	56.00	23	29.46
				2	1	16	214.50	14	180.00	14	19.17
					2	17	232.50	14	180.00	21	29.17
					3	17	232.50	14	180.00	21	29.17
					4	17	232.50	14	180.00	21	29.17
					5	17	232.50	14	180.00	21	29.17
				3	1	15	335.50	12	198.00	25	69.44
					2	15	335.50	12	198.00	25	69.44
					3	15	335.50	12	198.00	25	69.44
					4	15	335.50	12	198.00	25	69.44
					5	15	335.50	12	198.00	25	69.44
		2	1	1	1	10	48.00	6	25.50	67	88.24
					2	10	48.00	6	25.50	67	88.24
					3	10	48.00	6	25.50	67	88.24
					4	10	48.00	6	25.50	67	88.24
					5	12	54.50	6	25.50	100	113.73
				2	1	10	148.50	6	93.50	67	58.82
					2	11	156.50	6	93.50	83	67.38
					3	11	156.50	6	93.50	83	67.38
					4	11	156.50	6	93.50	83	67.38
					5	11	156.50	6	93.50	83	67.38
				3	1	10	231.50	7	139.00	43	66.55
					2	10	231.50	7	139.00	43	66.55
					3	9	235.00	7	139.00	29	69.06
					4	9	235.00	7	139.00	29	69.06
					5	9	235.00	7	139.00	29	69.06
			2	1	1	18	74.00	13	50.50	38	46.53
					2	18	74.00	13	50.50	38	46.53
					3	18	74.00	13	50.50	38	46.53
					4	18	74.00	13	50.50	38	46.53
					5	18	75.00	13	50.50	38	48.51
				2	1	12	142.00	11	114.50	9	24.02
					2	12	144.00	11	114.50	9	25.76
					3	13	146.00	11	114.50	18	27.51
					4	13	146.00	11	114.50	18	27.51
					5	13	146.00	11	114.50	18	27.51
				3	1	15	377.00	14	358.50	7	5.16
					2	14	397.00	14	358.50	0	10.74
					3	14	397.00	14	358.50	0	10.74
					4	14	397.00	14	358.50	0	10.74
					5	14	397.00	14	358.50	0	10.74

EK–6 *n=30* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
30	4	1	1	1	1	13	49.00	11	46.50	18	5.38
					2	13	49.00	11	46.50	18	5.38
					3	13	49.00	11	46.50	18	5.38
					4	13	49.00	11	46.50	18	5.38
					5	13	49.00	11	46.50	18	5.38
				2	1	17	222.50	11	138.00	55	61.23
					2	17	222.50	11	138.00	55	61.23
					3	17	222.50	11	138.00	55	61.23
					4	17	234.00	11	138.00	55	69.57
					5	17	234.00	11	138.00	55	69.57
				3	1	16	272.00	10	132.50	60	105.28
					2	14	285.00	10	132.50	40	115.09
					3	14	287.00	10	132.50	40	116.60
					4	16	315.00	10	132.50	60	137.74
					5	16	315.00	10	132.50	60	137.74
			2	1	1	21	88.50	20	84.50	5	4.73
					2	21	91.00	20	84.50	5	7.69
					3	22	93.00	20	84.50	10	10.06
					4	22	93.00	20	84.50	10	10.06
					5	22	93.00	20	84.50	10	10.06
				2	1	15	173.50	9	83.50	67	107.78
					2	15	173.50	9	83.50	67	107.78
					3	16	177.00	9	83.50	78	111.98
					4	16	177.00	9	83.50	78	111.98
					5	17	177.50	9	83.50	89	112.57
				3	1	21	470.00	21	429.00	0	9.56
					2	21	470.00	21	429.00	0	9.56
					3	24	545.00	21	429.00	14	27.04
					4	24	545.00	21	429.00	14	27.04
					5	24	545.00	21	429.00	14	27.04
		2	1	1	1	14	55.00	11	47.00	27	17.02
					2	14	55.00	11	47.00	27	17.02
					3	14	55.00	11	47.00	27	17.02
					4	14	55.00	11	47.00	27	17.02
					5	14	55.00	11	47.00	27	17.02
				2	1	14	183.00	12	136.50	17	34.07
					2	15	186.00	12	136.50	25	36.26
					3	15	186.00	12	136.50	25	36.26
					4	15	186.00	12	136.50	25	36.26
					5	15	186.00	12	136.50	25	36.26
				3	1	10	246.50	7	103.50	43	138.16
					2	10	269.50	7	103.50	43	160.39
					3	12	281.00	7	103.50	71	171.50
					4	12	281.00	7	103.50	71	171.50
					5	12	281.00	7	103.50	71	171.50
			2	1	1	19	85.50	17	77.00	12	11.04
					2	19	85.50	17	77.00	12	11.04
					3	20	92.50	17	77.00	18	20.13
					4	20	92.50	17	77.00	18	20.13
					5	20	92.50	17	77.00	18	20.13
				2	1	21	224.00	17	168.50	24	32.94
					2	21	224.00	17	168.50	24	32.94
					3	21	224.00	17	168.50	24	32.94
					4	21	224.00	17	168.50	24	32.94
					5	21	237.00	17	168.50	24	40.65
				3	1	18	322.50	12	258.50	50	24.76
					2	18	322.50	12	258.50	50	24.76
					3	16	332.00	12	258.50	33	28.43
					4	16	332.00	12	258.50	33	28.43
					5	16	332.00	12	258.50	33	28.43

EK–7 *n=40* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
40	2	1	1	1	1	13	56.50	12	54.50	8	3.67
					2	15	62.00	12	54.50	25	13.76
					3	15	62.00	12	54.50	25	13.76
					4	14	63.50	12	54.50	17	16.51
					5	14	63.50	12	54.50	17	16.51
				2	1	12	171.50	9	110.00	33	55.91
					2	12	171.50	9	110.00	33	55.91
					3	12	171.50	9	110.00	33	55.91
					4	12	171.50	9	110.00	33	55.91
					5	12	171.50	9	110.00	33	55.91
				3	1	11	235.50	5	109.00	120	116.06
					2	12	258.00	5	109.00	140	136.70
					3	12	262.00	5	109.00	140	140.37
					4	12	262.00	5	109.00	140	140.37
					5	12	262.00	5	109.00	140	140.37
			2	1	1	11	47.00	8	34.50	38	36.23
					2	11	47.00	8	34.50	38	36.23
					3	11	47.00	8	34.50	38	36.23
					4	11	47.00	8	34.50	38	36.23
					5	11	49.00	8	34.50	38	42.03
				2	1	11	168.00	9	129.50	22	29.73
					2	12	180.50	9	129.50	33	39.38
					3	12	180.50	9	129.50	33	39.38
					4	12	180.50	9	129.50	33	39.38
					5	12	180.50	9	129.50	33	39.38
				3	1	16	368.00	13	275.00	23	33.82
					2	16	368.00	13	275.00	23	33.82
					3	16	368.00	13	275.00	23	33.82
					4	16	368.00	13	275.00	23	33.82
					5	16	368.00	13	275.00	23	33.82
		2	1	1	1	7	33.00	5	20.00	40	65.00
					2	8	35.50	5	20.00	60	77.50
					3	8	35.50	5	20.00	60	77.50
					4	8	35.50	5	20.00	60	77.50
					5	8	35.50	5	20.00	60	77.50
				2	1	8	103.00	6	81.00	33	27.16
					2	8	103.00	6	81.00	33	27.16
					3	8	103.00	6	81.00	33	27.16
					4	8	103.00	6	81.00	33	27.16
					5	9	118.00	6	81.00	50	45.68
				3	1	11	235.00	8	189.00	38	24.34
					2	12	246.00	8	189.00	50	30.16
					3	12	246.00	8	189.00	50	30.16
					4	12	246.00	8	189.00	50	30.16
					5	12	247.50	8	189.00	50	30.95
			2	1	1	10	41.00	7	30.50	43	34.43
					2	10	41.00	7	30.50	43	34.43
					3	10	41.00	7	30.50	43	34.43
					4	10	41.00	7	30.50	43	34.43
					5	11	47.00	7	30.50	57	54.10
				2	1	14	161.50	12	111.50	17	44.84
					2	14	161.50	12	111.50	17	44.84
					3	14	161.50	12	111.50	17	44.84
					4	14	161.50	12	111.50	17	44.84
					5	14	161.50	12	111.50	17	44.84
				3	1	15	314.00	12	255.50	25	22.90
					2	15	314.00	12	255.50	25	22.90
					3	15	314.00	12	255.50	25	22.90
					4	15	314.00	12	255.50	25	22.90
					5	15	314.00	12	255.50	25	22.90

