

**ZAMAN KISITI ALTINDA
DEPO YÜKLEME NOKTALARINA
ARAÇLARIN ATANMASI PROBLEMİ**

Beyzanur ÇAYIR
Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak-2013

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1206F059**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Beyzanur Çayır’ın “ Zaman Kısıtı Altında Depo Yükleme Noktalarına Araçların Atanması Problemi” başlıklı **Endüstri Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 20.12.2012 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı- Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Doç. Dr. Nil ARAS	
Üye	: Prof. Dr. Refail KASIMBEYLİ	
Üye	: Yard. Doç. Dr. Servet HASGÜL	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
.....tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZAMAN KISITI ALTINDA DEPO YÜKLEME NOKTALARINA ARAÇLARIN ATANMASI PROBLEMİ

Beyzanur ÇAYIR

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nil ARAS

2012, 129 sayfa

Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren bir gıda işletmesinin depo yükleme noktalarına zaman kısıtı altında araçların atanması problemi ele alınmaktadır. Problem temel olarak, araç sayısının kapı sayısını geçtiği bir depo için hangi aracın hangi kapıya hangi sırayla atanacağı kararlarını içeren bir kombinatorik eniyileme problemidir. Teslim süresine ve acil müşteri olarak ifade edilebilen öncelikli müşterilere göre kapılara atanma önceliği değişmektedir. Amaç, sevkiyat araçlarının müşteri taleplerine cevap verebilecek şekilde kapılara atanarak toplam lojistik maliyetinin en aza indirilmesidir. Zamanında teslim edilmeme durumu için amaç fonksiyonuna ceza maliyeti eklenmektedir. Problemin çözümü için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Bu modelin gerçek verilerle çözümü yeterli zamanda sağlanamadığından tezde meta-sezgisel bir yaklaşım olan genetik algoritmalar kullanılmakta, Matlab ortamında kodlanarak gerçek verilerle sınanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen yaklaşımın başarılı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Araç Atama, Çizelgeleme, Depo Kapısı, Genetik Algoritmalar, Kombinatorik Eniyileme

ABSTRACT

Master of Science Thesis

TRUCK DOCK ASSIGNMENT PROBLEM WITH TIME WINDOW IN WAREHOUSES

Beyzanur ÇAYIR

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Industrial Engineering Program**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nil ARAS

2012, 129 pages

In this study, the problem of assigning trucks to the truck loading points under time constraint has been addressed in the context of a food company which is operating in Turkey. The problem is basically a combinatorial optimization problem which includes decisions to assign which vehicle to which door and in what order when the number of trucks exceed the number of doors at a warehouse. The priority for assigning trucks to the doors varies according to priority of customers which can be expressed with the delivery time and urgent customers. The aim is to minimize the total logistics cost using best possible gate assignment to respond to customer demands. In case of late delivery, a penalty cost is added to the objective function. Mixed-integer linear programming model was developed for solving this problem. In this thesis, since real data could not be reached to provide a solution for this model due to the time constraint, a heuristic approach, a genetic algorithm is coded in Matlab environment to test real data. The results show that this developed approach is successful.

Keywords: Truck Assignment, Scheduling, Warehouse Dock, Genetic Algorithms, Combinatorial Optimization

TEŞEKKÜR

Tez çalışması sırasında bilimsel katkıları ile beni yönlendiren, eğitimim süresince tecrübesi ve ileri görüşlülüğü ile yanımda olan değerli hocam sayın Doç. Dr. Nil ARAS' a ve problemin belirlenme aşamasında değerli görüşleriyle desteklerini esirgemeyen sayın Bekir ÖZKIR' a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araştırma süresince yardımlarını gördüğüm, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım arkadaşım Araş. Gör. Emre GÜNGÖR' e ve manevi desteklerinden dolayı araştırma görevlisi arkadaşlarım Gülçin DİNÇ YALÇIN, Emrullah AYDIN ve Zühal KARTAL 'a teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan, bana maddi ve manevi her türlü desteği veren aileme, en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında tezimi tamamlama sürecinde destek veren Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na teşekkürü bir borç bilirim.