EK–8 *n=40* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	M	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
40	3	1	1	1	1	12	50.50	10	41.50	20	21.69
					2	12	50.50	10	41.50	20	21.69
					3	13	52.50	10	41.50	30	26.51
					4	13	52.50	10	41.50	30	26.51
					5	13	52.50	10	41.50	30	26.51
				2	1	18	251.50	13	175.50	38	43.30
					2	18	251.50	13	175.50	38	43.30
					3	18	261.00	13	175.50	38	48.72
					4	18	261.00	13	175.50	38	48.72
					5	18	261.00	13	175.50	38	48.72
				3	1	15	332.50	9	153.00	67	117.32
					2	15	332.50	9	153.00	67	117.32
					3	15	332.50	9	153.00	67	117.32
					4	15	332.50	9	153.00	67	117.32
					5	15	332.50	9	153.00	67	117.32
			2	1	1	19	84.00	15	64.00	27	31.25
					2	19	84.00	15	64.00	27	31.25
					3	19	84.00	15	64.00	27	31.25
					4	19	84.00	15	64.00	27	31.25
					5	19	84.00	15	64.00	27	31.25
				2	1	20	267.00	13	141.50	54	88.69
					2	21	268.50	13	141.50	62	89.75
					3	20	294.00	13	141.50	54	107.77
					4	20	294.00	13	141.50	54	107.77
					5	20	294.00	13	141.50	54	107.77
				3	1	21	374.00	14	224.50	50	66.59
					2	21	374.00	14	224.50	50	66.59
					3	21	374.00	14	224.50	50	66.59
					4	21	374.00	14	224.50	50	66.59
					5	18	386.00	14	224.50	29	71.94
		2	1	1	1	12	52.00	5	19.00	140	173.68
					2	12	52.00	5	19.00	140	173.68
					3	13	56.00	5	19.00	160	194.74
					4	13	56.00	5	19.00	160	194.74
					5	16	65.50	5	19.00	220	244.74
				2	1	14	171.00	7	84.00	100	103.57
					2	14	171.00	7	84.00	100	103.57
					3	14	174.50	7	84.00	100	107.74
					4	14	174.50	7	84.00	100	107.74
					5	14	174.50	7	84.00	100	107.74
				3	1	10	189.00	6	101.50	67	86.21
					2	10	189.00	6	101.50	67	86.21
					3	10	189.00	6	101.50	67	86.21
					4	10	232.50	6	101.50	67	129.06
					5	10	232.50	6	101.50	67	129.06
			2	1	1	17	77.00	12	49.00	42	57.14
					2	17	77.00	12	49.00	42	57.14
					3	17	77.00	12	49.00	42	57.14
					4	17	77.00	12	49.00	42	57.14
					5	17	77.00	12	49.00	42	57.14
				2	1	13	174.00	12	162.50	8	7.08
					2	13	174.00	12	162.50	8	7.08
					3	13	183.00	12	162.50	8	12.62
					4	13	183.00	12	162.50	8	12.62
					5	13	183.00	12	162.50	8	12.62
				3	1	17	369.50	14	264.00	21	39.96
					2	17	369.50	14	264.00	21	39.96
					3	18	406.50	14	264.00	29	53.98
					4	18	406.50	14	264.00	29	53.98
					5	18	406.50	14	264.00	29	53.98

EK–9 *n=40* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
40	4	1	1	1	1	18	78.00	9	42.00	100	85.71
					2	19	81.00	9	42.00	111	92.86
					3	19	81.00	9	42.00	111	92.86
					4	19	81.00	9	42.00	111	92.86
					5	19	81.00	9	42.00	111	92.86
				2	1	17	216.50	13	178.00	31	21.63
					2	16	236.00	13	178.00	23	32.58
					3	16	236.00	13	178.00	23	32.58
					4	16	236.00	13	178.00	23	32.58
					5	16	236.00	13	178.00	23	32.58
				3	1	17	349.00	13	216.00	31	61.57
					2	17	349.00	13	216.00	31	61.57
					3	17	349.00	13	216.00	31	61.57
					4	17	349.00	13	216.00	31	61.57
					5	17	349.00	13	216.00	31	61.57
			2	1	1	18	79.00	16	68.00	13	16.18
					2	18	79.00	16	68.00	13	16.18
					3	18	79.00	16	68.00	13	16.18
					4	18	79.00	16	68.00	13	16.18
					5	18	79.00	16	68.00	13	16.18
				2	1	20	271.50	20	250.00	0	8.60
					2	20	271.50	20	250.00	0	8.60
					3	20	271.50	20	250.00	0	8.60
					4	21	284.50	20	250.00	5	13.80
					5	21	284.50	20	250.00	5	13.80
				3	1	20	350.00	18	257.00	11	36.19
					2	20	350.00	18	257.00	11	36.19
					3	19	351.00	18	257.00	6	36.58
					4	19	351.00	18	257.00	6	36.58
					5	19	351.00	18	257.00	6	36.58
		2	1	1	1	15	68.00	11	51.50	36	32.04
					2	17	71.50	11	51.50	55	38.83
					3	17	71.50	11	51.50	55	38.83
					4	17	71.50	11	51.50	55	38.83
					5	17	71.50	11	51.50	55	38.83
				2	1	14	199.50	8	99.50	75	100.50
					2	15	209.50	8	99.50	88	110.55
					3	15	209.50	8	99.50	88	110.55
					4	15	212.50	8	99.50	88	113.57
					5	15	217.50	8	99.50	88	118.59
				3	1	16	260.50	12	169.50	33	53.69
					2	16	260.50	12	169.50	33	53.69
					3	16	260.50	12	169.50	33	53.69
					4	15	293.50	12	169.50	25	73.16
					5	15	293.50	12	169.50	25	73.16
			2	1	1	25	105.50	21	89.00	19	18.54
					2	24	106.50	21	89.00	14	19.66
					3	25	114.00	21	89.00	19	28.09
					4	25	114.00	21	89.00	19	28.09
					5	25	114.00	21	89.00	19	28.09
				2	1	18	193.50	14	150.00	29	29.00
					2	18	193.50	14	150.00	29	29.00
					3	18	201.00	14	150.00	29	34.00
					4	18	213.50	14	150.00	29	42.33
					5	18	213.50	14	150.00	29	42.33
				3	1	19	423.00	12	238.50	58	77.36
					2	20	425.50	12	238.50	67	78.41
					3	20	425.50	12	238.50	67	78.41
					4	20	428.50	12	238.50	67	79.66
					5	20	428.50	12	238.50	67	79.66

EK–10 *n=50* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
50	2	1	1	1	1	14	62.50	7	34.00	100	83.82
					2	14	62.50	7	34.00	100	83.82
					3	14	62.50	7	34.00	100	83.82
					4	15	65.50	7	34.00	114	92.65
					5	15	65.50	7	34.00	114	92.65
				2	1	13	156.50	8	87.00	63	79.89
					2	14	165.00	8	87.00	75	89.66
					3	14	165.00	8	87.00	75	89.66
					4	14	165.00	8	87.00	75	89.66
					5	14	165.00	8	87.00	75	89.66
				3	1	11	225.50	9	194.50	22	15.94
					2	11	225.50	9	194.50	22	15.94
					3	11	225.50	9	194.50	22	15.94
					4	11	225.50	9	194.50	22	15.94
					5	11	229.50	9	194.50	22	17.99
			2	1	1	15	63.50	12	53.00	25	19.81
					2	15	63.50	12	53.00	25	19.81
					3	15	67.50	12	53.00	25	27.36
					4	15	67.50	12	53.00	25	27.36
					5	15	67.50	12	53.00	25	27.36
				2	1	13	176.00	10	129.00	30	36.43
					2	13	176.00	10	129.00	30	36.43
					3	13	176.00	10	129.00	30	36.43
					4	11	176.50	10	129.00	10	36.82
					5	11	176.50	10	129.00	10	36.82
				3	1	17	313.00	7	119.50	143	161.92
					2	17	313.00	7	119.50	143	161.92
					3	17	313.00	7	119.50	143	161.92
					4	17	313.00	7	119.50	143	161.92
					5	17	313.00	7	119.50	143	161.92
		2	1	1	1	12	52.00	5	22.50	140	131.11
					2	12	52.00	5	22.50	140	131.11
					3	12	52.00	5	22.50	140	131.11
					4	12	52.00	5	22.50	140	131.11
					5	12	52.00	5	22.50	140	131.11
				2	1	12	137.50	8	92.50	50	48.65
					2	12	137.50	8	92.50	50	48.65
					3	13	141.50	8	92.50	63	52.97
					4	13	141.50	8	92.50	63	52.97
					5	13	153.00	8	92.50	63	65.41
				3	1	9	171.50	6	128.00	50	33.98
					2	7	177.00	6	128.00	17	38.28
					3	7	177.00	6	128.00	17	38.28
					4	7	177.00	6	128.00	17	38.28
					5	7	177.00	6	128.00	17	38.28
			2	1	1	13	56.00	10	39.50	30	41.77
					2	14	62.00	10	39.50	40	56.96
					3	14	62.00	10	39.50	40	56.96
					4	14	62.00	10	39.50	40	56.96
					5	14	62.00	10	39.50	40	56.96
				2	1	11	144.00	9	93.00	22	54.84
					2	11	144.00	9	93.00	22	54.84
					3	11	144.00	9	93.00	22	54.84
					4	11	144.00	9	93.00	22	54.84
					5	11	144.00	9	93.00	22	54.84
				3	1	11	284.00	9	207.00	22	37.20
					2	11	284.00	9	207.00	22	37.20
					3	11	284.50	9	207.00	22	37.44
					4	11	284.50	9	207.00	22	37.44
					5	11	284.50	9	207.00	22	37.44