Beyzanur ÇAYIR

Ocak 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı ve Önemi.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Bilimsel Katkıları.....	5
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	7
2. KAPILARA ARAÇ ATAMA PROBLEMİ	10
2.1. Kombinatorik Eniyileme.....	10
2.2. Atama Problemleri.....	11
2.2.1. Genelleştirilmiş atama problemi.....	13
2.2.2. Hava alanı kapı atama problemi.....	14
2.2.3. Depo yükleme boşaltma noktalarına araç atama problemi	17
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	18
3.1. Mevcut Çalışmalar.....	18
3.1.1. Hava alanı kapı atama problemi.....	18
3.1.2. Depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi.....	23

3.2. Kapılara araç atama probleminde mevcut çözüm yaklaşımları	26
3.2.1. Matematiksel programlama çözüm yöntemleri.....	26
3.2.1.1. Kesin sonuç veren algoritmalar	26
3.2.1.2. Sezgisel algoritmalar	28
3.2.2. Simülasyon ve kural tabanlı uzman sistemler	28
3.3. Mevcut Çalışmaların Analizi	29
3.3.1. Mevcut çalışmaların sınıflandırılması	29
3.3.2. Mevcut çalışmaların analizi ve ele alınan çalışmanın katkısı	34
 4. KARMA TAM SAYILI PROGRAMLAMA MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ	 37
4.1. Depo Yükleme/Boşaltma Noktalarına Araç Atama Probleminin Özellikleri.....	37
4.1.1. Problemin tanımlanması	37
4.2. Karar Modeli Bileşenleri	38
4.2.1. Karar değişkenleri ve parametreler.....	38
4.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar	40
4.3. Problemin Zaman Ekseninde Açıklanması.....	45
4.4. Matematiksel Modelin Gösterilmesi	49
4.5. Matematiksel Modelden Elde Edilen Çözümler	50
 5. GENETİK ALGORİTMAYA DAYANAN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	 52
5.1. Genetik Algoritmalar	52
5.1.1. Genetik algoritmaların çalışma ilkesi ve operatörleri.....	54
5.1.2. Genetik algoritmalarda parametre seçimi	61
5.1.2.1. Popülasyon büyüklüğü.....	61
5.1.2.2. Mutasyon oranı.....	62

5.1.2.3. Çaprazlama oranı.....	62
5.2. Genetik Algoritmaya Dayanan Çözüm Yaklaşımı.....	62
5.2.1. Sezgisel algoritma adımları.....	62
5.3. Genetik Algoritmaların Tez Problemine Uygulanışı ve Yazılım Kullanılması	64
5.4. Deney Tasarımı İle Genetik Algoritma Parametrelerinin Seçilmesi.....	78
5.5. Çözüm Yaklaşımının Örnek Veri Kümeleri Üzerinde Kullanılması	84
5.5.1. Değişen araç ve kapı sayısına göre geliştirilen program analizi	84
5.5.2. Sonuçların çözüm kalitesi yönüyle karşılaştırılması	95
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	104
EK-1 KABAKOD (PSEUDO CODE)	110
EK-2 İLLER ARASI MESAFE (KGM)	112
EK-3 ÖRNEK VERİ SETİ	113
EK-4 ÖRNEK YAKINSAMA GRAFİKLERİ VE KAY.....	116
EK-5 AMAÇ FONKSİYONUNA GÖRE SINIFLANDIRMA.....	117
EK-6 ÇÖZÜM YÖNTEMİNE GÖRE SINIFLANDIRMA.....	119
EK-7 ÜÇ FAKTÖR ÜÇ SEVİYE DENEY SONUÇLARI	121
EK-8 GA VE EL İLE BULUNAN HESAP KONTROLÜ.....	122
EK-9 ONBİRİNCİ VERİ SETİ SONUÇLARI.....	126
EK-10 ONİKİNCİ VERİ SETİ SONUÇLARI	127
EK-11 ONÜÇÜNCÜ VERİ SETİ SONUÇLARI.....	128
EK-12 GTT VE İTT'NE GÖRE SAPMALAR.....	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. Değişen problem büyüklüğü ile sağlanan değerler	51
5.1. Genetik algoritma terimlerin açıklaması (Gen ve Cheng, 1997).....	56
5.2. Rulet tekerleğine göre oluşturulan uygunluk değerleri (Deb, 2001)	73
5.3. Rulet tekerleği için oluşturulan dönüştürülmüş uygunluk değerleri.....	74
5.4. İkinci veri seti sonuçları	87
5.5. Üçüncü veri seti sonuçları	88
5.6. Dördüncü veri seti sonuçları.....	89
5.7. Beşinci veri seti sonuçları.....	89
5.8. Altıncı veri seti sonuçları.....	90
5.9. Yedinci veri seti sonuçları	91
5.10. Sekizinci veri seti sonuçları.....	91
5.11. Dokuzuncu veri seti sonuçları.....	92
5.12. Onuncu veri seti sonuçları	93
5.13. Değişen verilere göre CPU ve uygunluk değerleri	94
5.14. Değişen verilere göre CPU ve uygunluk değerleri	94
5.15. Örnek veri seti.....	96
5.16. Programın ilk çalıştırma sonucu çıkan değerleri	96
5.17. Programın ikinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri.....	96
5.18. Programın üçüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri	96
5.19. Programın dördüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri.....	97
5.20. Programın beşinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri.....	97
5.21. Gerçek hayatta uygulanan yöntem sonuçları.....	97
5.22. Programın ilk çalıştırma sonucu çıkan değerleri	98
5.23. Programın ikinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri.....	98
5.24. Programın üçüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri	98
5.25. Programın dördüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri.....	98
5.26. Programın beşinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri.....	98
5.27. Gerçek hayatta uygulanan yöntem sonuçları.....	98
5.28. Örnek veri seti.....	99
5.29. Problemin bilinen en iyi değerleri.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Atamanın çeşitli gösterimleri (Burkard ve Cela, 1999)	12
3.1. Uçak-kapı ataması.....	23
3.2. Sezgisel yöntemlere göre yapılan çalışmaların incelenmesi	29
3.3. Genelleştirilmiş çözüm yöntemlerine göre çalışmaların incelenmesi.....	30
3.4. Kesin sonuç veren algoritmalara göre yapılan çalışmaların incelenmesi	30
3.5. Çözüm yöntemlerine göre yapılan çalışmaların incelenmesi	31
3.6. Amaç fonksiyonlarına göre yapılan çalışmaların incelenmesi	31
3.7. Yolcu ve havaalanı yetkilileri açısından çalışmaların incelenmesi	32
3.8. Depo Y/B noktalarına araç atama problemi çözüm yöntemleri	32
3.9. Kapı atama problemi çözüm yöntemleri (Cheng, C. H. ve ark., 2012).....	33
3.10. Kapı atama problemi amaç fonksiyonları (Cheng, C. H. ve ark., 2012).....	33
4.1. Zaman ekseninde terimlerin gösterimi.....	46
4.2. Zaman ekseninde gün ve mesai aralığının gösterimi	46
4.3. Zaman ekseninde sayısal bir örnek	47
4.4. Varış zamanı t. günün mesai aralığında olma durumu.....	47
4.5. Varış zamanının t. günün mesai başlangıcından önce olma durumu	48
4.6. Varış zamanının t. gün mesai bitiminden sonra olma durumu	48
5.1. İkili kodlu GA ile biyolojik evrim ilişkisi (Haupt ve Haupt, 1998).....	53
5.2. Kromozomların uygunluk değerlerine göre rulet tekerinde gösterimi.....	57
5.3. Tek kesimli çaprazlama (a) ç. öncesi, (b) ç. sonrası (Tabak, 2008)	59
5.4. Çift kesimli çaprazlama (a) ç. öncesi, (b) ç. Sonrası (Tabak, 2008).....	59
5.5. Çok kesimli çaprazlama (a) ç. öncesi, (b) ç. sonrası (Tabak, 2008)	59
5.6. Tekdüze çaprazlama (a) çaprazlama (b) ç. Sonrası (Tabak, 2008).....	60
5.7. Genetik algoritmaların temel yapısı (Gen ve Cheng, 1997).....	64
5.8. Sanal kapı yaklaşımının gösterilmesi.....	67
5.9. Hazırlanan ara yüz görüntüsü	69
5.10. Örnek veri seti.....	70
5.11. Öğlene kadar çalıştırılan sistemin çizelgesi.....	71
5.12. Problemde yer alan gen ve birey gösterimi	72
5.13. Geliştirilen genetik algoritmanın yapısı	76
5.14. Geliştirilen KAY sistem akışı	77