EK–11 *n=50* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
50	3	1	1	1	1	18	75.50	13	54.50	38	38.53
					2	18	75.50	13	54.50	38	38.53
					3	18	75.50	13	54.50	38	38.53
					4	18	75.50	13	54.50	38	38.53
					5	18	75.50	13	54.50	38	38.53
				2	1	15	189.50	10	117.00	50	61.97
					2	15	189.50	10	117.00	50	61.97
					3	15	189.50	10	117.00	50	61.97
					4	16	199.50	10	117.00	60	70.51
					5	16	199.50	10	117.00	60	70.51
				3	1	14	280.00	13	277.50	8	0.90
					2	14	280.00	13	277.50	8	0.90
					3	14	280.00	13	277.50	8	0.90
					4	14	280.00	13	277.50	8	0.90
					5	14	280.00	13	277.50	8	0.90
			2	1	1	19	83.50	15	66.50	27	25.56
					2	19	83.50	15	66.50	27	25.56
					3	19	83.50	15	66.50	27	25.56
					4	19	83.50	15	66.50	27	25.56
					5	19	83.50	15	66.50	27	25.56
				2	1	22	268.00	18	245.50	22	9.16
					2	22	268.00	18	245.50	22	9.16
					3	22	268.00	18	245.50	22	9.16
					4	22	268.00	18	245.50	22	9.16
					5	22	268.00	18	245.50	22	9.16
				3	1	17	318.50	10	183.50	70	73.57
					2	16	323.00	10	183.50	60	76.02
					3	17	330.50	10	183.50	70	80.11
					4	17	371.50	10	183.50	70	102.45
					5	17	371.50	10	183.50	70	102.45
		2	1	1	1	12	50.00	11	41.00	9	21.95
					2	13	50.50	11	41.00	18	23.17
					3	13	50.50	11	41.00	18	23.17
					4	13	52.50	11	41.00	18	28.05
					5	13	53.00	11	41.00	18	29.27
				2	1	15	189.50	8	100.00	88	89.50
					2	15	189.50	8	100.00	88	89.50
					3	15	189.50	8	100.00	88	89.50
					4	15	189.50	8	100.00	88	89.50
					5	15	189.50	8	100.00	88	89.50
				3	1	11	249.00	9	152.00	22	63.82
					2	11	249.00	9	152.00	22	63.82
					3	11	249.00	9	152.00	22	63.82
					4	11	249.00	9	152.00	22	63.82
					5	11	249.00	9	152.00	22	63.82
			2	1	1	17	76.00	15	63.50	13	19.69
					2	17	76.00	15	63.50	13	19.69
					3	17	76.00	15	63.50	13	19.69
					4	17	76.00	15	63.50	13	19.69
					5	17	76.50	15	63.50	13	20.47
				2	1	18	236.00	15	193.50	20	21.96
					2	18	236.00	15	193.50	20	21.96
					3	18	236.00	15	193.50	20	21.96
					4	20	254.00	15	193.50	33	31.27
					5	20	254.00	15	193.50	33	31.27
				3	1	16	322.50	15	249.50	7	29.26
					2	16	322.50	15	249.50	7	29.26
					3	17	331.00	15	249.50	13	32.67
					4	17	331.00	15	249.50	13	32.67
					5	17	331.00	15	249.50	13	32.67

EK–12 *n=50* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
50	4	1	1	1	1	18	80.50	11	42.50	64	89.41
					2	20	85.00	11	42.50	82	100.00
					3	20	85.00	11	42.50	82	100.00
					4	20	85.00	11	42.50	82	100.00
					5	20	85.00	11	42.50	82	100.00
				2	1	18	200.00	13	141.50	38	41.34
					2	18	222.00	13	141.50	38	56.89
					3	18	222.00	13	141.50	38	56.89
					4	18	222.00	13	141.50	38	56.89
					5	18	222.00	13	141.50	38	56.89
				3	1	21	416.50	9	150.00	133	177.67
					2	23	446.00	9	150.00	156	197.33
					3	23	446.00	9	150.00	156	197.33
					4	23	446.00	9	150.00	156	197.33
					5	23	446.00	9	150.00	156	197.33
			2	1	1	28	126.00	19	84.00	47	50.00
					2	28	126.00	19	84.00	47	50.00
					3	28	126.00	19	84.00	47	50.00
					4	28	126.00	19	84.00	47	50.00
					5	28	126.00	19	84.00	47	50.00
				2	1	23	308.50	21	236.50	10	30.44
					2	23	308.50	21	236.50	10	30.44
					3	23	308.50	21	236.50	10	30.44
					4	23	308.50	21	236.50	10	30.44
					5	23	308.50	21	236.50	10	30.44
				3	1	24	486.50	20	401.00	20	21.32
					2	25	512.00	20	401.00	25	27.68
					3	25	512.00	20	401.00	25	27.68
					4	25	512.00	20	401.00	25	27.68
					5	25	512.00	20	401.00	25	27.68
		2	1	1	1	20	92.50	10	44.00	100	110.23
					2	20	92.50	10	44.00	100	110.23
					3	20	92.50	10	44.00	100	110.23
					4	20	92.50	10	44.00	100	110.23
					5	20	92.50	10	44.00	100	110.23
				2	1	16	243.00	9	95.50	78	154.45
					2	18	269.50	9	95.50	100	182.20
					3	18	269.50	9	95.50	100	182.20
					4	18	269.50	9	95.50	100	182.20
					5	18	269.50	9	95.50	100	182.20
				3	1	21	364.50	10	170.50	110	113.78
					2	21	407.00	10	170.50	110	138.71
					3	20	415.00	10	170.50	100	143.40
					4	20	415.00	10	170.50	100	143.40
					5	20	415.00	10	170.50	100	143.40
			2	1	1	18	74.50	15	65.00	20	14.62
					2	19	78.50	15	65.00	27	20.77
					3	19	78.50	15	65.00	27	20.77
					4	19	78.50	15	65.00	27	20.77
					5	19	78.50	15	65.00	27	20.77
				2	1	22	281.50	17	202.50	29	39.01
					2	22	281.50	17	202.50	29	39.01
					3	24	309.50	17	202.50	41	52.84
					4	24	309.50	17	202.50	41	52.84
					5	24	309.50	17	202.50	41	52.84
				3	1	20	402.50	16	255.50	25	57.53
					2	20	402.50	16	255.50	25	57.53
					3	20	402.50	16	255.50	25	57.53
					4	20	402.50	16	255.50	25	57.53
					5	20	417.50	16	255.50	25	63.41

EK–13 *n=60* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
60	2	1	1	1	1	13	55.50	10	40.00	30	38.75
					2	13	55.50	10	40.00	30	38.75
					3	13	55.50	10	40.00	30	38.75
					4	13	55.50	10	40.00	30	38.75
					5	14	60.00	10	40.00	40	50.00
				2	1	14	181.50	4	30.00	250	505.00
					2	14	181.50	4	30.00	250	505.00
					3	14	181.50	4	30.00	250	505.00
					4	14	181.50	4	30.00	250	505.00
					5	14	181.50	4	30.00	250	505.00
				3	1	14	299.00	6	114.50	133	161.14
					2	14	299.00	6	114.50	133	161.14
					3	14	299.00	6	114.50	133	161.14
					4	14	299.00	6	114.50	133	161.14
					5	14	299.00	6	114.50	133	161.14
			2	1	1	15	62.00	9	36.50	67	69.86
					2	15	62.00	9	36.50	67	69.86
					3	17	68.50	9	36.50	89	87.67
					4	17	68.50	9	36.50	89	87.67
					5	17	68.50	9	36.50	89	87.67
				2	1	12	166.50	7	71.00	71	134.51
					2	12	166.50	7	71.00	71	134.51
					3	12	166.50	7	71.00	71	134.51
					4	12	166.50	7	71.00	71	134.51
					5	12	168.50	7	71.00	71	137.32
				3	1	17	378.50	8	172.50	113	119.42
					2	17	378.50	8	172.50	113	119.42
					3	17	378.50	8	172.50	113	119.42
					4	17	378.50	8	172.50	113	119.42
					5	17	378.50	8	172.50	113	119.42
		2	1	1	1	13	55.50	7	33.50	86	65.67
					2	13	55.50	7	33.50	86	65.67
					3	13	55.50	7	33.50	86	65.67
					4	12	56.00	7	33.50	71	67.16
					5	12	56.00	7	33.50	71	67.16
				2	1	11	129.00	7	97.00	57	32.99
					2	10	129.50	7	97.00	43	33.51
					3	10	129.50	7	97.00	43	33.51
					4	10	129.50	7	97.00	43	33.51
					5	11	130.00	7	97.00	57	34.02
				3	1	11	272.00	6	106.50	83	155.40
					2	11	272.00	6	106.50	83	155.40
					3	11	291.50	6	106.50	83	173.71
					4	11	291.50	6	106.50	83	173.71
					5	11	291.50	6	106.50	83	173.71
			2	1	1	16	65.50	11	44.50	45	47.19
					2	17	68.50	11	44.50	55	53.93
					3	17	68.50	11	44.50	55	53.93
					4	17	68.50	11	44.50	55	53.93
					5	17	68.50	11	44.50	55	53.93
				2	1	15	199.00	11	119.50	36	66.53
					2	15	204.00	11	119.50	36	70.71
					3	15	204.00	11	119.50	36	70.71
					4	15	204.00	11	119.50	36	70.71
					5	15	204.00	11	119.50	36	70.71
				3	1	14	327.50	10	222.50	40	47.19
					2	14	327.50	10	222.50	40	47.19
					3	14	327.50	10	222.50	40	47.19
					4	14	327.50	10	222.50	40	47.19
					5	14	327.50	10	222.50	40	47.19