5.15. Deney tasarımı faktör ve oranları.....	78
5.16. Varyans analizi sonuçları 1.....	79
5.17. Varyans analizi sonuçları 2.....	79
5.18. Varyans analizi sonuçları 3.....	80
5.19. Varyans analizi sonuçları 4.....	80
5.20. Artıklar grafiği	81
5.21. Etkileşim grafiği.....	81
5.22. Çaprazlama oranı mutasyon oranı etkileşim grafiği	82
5.23. Ana etkiler grafiği	82
5.24. Çaprazlama oranı mutasyon oranı eşyükselti eğrisi.....	83
5.25. Çaprazlama oranı mutasyon oranı yüzey grafiği	83
5.26. Sonuç grafiği KAY	85
5.27. Araç-kapı atama çizelgesi.....	85
5.28. Saat 16: 25 için hazırlanan çizelge.....	86
5.29. Saat 17: 25 için hazırlanan çizelge.....	87
5.30. İkinci veri seti yakınsama grafiği.....	88
5.31. Üçüncü veri seti yakınsama grafiği.....	88
5.32. Dördüncü veri seti yakınsama grafiği	89
5.33. Beşinci veri seti yakınsama grafiği	90
5.34. Altıncı veri seti yakınsama grafiği.....	90
5.35. Yedinci veri seti yakınsama grafiği.....	91
5.36. Sekizinci veri seti yakınsama grafiği	92
5.37. Dokuzuncu veri seti yakınsama grafiği.....	92
5.38. Onuncu veri seti yakınsama grafiği.....	93
5.39. Saat 11: 25 için beş araç üç kapı sisteminin ataması	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

HKAP: Havaalanı kapı atama problemi (Hava alanı kapılarına uçak atama problemi)

DEKAP: Depo kapı atama problemi (Depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi)

GUKAP: Gürbüz uçak kapı atama problemi

Y/B: Yükleme/Boşaltma

TP: Tam sayılı programlama

DP: Doğrusal programlama

GA: Genetik algoritmalar

GSP: Gezgin satıcı problemi

CPU: Merkezi işlem birimi

KAY: Kullanıcı ara yüzü

Alt ve Üst İndisler

Enk: En küçükleme

N: Toplam araç sayısı

K: Toplam kapı sayısı

1. GİRİŞ

Depo yönetimi tüm lojistik faaliyet zincirindeki en büyük paya sahip süreçlerden biridir. Depo yönetim sürecinin iyi yönetilmesi, satış noktalarının planlanan zamanlarda beslenmesi, stok ve sipariş hazırlama doğruluk oranlarının yüksek tutulabilmesi lojistik maliyetinin dolayısıyla da ürün maliyetinin düşürülmesi adına büyük önem arz etmektedir.