EK–14 *n=60* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
60	3	1	1	1	1	20	88.50	12	52.00	67	70.19
					2	20	88.50	12	52.00	67	70.19
					3	20	88.50	12	52.00	67	70.19
					4	20	88.50	12	52.00	67	70.19
					5	20	88.50	12	52.00	67	70.19
				2	1	16	208.50	9	103.50	78	101.45
					2	16	208.50	9	103.50	78	101.45
					3	16	208.50	9	103.50	78	101.45
					4	16	208.50	9	103.50	78	101.45
					5	16	208.50	9	103.50	78	101.45
				3	1	18	380.00	12	189.00	50	101.06
					2	18	380.00	12	189.00	50	101.06
					3	18	380.00	12	189.00	50	101.06
					4	18	380.00	12	189.00	50	101.06
					5	18	380.00	12	189.00	50	101.06
			2	1	1	19	82.50	20	83.00	-5	-0.60
					2	21	83.50	20	83.00	5	0.60
					3	21	87.00	20	83.00	5	4.82
					4	21	87.00	20	83.00	5	4.82
					5	21	87.00	20	83.00	5	4.82
				2	1	18	182.50	14	138.50	29	31.77
					2	17	187.50	14	138.50	21	35.38
					3	17	187.50	14	138.50	21	35.38
					4	17	187.50	14	138.50	21	35.38
					5	19	192.50	14	138.50	36	38.99
				3	1	24	469.00	20	366.00	20	28.14
					2	24	469.00	20	366.00	20	28.14
					3	24	469.00	20	366.00	20	28.14
					4	24	499.50	20	366.00	20	36.48
					5	24	499.50	20	366.00	20	36.48
		2	1	1	1	16	69.50	9	34.50	78	101.45
					2	16	69.50	9	34.50	78	101.45
					3	16	69.50	9	34.50	78	101.45
					4	16	69.50	9	34.50	78	101.45
					5	17	71.50	9	34.50	89	107.25
				2	1	14	189.00	7	92.50	100	104.32
					2	14	189.00	7	92.50	100	104.32
					3	14	189.00	7	92.50	100	104.32
					4	14	189.00	7	92.50	100	104.32
					5	14	189.00	7	92.50	100	104.32
				3	1	16	362.00	7	171.50	129	111.08
					2	16	362.00	7	171.50	129	111.08
					3	16	362.00	7	171.50	129	111.08
					4	16	362.00	7	171.50	129	111.08
					5	16	362.00	7	171.50	129	111.08
			2	1	1	16	66.50	14	61.50	14	8.13
					2	15	67.00	14	61.50	7	8.94
					3	15	67.00	14	61.50	7	8.94
					4	17	76.00	14	61.50	21	23.58
					5	17	76.00	14	61.50	21	23.58
				2	1	20	235.00	17	188.00	18	25.00
					2	20	235.00	17	188.00	18	25.00
					3	20	235.00	17	188.00	18	25.00
					4	20	235.00	17	188.00	18	25.00
					5	20	235.00	17	188.00	18	25.00
				3	1	21	531.50	16	340.50	31	56.09
					2	21	531.50	16	340.50	31	56.09
					3	21	531.50	16	340.50	31	56.09
					4	21	531.50	16	340.50	31	56.09
					5	21	531.50	16	340.50	31	56.09

EK–15 *n=60* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	R	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
60	4	1	1	1	1	24	103.00	10	41.00	140	151.22
					2	24	103.00	10	41.00	140	151.22
					3	24	103.00	10	41.00	140	151.22
					4	24	103.00	10	41.00	140	151.22
					5	24	103.00	10	41.00	140	151.22
				2	1	23	285.50	16	198.00	44	44.19
					2	23	285.50	16	198.00	44	44.19
					3	23	285.50	16	198.00	44	44.19
					4	23	285.50	16	198.00	44	44.19
					5	23	285.50	16	198.00	44	44.19
				3	1	20	399.50	13	331.00	54	20.69
					2	20	399.50	13	331.00	54	20.69
					3	19	419.00	13	331.00	46	26.59
					4	19	419.00	13	331.00	46	26.59
					5	19	419.00	13	331.00	46	26.59
			2	1	1	25	111.50	19	81.00	32	37.65
					2	24	112.00	19	81.00	26	38.27
					3	24	112.00	19	81.00	26	38.27
					4	24	113.50	19	81.00	26	40.12
					5	25	116.00	19	81.00	32	43.21
				2	1	31	360.00	22	267.00	41	34.83
					2	31	360.00	22	267.00	41	34.83
					3	31	360.00	22	267.00	41	34.83
					4	31	360.00	22	267.00	41	34.83
					5	31	360.00	22	267.00	41	34.83
				3	1	22	401.50	15	281.00	47	42.88
					2	20	412.00	15	281.00	33	46.62
					3	20	412.00	15	281.00	33	46.62
					4	23	417.50	15	281.00	53	48.58
					5	23	417.50	15	281.00	53	48.58
		2	1	1	1	16	65.00	11	44.00	45	47.73
					2	17	68.50	11	44.00	55	55.68
					3	17	68.50	11	44.00	55	55.68
					4	17	68.50	11	44.00	55	55.68
					5	17	68.50	11	44.00	55	55.68
				2	1	16	233.00	14	215.50	14	8.12
					2	16	233.00	14	215.50	14	8.12
					3	16	233.00	14	215.50	14	8.12
					4	16	233.00	14	215.50	14	8.12
					5	16	233.00	14	215.50	14	8.12
				3	1	18	393.50	15	253.00	20	55.53
					2	18	393.50	15	253.00	20	55.53
					3	18	393.50	15	253.00	20	55.53
					4	18	393.50	15	253.00	20	55.53
					5	19	407.00	15	253.00	27	60.87
			2	1	1	25	109.00	17	76.50	47	42.48
					2	25	109.00	17	76.50	47	42.48
					3	25	109.00	17	76.50	47	42.48
					4	27	121.00	17	76.50	59	58.17
					5	27	121.00	17	76.50	59	58.17
				2	1	25	299.00	20	206.00	25	45.15
					2	24	307.50	20	206.00	20	49.27
					3	24	307.50	20	206.00	20	49.27
					4	24	307.50	20	206.00	20	49.27
					5	24	307.50	20	206.00	20	49.27
				3	1	20	473.00	15	352.50	33	34.18
					2	20	486.50	15	352.50	33	38.01
					3	22	510.00	15	352.50	47	44.68
					4	22	510.00	15	352.50	47	44.68
					5	22	510.00	15	352.50	47	44.68

EK–16 *n=70* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
70	2	1	1	1	1	14	65.00	7	34.00	100	91.18
					2	14	65.00	7	34.00	100	91.18
					3	14	65.00	7	34.00	100	91.18
					4	14	65.00	7	34.00	100	91.18
					5	14	65.00	7	34.00	100	91.18
				2	1	16	223.00	9	107.00	78	108.41
					2	16	223.00	9	107.00	78	108.41
					3	16	223.00	9	107.00	78	108.41
					4	19	240.00	9	107.00	111	124.30
					5	19	240.00	9	107.00	111	124.30
				3	1	15	328.50	8	181.00	88	81.49
					2	15	328.50	8	181.00	88	81.49
					3	15	328.50	8	181.00	88	81.49
					4	15	328.50	8	181.00	88	81.49
					5	15	328.50	8	181.00	88	81.49
			2	1	1	16	67.50	10	41.50	60	62.65
					2	17	71.50	10	41.50	70	72.29
					3	17	71.50	10	41.50	70	72.29
					4	17	71.50	10	41.50	70	72.29
					5	17	71.50	10	41.50	70	72.29
				2	1	18	208.50	8	97.50	125	113.85
					2	18	208.50	8	97.50	125	113.85
					3	18	208.50	8	97.50	125	113.85
					4	18	208.50	8	97.50	125	113.85
					5	18	218.50	8	97.50	125	124.10
				3	1	19	404.50	14	277.50	36	45.77
					2	19	404.50	14	277.50	36	45.77
					3	19	404.50	14	277.50	36	45.77
					4	18	413.50	14	277.50	29	49.01
					5	18	413.50	14	277.50	29	49.01
		2	1	1	1	12	54.50	5	18.00	140	202.78
					2	12	54.50	5	18.00	140	202.78
					3	12	54.50	5	18.00	140	202.78
					4	12	54.50	5	18.00	140	202.78
					5	12	54.50	5	18.00	140	202.78
				2	1	11	143.50	4	40.50	175	254.32
					2	11	143.50	4	40.50	175	254.32
					3	11	143.50	4	40.50	175	254.32
					4	11	148.00	4	40.50	175	265.43
					5	11	148.00	4	40.50	175	265.43
				3	1	10	236.00	8	112.50	25	109.78
					2	10	236.00	8	112.50	25	109.78
					3	10	236.00	8	112.50	25	109.78
					4	10	236.00	8	112.50	25	109.78
					5	11	245.00	8	112.50	38	117.78
			2	1	1	18	76.50	10	40.00	80	91.25
					2	18	76.50	10	40.00	80	91.25
					3	18	76.50	10	40.00	80	91.25
					4	18	77.50	10	40.00	80	93.75
					5	18	77.50	10	40.00	80	93.75
				2	1	15	165.50	8	73.50	88	125.17
					2	14	174.00	8	73.50	75	136.73
					3	14	174.00	8	73.50	75	136.73
					4	14	174.00	8	73.50	75	136.73
					5	14	174.00	8	73.50	75	136.73
				3	1	15	303.00	8	110.00	88	175.45
					2	15	303.00	8	110.00	88	175.45
					3	16	341.00	8	110.00	100	210.00
					4	16	341.00	8	110.00	100	210.00
					5	16	341.00	8	110.00	100	210.00

EK–17 *n=70* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
70	3	1	1	1	1	19	78.50	9	40.00	111	96.25
					2	19	78.50	9	40.00	111	96.25
					3	19	78.50	9	40.00	111	96.25
					4	19	79.50	9	40.00	111	98.75
					5	18	80.00	9	40.00	100	100.00
				2	1	17	209.50	13	157.00	31	33.44
					2	17	209.50	13	157.00	31	33.44
					3	17	209.50	13	157.00	31	33.44
					4	17	209.50	13	157.00	31	33.44
					5	17	209.50	13	157.00	31	33.44
				3	1	15	336.50	13	198.00	15	69.95
					2	14	338.50	13	198.00	8	70.96
					3	14	338.50	13	198.00	8	70.96
					4	14	338.50	13	198.00	8	70.96
					5	17	341.00	13	198.00	31	72.22
			2	1	1	19	77.50	12	51.00	58	51.96
					2	19	77.50	12	51.00	58	51.96
					3	19	77.50	12	51.00	58	51.96
					4	19	77.50	12	51.00	58	51.96
					5	19	77.50	12	51.00	58	51.96
				2	1	23	287.50	12	135.50	92	112.18
					2	23	287.50	12	135.50	92	112.18
					3	23	287.50	12	135.50	92	112.18
					4	23	287.50	12	135.50	92	112.18
					5	23	287.50	12	135.50	92	112.18
				3	1	23	449.00	14	294.50	64	52.46
					2	22	454.00	14	294.50	57	54.16
					3	22	454.00	14	294.50	57	54.16
					4	18	471.00	14	294.50	29	59.93
					5	18	471.00	14	294.50	29	59.93
		2	1	1	1	20	85.00	12	51.00	67	66.67
					2	20	85.00	12	51.00	67	66.67
					3	20	85.00	12	51.00	67	66.67
					4	20	85.00	12	51.00	67	66.67
					5	20	85.00	12	51.00	67	66.67
				2	1	16	201.50	7	65.00	129	210.00
					2	16	201.50	7	65.00	129	210.00
					3	15	202.00	7	65.00	114	210.77
					4	15	202.00	7	65.00	114	210.77
					5	17	231.50	7	65.00	143	256.15
				3	1	15	338.50	8	194.50	88	74.04
					2	15	338.50	8	194.50	88	74.04
					3	15	338.50	8	194.50	88	74.04
					4	15	338.50	8	194.50	88	74.04
					5	15	338.50	8	194.50	88	74.04
			2	1	1	20	84.50	11	45.00	82	87.78
					2	21	88.00	11	45.00	91	95.56
					3	21	88.00	11	45.00	91	95.56
					4	21	88.00	11	45.00	91	95.56
					5	21	88.00	11	45.00	91	95.56
				2	1	17	238.00	11	152.00	55	56.58
					2	18	264.00	11	152.00	64	73.68
					3	18	264.00	11	152.00	64	73.68
					4	18	264.00	11	152.00	64	73.68
					5	18	264.00	11	152.00	64	73.68
				3	1	18	437.00	19	450.50	-5	-3.00
					2	18	437.00	19	450.50	-5	-3.00
					3	18	437.00	19	450.50	-5	-3.00
					4	18	437.00	19	450.50	-5	-3.00
					5	18	437.00	19	450.50	-5	-3.00

EK–18 *n=70* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
70	4	1	1	1	1	22	101.00	12	47.50	83	112.63
					2	22	101.00	12	47.50	83	112.63
					3	23	105.00	12	47.50	92	121.05
					4	24	107.50	12	47.50	100	126.32
					5	24	107.50	12	47.50	100	126.32
				2	1	22	298.50	12	174.00	83	71.55
					2	22	298.50	12	174.00	83	71.55
					3	22	298.50	12	174.00	83	71.55
					4	22	298.50	12	174.00	83	71.55
					5	22	298.50	12	174.00	83	71.55
				3	1	22	456.50	20	397.50	10	14.84
					2	22	456.50	20	397.50	10	14.84
					3	24	507.50	20	397.50	20	27.67
					4	24	507.50	20	397.50	20	27.67
					5	24	507.50	20	397.50	20	27.67
			2	1	1	24	105.00	18	75.00	33	40.00
					2	28	115.00	18	75.00	56	53.33
					3	28	115.00	18	75.00	56	53.33
					4	28	115.00	18	75.00	56	53.33
					5	28	115.00	18	75.00	56	53.33
				2	1	23	275.50	21	228.00	10	20.83
					2	23	275.50	21	228.00	10	20.83
					3	24	281.50	21	228.00	14	23.46
					4	24	281.50	21	228.00	14	23.46
					5	24	281.50	21	228.00	14	23.46
				3	1	29	561.00	15	322.50	93	73.95
					2	29	561.00	15	322.50	93	73.95
					3	29	561.00	15	322.50	93	73.95
					4	29	561.00	15	322.50	93	73.95
					5	29	561.00	15	322.50	93	73.95
		2	1	1	1	18	85.00	9	37.00	100	129.73
					2	18	85.00	9	37.00	100	129.73
					3	18	85.00	9	37.00	100	129.73
					4	18	85.00	9	37.00	100	129.73
					5	18	85.00	9	37.00	100	129.73
				2	1	15	194.50	8	119.50	88	62.76
					2	15	194.50	8	119.50	88	62.76
					3	15	194.50	8	119.50	88	62.76
					4	15	194.50	8	119.50	88	62.76
					5	15	194.50	8	119.50	88	62.76
				3	1	15	350.50	9	170.00	67	106.18
					2	15	350.50	9	170.00	67	106.18
					3	17	376.00	9	170.00	89	121.18
					4	17	376.00	9	170.00	89	121.18
					5	17	376.00	9	170.00	89	121.18
			2	1	1	28	125.50	21	97.00	33	29.38
					2	29	131.00	21	97.00	38	35.05
					3	29	131.00	21	97.00	38	35.05
					4	29	131.00	21	97.00	38	35.05
					5	29	131.00	21	97.00	38	35.05
				2	1	23	241.50	19	209.50	21	15.27
					2	23	241.50	19	209.50	21	15.27
					3	23	241.50	19	209.50	21	15.27
					4	23	241.50	19	209.50	21	15.27
					5	22	243.00	19	209.50	16	15.99
				3	1	28	568.00	21	411.50	33	38.03
					2	28	568.00	21	411.50	33	38.03
					3	29	584.50	21	411.50	38	42.04
					4	29	584.50	21	411.50	38	42.04
					5	29	584.50	21	411.50	38	42.04

EK–19 *n=80* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
80	2	1	1	1	1	13	59.00	9	43.00	44	37.21
					2	13	59.00	9	43.00	44	37.21
					3	13	59.00	9	43.00	44	37.21
					4	13	59.00	9	43.00	44	37.21
					5	13	59.00	9	43.00	44	37.21
				2	1	21	261.00	6	65.00	250	301.54
					2	21	261.00	6	65.00	250	301.54
					3	21	261.00	6	65.00	250	301.54
					4	21	261.00	6	65.00	250	301.54
					5	21	261.00	6	65.00	250	301.54
				3	1	12	261.50	8	199.50	50	31.08
					2	12	261.50	8	199.50	50	31.08
					3	12	261.50	8	199.50	50	31.08
					4	12	261.50	8	199.50	50	31.08
					5	12	267.50	8	199.50	50	34.09
			2	1	1	19	86.50	11	50.00	73	73.00
					2	19	86.50	11	50.00	73	73.00
					3	19	86.50	11	50.00	73	73.00
					4	19	86.50	11	50.00	73	73.00
					5	19	86.50	11	50.00	73	73.00
				2	1	17	221.50	14	152.50	21	45.25
					2	17	225.50	14	152.50	21	47.87
					3	17	225.50	14	152.50	21	47.87
					4	19	228.00	14	152.50	36	49.51
					5	20	232.50	14	152.50	43	52.46
				3	1	18	327.50	11	235.00	64	39.36
					2	18	327.50	11	235.00	64	39.36
					3	18	327.50	11	235.00	64	39.36
					4	18	327.50	11	235.00	64	39.36
					5	18	327.50	11	235.00	64	39.36
		2	1	1	1	11	44.50	8	32.00	38	39.06
					2	11	45.50	8	32.00	38	42.19
					3	11	47.00	8	32.00	38	46.88
					4	11	49.00	8	32.00	38	53.13
					5	11	49.00	8	32.00	38	53.13
				2	1	12	157.50	7	80.50	71	95.65
					2	12	174.50	7	80.50	71	116.77
					3	12	174.50	7	80.50	71	116.77
					4	13	176.00	7	80.50	86	118.63
					5	13	176.00	7	80.50	86	118.63
				3	1	13	242.00	13	203.50	0	18.92
					2	13	242.00	13	203.50	0	18.92
					3	13	242.00	13	203.50	0	18.92
					4	11	248.00	13	203.50	-15	21.87
					5	11	248.00	13	203.50	-15	21.87
			2	1	1	19	88.50	10	40.50	90	118.52
					2	19	88.50	10	40.50	90	118.52
					3	19	88.50	10	40.50	90	118.52
					4	19	90.00	10	40.50	90	122.22
					5	19	90.00	10	40.50	90	122.22
				2	1	17	261.50	8	97.50	113	168.21
					2	17	261.50	8	97.50	113	168.21
					3	17	261.50	8	97.50	113	168.21
					4	17	261.50	8	97.50	113	168.21
					5	17	261.50	8	97.50	113	168.21
				3	1	14	263.50	11	140.50	27	87.54
					2	14	263.50	11	140.50	27	87.54
					3	15	267.50	11	140.50	36	90.39
					4	15	267.50	11	140.50	36	90.39
					5	15	267.50	11	140.50	36	90.39