Rekabetin gelişmesine paralel olarak iş hayatında atılacak her adımda doğru hamle arayışı ile birlikte maliyetleri düşürme çalışmaları önem kazanmaktadır. Depolama operasyonları doğru yönetilebildiğinde işletmelere rekabet avantajı kazandırmaktadır. Müşteri memnuniyetinin sağlanması için talep edilen ürünlerin zamanında teslimatı tedarik zincirindeki en önemli amaçlardan biridir. İşletmeler üretilen malların depolardan yüklenerек müşterilere en kısa ve en güvenilir biçimde gönderilmesini sağlamaya çalışırken bir diğer yandan da hızla artan işletme maliyetleri ve buna benzer birçok zorlukla başa çıkmak zorundadır.

Günümüzde işletmeler mal sevkiyatını, sevkiyatı yapacak her bir aracın zamanında kalkacağı ve gideceği yere zamanında ulaşacağını varsayarak yapmaktadırlar. Ancak gerçek hayatta bu durum nadiren gerçekleşmektedir. Bu nedenle günümüzde sevkiyat araçlarının çoğu az ya da çok gecikmeli olarak müşteriye ulaşmaktadır. Bu durum lojistik faaliyetine giren depo yönetiminde araç filolarının doğru biçimde planlanarak yükleme noktalarına atanmalarının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yükleme araç sevkiyatının aksadığı veya geciktiği durumlarda ürünler gidecekleri yerlere zamanında ulaşamamaktadır, bu durum özellikle acil müşteri talepleri açısından büyük sorunlara neden olmaktadır. Bu sorun depo yöneticileri açısından, gerçekleşmeyen veya gecikmeli olarak gerçekleşen mal teslimi olarak şirketlere büyük masraflar açmakla beraber yine bu şirketler için büyük prestij kayıplarına neden olmaktadır. Pazar dengelerinin bu denli hassas olduğu bir ortamda herhangi bir işletmenin ürün sevkiyatındaki en küçük bir gecikme veya aksaklık, servis kalitesini olumsuz etkileyecek ve müşteri memnuniyetini azaltacaktır. Böyle bir durumla karşılaşan müşteriler de bir sonraki ürün talebi için büyük bir olasılıkla başka bir şirketle çalışmayı tercih

edebilecektir. Bu durum sonradan tercih edilen şirketin pazardaki payını artırırken daha önceden tercih edilen şirketin pazar payının azalmasına neden olacaktır. Bütün bu nedenlerden dolayı herhangi bir işletmenin ürünlerin sevkiyatını mümkün olduğu kadar zamanında gerçekleştirebilmesi hem kısa hem de uzun vadede o şirket için büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, işletmelerin sıklıkla karşılaştıkları bir problem olan depoda araçların kapıya atanması problemi için yöneylem araştırması tekniklerinden yararlanılarak bir çözüm önerisi sunulmaktadır.

Çalışmada öncelikli olarak literatürde konu hakkında yapılan çalışmalar incelenerek eksiklikler belirlenmiştir. Daha sonra bu eksiklikler göz önünde bulundurularak matematiksel model kurulmaktadır. Geliştirilen model meta sezgisel bir yöntem kullanılarak Türkiye'nin önde gelen bir gıda şirketinin verileri kullanılarak çözülmektedir. Bir sonraki adımda ise çözüm sonucunda elde edilen değerler incelenerek modelin daha büyük boyutlu problemlerin çözümündeki performansı değerlendirilmektedir. Çalışmanın uygulama sahası açısından ve barındırdığı özel kısıtlar sebebiyle literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