EK–20 *n=80* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
80	3	1	1	1	1	17	76.00	5	21.50	240	253.49
					2	17	76.00	5	21.50	240	253.49
					3	19	77.00	5	21.50	280	258.14
					4	19	77.00	5	21.50	280	258.14
					5	19	77.00	5	21.50	280	258.14
				2	1	19	236.00	11	98.00	73	140.82
					2	19	236.00	11	98.00	73	140.82
					3	19	236.00	11	98.00	73	140.82
					4	19	236.00	11	98.00	73	140.82
					5	19	236.00	11	98.00	73	140.82
				3	1	20	388.50	11	228.00	82	70.39
					2	20	434.50	11	228.00	82	90.57
					3	20	434.50	11	228.00	82	90.57
					4	20	434.50	11	228.00	82	90.57
					5	20	434.50	11	228.00	82	90.57
			2	1	1	21	92.50	15	67.00	40	38.06
					2	22	97.50	15	67.00	47	45.52
					3	22	97.50	15	67.00	47	45.52
					4	22	97.50	15	67.00	47	45.52
					5	22	97.50	15	67.00	47	45.52
				2	1	26	263.50	14	178.50	86	47.62
					2	26	263.50	14	178.50	86	47.62
					3	26	263.50	14	178.50	86	47.62
					4	26	263.50	14	178.50	86	47.62
					5	26	272.50	14	178.50	86	52.66
				3	1	23	472.50	18	345.50	28	36.76
					2	23	472.50	18	345.50	28	36.76
					3	23	472.50	18	345.50	28	36.76
					4	23	472.50	18	345.50	28	36.76
					5	23	472.50	18	345.50	28	36.76
		2	1	1	1	14	64.50	10	42.00	40	53.57
					2	15	66.50	10	42.00	50	58.33
					3	15	66.50	10	42.00	50	58.33
					4	15	66.50	10	42.00	50	58.33
					5	15	66.50	10	42.00	50	58.33
				2	1	15	165.00	10	108.00	50	52.78
					2	15	165.00	10	108.00	50	52.78
					3	15	180.50	10	108.00	50	67.13
					4	15	180.50	10	108.00	50	67.13
					5	15	180.50	10	108.00	50	67.13
				3	1	18	369.00	10	152.50	80	141.97
					2	18	391.50	10	152.50	80	156.72
					3	18	391.50	10	152.50	80	156.72
					4	18	391.50	10	152.50	80	156.72
					5	18	391.50	10	152.50	80	156.72
			2	1	1	21	89.00	14	61.50	50	44.72
					2	21	89.00	14	61.50	50	44.72
					3	21	91.50	14	61.50	50	48.78
					4	22	95.50	14	61.50	57	55.28
					5	22	95.50	14	61.50	57	55.28
				2	1	23	259.50	15	196.00	53	32.40
					2	23	259.50	15	196.00	53	32.40
					3	23	259.50	15	196.00	53	32.40
					4	23	259.50	15	196.00	53	32.40
					5	23	259.50	15	196.00	53	32.40
				3	1	22	425.00	16	312.00	38	36.22
					2	22	434.00	16	312.00	38	39.10
					3	22	443.00	16	312.00	38	41.99
					4	22	443.00	16	312.00	38	41.99
					5	22	443.00	16	312.00	38	41.99

EK–21 *n=80* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
80	4	1	1	1	1	20	88.00	9	43.50	122	102.30
					2	20	88.00	9	43.50	122	102.30
					3	20	88.00	9	43.50	122	102.30
					4	20	88.00	9	43.50	122	102.30
					5	20	88.00	9	43.50	122	102.30
				2	1	28	337.00	15	161.00	87	109.32
					2	28	337.00	15	161.00	87	109.32
					3	28	337.00	15	161.00	87	109.32
					4	28	337.00	15	161.00	87	109.32
					5	28	337.00	15	161.00	87	109.32
				3	1	23	410.50	15	269.00	53	52.60
					2	23	433.00	15	269.00	53	60.97
					3	23	433.00	15	269.00	53	60.97
					4	23	433.00	15	269.00	53	60.97
					5	23	433.00	15	269.00	53	60.97
			2	1	1	23	105.50	19	78.00	21	35.26
					2	26	114.50	19	78.00	37	46.79
					3	26	114.50	19	78.00	37	46.79
					4	28	121.00	19	78.00	47	55.13
					5	28	121.00	19	78.00	47	55.13
				2	1	28	296.50	23	245.00	22	21.02
					2	28	296.50	23	245.00	22	21.02
					3	28	307.50	23	245.00	22	25.51
					4	28	307.50	23	245.00	22	25.51
					5	28	307.50	23	245.00	22	25.51
				3	1	26	559.00	30	622.00	-13	-10.13
					2	28	593.50	30	622.00	-7	-4.58
					3	26	599.50	30	622.00	-13	-3.62
					4	26	599.50	30	622.00	-13	-3.62
					5	26	599.50	30	622.00	-13	-3.62
		2	1	1	1	20	88.50	11	42.00	82	110.71
					2	22	92.00	11	42.00	100	119.05
					3	22	92.00	11	42.00	100	119.05
					4	22	92.00	11	42.00	100	119.05
					5	22	94.00	11	42.00	100	123.81
				2	1	18	222.00	7	77.50	157	186.45
					2	17	230.00	7	77.50	143	196.77
					3	17	230.00	7	77.50	143	196.77
					4	17	230.00	7	77.50	143	196.77
					5	17	230.00	7	77.50	143	196.77
				3	1	22	434.50	19	369.00	16	17.75
					2	22	456.50	19	369.00	16	23.71
					3	24	469.50	19	369.00	26	27.24
					4	24	469.50	19	369.00	26	27.24
					5	24	469.50	19	369.00	26	27.24
			2	1	1	28	120.50	20	84.50	40	42.60
					2	29	126.50	20	84.50	45	49.70
					3	29	126.50	20	84.50	45	49.70
					4	29	126.50	20	84.50	45	49.70
					5	29	126.50	20	84.50	45	49.70
				2	1	21	295.50	14	168.00	50	75.89
					2	21	295.50	14	168.00	50	75.89
					3	21	295.50	14	168.00	50	75.89
					4	22	304.50	14	168.00	57	81.25
					5	22	304.50	14	168.00	57	81.25
				3	1	27	496.00	20	401.50	35	23.54
					2	27	518.50	20	401.50	35	29.14
					3	27	518.50	20	401.50	35	29.14
					4	27	518.50	20	401.50	35	29.14
					5	27	518.50	20	401.50	35	29.14

EK–22 *n=90* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
90	2	1	1	1	1	14	60.50	8	35.00	75	72.86
					2	14	60.50	8	35.00	75	72.86
					3	14	60.50	8	35.00	75	72.86
					4	14	60.50	8	35.00	75	72.86
					5	14	60.50	8	35.00	75	72.86
				2	1	14	185.50	8	83.00	75	123.49
					2	14	186.50	8	83.00	75	124.70
					3	14	186.50	8	83.00	75	124.70
					4	14	186.50	8	83.00	75	124.70
					5	14	186.50	8	83.00	75	124.70
				3	1	17	385.50	5	120.00	240	221.25
					2	17	385.50	5	120.00	240	221.25
					3	17	385.50	5	120.00	240	221.25
					4	17	385.50	5	120.00	240	221.25
					5	17	385.50	5	120.00	240	221.25
			2	1	1	23	96.00	11	47.00	109	104.26
					2	23	96.00	11	47.00	109	104.26
					3	23	96.00	11	47.00	109	104.26
					4	23	96.00	11	47.00	109	104.26
					5	23	96.00	11	47.00	109	104.26
				2	1	18	206.00	12	139.00	50	48.20
					2	19	211.50	12	139.00	58	52.16
					3	19	211.50	12	139.00	58	52.16
					4	19	211.50	12	139.00	58	52.16
					5	19	211.50	12	139.00	58	52.16
				3	1	22	455.50	10	221.50	120	105.64
					2	22	455.50	10	221.50	120	105.64
					3	22	455.50	10	221.50	120	105.64
					4	22	455.50	10	221.50	120	105.64
					5	22	455.50	10	221.50	120	105.64
		2	1	1	1	15	66.50	4	15.50	275	329.03
					2	15	66.50	4	15.50	275	329.03
					3	15	66.50	4	15.50	275	329.03
					4	15	66.50	4	15.50	275	329.03
					5	15	66.50	4	15.50	275	329.03
				2	1	10	148.50	5	45.50	100	226.37
					2	10	148.50	5	45.50	100	226.37
					3	10	148.50	5	45.50	100	226.37
					4	10	148.50	5	45.50	100	226.37
					5	10	148.50	5	45.50	100	226.37
				3	1	15	290.00	10	182.00	50	59.34
					2	15	290.00	10	182.00	50	59.34
					3	15	290.00	10	182.00	50	59.34
					4	15	290.00	10	182.00	50	59.34
					5	15	290.00	10	182.00	50	59.34
			2	1	1	16	66.00	8	34.00	100	94.12
					2	16	66.00	8	34.00	100	94.12
					3	16	66.00	8	34.00	100	94.12
					4	16	69.50	8	34.00	100	104.41
					5	16	69.50	8	34.00	100	104.41
				2	1	18	234.00	10	126.00	80	85.71
					2	18	234.00	10	126.00	80	85.71
					3	18	234.00	10	126.00	80	85.71
					4	18	234.00	10	126.00	80	85.71
					5	18	234.00	10	126.00	80	85.71
				3	1	19	374.50	12	270.50	58	38.45
					2	19	374.50	12	270.50	58	38.45
					3	19	374.50	12	270.50	58	38.45
					4	19	374.50	12	270.50	58	38.45
					5	19	374.50	12	270.50	58	38.45

EK–23 *n=90* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
90	3	1	1	1	1	22	94.00	14	61.50	57	52.85
					2	22	94.00	14	61.50	57	52.85
					3	22	94.00	14	61.50	57	52.85
					4	22	94.00	14	61.50	57	52.85
					5	22	94.00	14	61.50	57	52.85
				2	1	19	270.50	9	155.50	111	73.95
					2	20	280.00	9	155.50	122	80.06
					3	20	280.00	9	155.50	122	80.06
					4	20	280.00	9	155.50	122	80.06
					5	21	295.50	9	155.50	133	90.03
				3	1	21	452.50	10	158.50	110	185.49
					2	21	469.00	10	158.50	110	195.90
					3	21	469.00	10	158.50	110	195.90
					4	21	469.00	10	158.50	110	195.90
					5	23	510.50	10	158.50	130	222.08
			2	1	1	29	121.50	17	76.00	71	59.87
					2	29	126.50	17	76.00	71	66.45
					3	29	126.50	17	76.00	71	66.45
					4	29	126.50	17	76.00	71	66.45
					5	29	126.50	17	76.00	71	66.45
				2	1	25	297.00	20	239.50	25	24.01
					2	25	297.00	20	239.50	25	24.01
					3	24	300.50	20	239.50	20	25.47
					4	24	300.50	20	239.50	20	25.47
					5	26	306.50	20	239.50	30	27.97
				3	1	23	489.50	14	285.50	64	71.45
					2	23	499.00	14	285.50	64	74.78
					3	23	499.00	14	285.50	64	74.78
					4	23	499.00	14	285.50	64	74.78
					5	23	499.00	14	285.50	64	74.78
		2	1	1	1	18	80.50	12	54.00	50	49.07
					2	18	80.50	12	54.00	50	49.07
					3	19	88.50	12	54.00	58	63.89
					4	19	88.50	12	54.00	58	63.89
					5	19	88.50	12	54.00	58	63.89
				2	1	22	309.50	8	87.50	175	253.71
					2	22	309.50	8	87.50	175	253.71
					3	22	309.50	8	87.50	175	253.71
					4	22	309.50	8	87.50	175	253.71
					5	22	309.50	8	87.50	175	253.71
				3	1	11	267.00	9	115.00	22	132.17
					2	14	280.00	9	115.00	56	143.48
					3	14	280.00	9	115.00	56	143.48
					4	14	280.00	9	115.00	56	143.48
					5	14	280.00	9	115.00	56	143.48
			2	1	1	27	107.00	20	79.50	35	34.59
					2	27	107.00	20	79.50	35	34.59
					3	27	107.00	20	79.50	35	34.59
					4	27	107.00	20	79.50	35	34.59
					5	27	113.00	20	79.50	35	42.14
				2	1	21	273.00	18	201.50	17	35.48
					2	21	273.00	18	201.50	17	35.48
					3	23	283.50	18	201.50	28	40.69
					4	21	286.00	18	201.50	17	41.94
					5	21	286.00	18	201.50	17	41.94
				3	1	25	508.00	21	343.50	19	47.89
					2	25	508.00	21	343.50	19	47.89
					3	25	508.00	21	343.50	19	47.89
					4	25	508.00	21	343.50	19	47.89
					5	25	508.00	21	343.50	19	47.89

EK–24 *n=90* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
90	4	1	1	1	1	23	96.00	16	70.50	44	36.17
					2	24	96.50	16	70.50	50	36.88
					3	24	96.50	16	70.50	50	36.88
					4	24	96.50	16	70.50	50	36.88
					5	25	110.00	16	70.50	56	56.03
				2	1	24	328.50	8	101.00	200	225.25
					2	24	328.50	8	101.00	200	225.25
					3	24	328.50	8	101.00	200	225.25
					4	24	328.50	8	101.00	200	225.25
					5	25	352.50	8	101.00	213	249.01
				3	1	26	471.00	8	115.50	225	307.79
					2	26	471.00	8	115.50	225	307.79
					3	25	475.50	8	115.50	213	311.69
					4	25	475.50	8	115.50	213	311.69
					5	25	475.50	8	115.50	213	311.69
			2	1	1	34	153.50	20	82.00	70	87.20
					2	34	153.50	20	82.00	70	87.20
					3	37	167.00	20	82.00	85	103.66
					4	37	167.00	20	82.00	85	103.66
					5	37	167.00	20	82.00	85	103.66
				2	1	24	304.50	18	219.50	33	38.72
					2	24	304.50	18	219.50	33	38.72
					3	24	304.50	18	219.50	33	38.72
					4	24	304.50	18	219.50	33	38.72
					5	24	304.50	18	219.50	33	38.72
				3	1	32	709.50	18	334.00	78	112.43
					2	32	709.50	18	334.00	78	112.43
					3	32	709.50	18	334.00	78	112.43
					4	32	709.50	18	334.00	78	112.43
					5	32	709.50	18	334.00	78	112.43
		2	1	1	1	18	78.50	13	59.50	38	31.93
					2	18	80.50	13	59.50	38	35.29
					3	18	80.50	13	59.50	38	35.29
					4	18	80.50	13	59.50	38	35.29
					5	18	80.50	13	59.50	38	35.29
				2	1	21	261.50	9	127.50	133	105.10
					2	21	261.50	9	127.50	133	105.10
					3	21	261.50	9	127.50	133	105.10
					4	21	261.50	9	127.50	133	105.10
					5	21	261.50	9	127.50	133	105.10
				3	1	21	461.00	14	262.50	50	75.62
					2	21	461.00	14	262.50	50	75.62
					3	21	461.00	14	262.50	50	75.62
					4	22	485.00	14	262.50	57	84.76
					5	22	485.00	14	262.50	57	84.76
			2	1	1	29	128.00	22	93.00	32	37.63
					2	29	133.00	22	93.00	32	43.01
					3	29	133.00	22	93.00	32	43.01
					4	29	133.00	22	93.00	32	43.01
					5	30	138.00	22	93.00	36	48.39
				2	1	31	379.50	25	264.00	24	43.75
					2	33	402.50	25	264.00	32	52.46
					3	33	402.50	25	264.00	32	52.46
					4	33	402.50	25	264.00	32	52.46
					5	33	402.50	25	264.00	32	52.46
				3	1	30	602.00	16	270.50	88	122.55
					2	30	602.00	16	270.50	88	122.55
					3	30	602.00	16	270.50	88	122.55
					4	30	602.00	16	270.50	88	122.55
					5	29	604.50	16	270.50	81	123.48

EK–25 *n=100* ve *m=2* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
100	2	1	1	1	1	15	69.50	12	47.50	25	46.32
					2	15	69.50	12	47.50	25	46.32
					3	17	74.50	12	47.50	42	56.84
					4	17	74.50	12	47.50	42	56.84
					5	17	74.50	12	47.50	42	56.84
				2	1	15	175.00	7	55.00	114	218.18
					2	15	175.00	7	55.00	114	218.18
					3	15	175.00	7	55.00	114	218.18
					4	15	175.00	7	55.00	114	218.18
					5	14	192.00	7	55.00	100	249.09
				3	1	12	221.00	8	124.50	50	77.51
					2	13	224.50	8	124.50	63	80.32
					3	13	240.00	8	124.50	63	92.77
					4	13	240.00	8	124.50	63	92.77
					5	13	240.00	8	124.50	63	92.77
			2	1	1	21	88.50	12	49.50	75	78.79
					2	21	88.50	12	49.50	75	78.79
					3	21	88.50	12	49.50	75	78.79
					4	21	88.50	12	49.50	75	78.79
					5	21	88.50	12	49.50	75	78.79
				2	1	16	195.00	9	131.00	78	48.85
					2	16	195.00	9	131.00	78	48.85
					3	16	195.00	9	131.00	78	48.85
					4	16	195.00	9	131.00	78	48.85
					5	16	195.00	9	131.00	78	48.85
				3	1	17	362.50	11	203.00	55	78.57
					2	17	362.50	11	203.00	55	78.57
					3	17	362.50	11	203.00	55	78.57
					4	17	362.50	11	203.00	55	78.57
					5	17	362.50	11	203.00	55	78.57
		2	1	1	1	11	47.00	9	39.50	22	18.99
					2	11	47.50	9	39.50	22	20.25
					3	11	48.50	9	39.50	22	22.78
					4	11	48.50	9	39.50	22	22.78
					5	11	48.50	9	39.50	22	22.78
				2	1	13	169.00	6	79.50	117	112.58
					2	13	182.00	6	79.50	117	128.93
					3	13	182.00	6	79.50	117	128.93
					4	13	182.00	6	79.50	117	128.93
					5	13	182.00	6	79.50	117	128.93
				3	1	13	266.00	7	152.00	86	75.00
					2	13	266.00	7	152.00	86	75.00
					3	13	266.00	7	152.00	86	75.00
					4	13	266.00	7	152.00	86	75.00
					5	13	271.50	7	152.00	86	78.62
			2	1	1	16	62.50	11	49.00	45	27.55
					2	17	69.50	11	49.00	55	41.84
					3	17	69.50	11	49.00	55	41.84
					4	17	69.50	11	49.00	55	41.84
					5	17	69.50	11	49.00	55	41.84
				2	1	18	227.50	7	85.00	157	167.65
					2	18	227.50	7	85.00	157	167.65
					3	18	227.50	7	85.00	157	167.65
					4	20	232.50	7	85.00	186	173.53
					5	20	232.50	7	85.00	186	173.53
				3	1	14	284.00	13	255.00	8	11.37
					2	14	284.00	13	255.00	8	11.37
					3	14	284.00	13	255.00	8	11.37
					4	14	284.00	13	255.00	8	11.37
					5	14	284.00	13	255.00	8	11.37

EK–26 *n=100* ve *m=3* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
100	3	1	1	1	1	22	98.00	10	41.50	120	136.14
					2	22	98.00	10	41.50	120	136.14
					3	22	100.50	10	41.50	120	142.17
					4	23	102.50	10	41.50	130	146.99
					5	24	106.50	10	41.50	140	156.63
				2	1	18	229.00	7	77.00	157	197.40
					2	18	229.00	7	77.00	157	197.40
					3	20	232.50	7	77.00	186	201.95
					4	20	232.50	7	77.00	186	201.95
					5	20	233.50	7	77.00	186	203.25
				3	1	16	284.50	13	201.50	23	41.19
					2	18	296.50	13	201.50	38	47.15
					3	18	296.50	13	201.50	38	47.15
					4	18	296.50	13	201.50	38	47.15
					5	19	297.00	13	201.50	46	47.39
			2	1	1	22	98.50	15	62.00	47	58.87
					2	22	98.50	15	62.00	47	58.87
					3	22	98.50	15	62.00	47	58.87
					4	22	99.50	15	62.00	47	60.48
					5	25	114.00	15	62.00	67	83.87
				2	1	23	267.00	22	200.50	5	33.17
					2	23	267.00	22	200.50	5	33.17
					3	23	267.00	22	200.50	5	33.17
					4	24	268.00	22	200.50	9	33.67
					5	24	268.00	22	200.50	9	33.67
				3	1	22	509.00	16	399.00	38	27.57
					2	22	509.00	16	399.00	38	27.57
					3	22	509.00	16	399.00	38	27.57
					4	21	521.50	16	399.00	31	30.70
					5	21	521.50	16	399.00	31	30.70
		2	1	1	1	16	65.00	9	35.50	78	83.10
					2	16	67.00	9	35.50	78	88.73
					3	16	67.00	9	35.50	78	88.73
					4	16	67.00	9	35.50	78	88.73
					5	16	67.00	9	35.50	78	88.73
				2	1	20	219.50	14	151.00	43	45.36
					2	20	222.00	14	151.00	43	47.02
					3	20	222.00	14	151.00	43	47.02
					4	20	222.00	14	151.00	43	47.02
					5	20	222.00	14	151.00	43	47.02
				3	1	17	332.50	6	71.00	183	368.31
					2	17	332.50	6	71.00	183	368.31
					3	17	332.50	6	71.00	183	368.31
					4	17	332.50	6	71.00	183	368.31
					5	17	332.50	6	71.00	183	368.31
			2	1	1	29	128.00	15	66.00	93	93.94
					2	29	128.00	15	66.00	93	93.94
					3	29	128.00	15	66.00	93	93.94
					4	29	128.00	15	66.00	93	93.94
					5	29	128.00	15	66.00	93	93.94
				2	1	29	334.00	24	255.00	21	30.98
					2	28	349.50	24	255.00	17	37.06
					3	28	349.50	24	255.00	17	37.06
					4	28	349.50	24	255.00	17	37.06
					5	28	349.50	24	255.00	17	37.06
				3	1	26	528.50	19	328.00	37	61.13
					2	26	528.50	19	328.00	37	61.13
					3	26	528.50	19	328.00	37	61.13
					4	26	528.50	19	328.00	37	61.13
					5	26	528.50	19	328.00	37	61.13

EK–27 *n=100* ve *m=4* için sonuçlar.

						Genetik Algoritma		Bouzina ve Emmons		Yüzde Sapma (%)	
n	m	r	d	w	Tekrar Sayısı	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax	Atanan İş Sayısı	Zmax
100	4	1	1	1	1	25	116.50	9	38.00	178	206.58
					2	25	116.50	9	38.00	178	206.58
					3	25	116.50	9	38.00	178	206.58
					4	29	124.00	9	38.00	222	226.32
					5	31	133.00	9	38.00	244	250.00
				2	1	25	324.00	10	113.50	150	185.46
					2	25	324.00	10	113.50	150	185.46
					3	25	336.50	10	113.50	150	196.48
					4	25	336.50	10	113.50	150	196.48
					5	25	336.50	10	113.50	150	196.48
				3	1	25	469.50	16	255.00	56	84.12
					2	25	480.50	16	255.00	56	88.43
					3	25	480.50	16	255.00	56	88.43
					4	25	480.50	16	255.00	56	88.43
					5	25	480.50	16	255.00	56	88.43
			2	1	1	28	124.50	18	81.00	56	53.70
					2	28	130.00	18	81.00	56	60.49
					3	28	130.00	18	81.00	56	60.49
					4	30	137.00	18	81.00	67	69.14
					5	30	137.00	18	81.00	67	69.14
				2	1	29	348.00	19	220.50	53	57.82
					2	29	373.50	19	220.50	53	69.39
					3	29	373.50	19	220.50	53	69.39
					4	29	373.50	19	220.50	53	69.39
					5	29	373.50	19	220.50	53	69.39
				3	1	30	561.50	21	358.00	43	56.84
					2	30	561.50	21	358.00	43	56.84
					3	30	561.50	21	358.00	43	56.84
					4	30	561.50	21	358.00	43	56.84
					5	30	573.00	21	358.00	43	60.06
		2	1	1	1	21	93.00	15	61.00	40	52.46
					2	21	93.00	15	61.00	40	52.46
					3	22	96.50	15	61.00	47	58.20
					4	22	96.50	15	61.00	47	58.20
					5	22	96.50	15	61.00	47	58.20
				2	1	18	272.50	13	156.00	38	74.68
					2	18	280.50	13	156.00	38	79.81
					3	18	280.50	13	156.00	38	79.81
					4	18	286.50	13	156.00	38	83.65
					5	21	307.00	13	156.00	62	96.79
				3	1	16	400.00	15	329.00	7	21.58
					2	17	440.50	15	329.00	13	33.89
					3	17	440.50	15	329.00	13	33.89
					4	17	440.50	15	329.00	13	33.89
					5	17	440.50	15	329.00	13	33.89
			2	1	1	27	120.50	23	103.00	17	16.99
					2	27	120.50	23	103.00	17	16.99
					3	27	120.50	23	103.00	17	16.99
					4	27	120.50	23	103.00	17	16.99
					5	27	120.50	23	103.00	17	16.99
				2	1	33	381.00	23	243.00	43	56.79
					2	33	381.00	23	243.00	43	56.79
					3	35	402.50	23	243.00	52	65.64
					4	35	402.50	23	243.00	52	65.64
					5	35	402.50	23	243.00	52	65.64
				3	1	31	675.00	23	467.00	35	44.54
					2	30	693.00	23	467.00	30	48.39
					3	30	693.00	23	467.00	30	48.39
					4	30	693.00	23	467.00	30	48.39
					5	30	693.00	23	467.00	30	48.39