1.1. Problemin Tanımı ve Önemi

Çalışmada ele alınan problem, zaman kısıtı altında depo yükleme noktalarına araçların atanması problemi olup genel biçim itibariyle hava alanı kapı atama problemine (HKAP) benzemektedir. Problemde mesai başlama saati itibariyle yükleme noktası bahçesinde bekleyen araçlar kapılara atanmak için hazırdır. Her bir araç bir müşteriye atanacaktır. Her müşteri için gerekli veriler önceden bilinmektedir. Sipariş verme tarihi, müşterinin istediği teslim tarihi, araç tiplerine göre yükleme süreleri, müşterilere olan mesafeler, müşteri mesai tipleri, gerçekleşen varış tarihleri ve her tip müşteri için ceza katsayı bilgileri mevcuttur. Müşteriler A, B, C tipi müşteriler olarak acil, önemli ve standart müşteri olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir müşteriye gidecek aracın istenen teslim tarihinden sapması ceza maliyeti olarak amaca yansıtılmaktadır. Buna göre erken ya da geç teslimlerin hiç biri arzu edilmemektedir. Amaç müşterinin dilediği teslim tarihini yakalayabilmektir. Aksi takdirde müşteri memnuniyetsizliği ortaya çıkmaktadır. Aracın fabrikaya geliş tarihi ile yükleme noktasına (kapıya) yanaşma tarihi aynı

değildir. Problemden dikkate alınan kapı müsait olduğunda aracın atanması ve yükleme işlemlerinin başlatılmasıdır. Çünkü sistem her bir zaman diliminde farklı durumları ele almaktadır. Örneğin saat 08: 25 itibariyle mevcut 5 kapıya, 10 araçtan hangileri atanmalıdır sorusu problemin çözümü için yetersiz kalmaktadır. Asıl soru 08: 25' e kadar gelen araçlardan hangileri hangi kapıya atandığında maliyet en küçüklenmektedir. Ayrıca bu soru her en kısa yükleme süresi müddetince yani en yakın zamanlı boş kapı sayısı kadar yinelenmektedir. Çünkü yükleme noktalarına gelen-giden araç sayısı sürekli değişmektedir. Problemden sürekli değişen, dinamik bir yapı incelenmektedir. Buna göre her zaman dilimi için mevcut araçlardan hangilerinin kapılara atanması en iyidir sorusuna yanıt her değişen koşul için güncelliğini korumaktadır. Sistem gerçek zamanlı atamaları dikkate almaktadır. Burada gerçek zamanlı atamalarla ifade edilmeye çalışılan araçların kapılara atanmasından hemen önce kısa zaman aralıkları için yapılmasıdır. Literatür incelendiğinde Hava alanı Kapı Atama Problemleri (HKAP) alanında çoğu araştırma, statik kapı atamalarına odaklanmaktadır. Statik atamalar genellikle belirlenmiş bir zaman periyodunda tasarlanır ve geçmiş verileri kullanır. Örneğin, 2 aylık geçmiş veri kullanılarak gelecek ay için kapı ataması yapılır. Modelin buna rağmen iç faktörler ve uçuş ertelemeleri veya aylık uçuş modelleri gibi dış faktörlerden dolayı değişkenliği hassas olabilir. Gerçek zaman atamalar, genellikle uçağın kapıya atanma gerekliliğinden hemen önce daha kısa zaman aralıkları için yapılır. Statik kapı atamalarındaki ve gerçek zaman atamaları arasındaki ilişki uçuş çizelgelerindeki değişiklikten etkilenir. Kapı atamalarında uçuş ertelemeleri düşünmeksizin, eğer belli zaman (yoğun saatler, ertelemeler) aralığında uçuşlar kapılardan daha fazla ise model uygun çözüm bulmada sıkıntı yaşayabilmektedir (Srihari ve Muthukrishnan, 1991).

Problemden araç kapıya atandıktan sonra araç tiplerine (kamyon, kamyonet, tır) göre yükleme işlemi gerçekleşmektedir. Yükleme işlemi biten araçlar istenen müşteriye mal teslimatı için yola koyulurlar. Araç kapıya atandıktan sonra, yükleme işlemi ardından gidilen yol süresi eklenerek müşteriye varış zamanı bulunmaktadır. Bu noktada müşteriye ulaşan araç müşterinin mesai saatleri içinde bulunmakta mıdır sorusu araştırılmaktadır. Müşterinin çalışma saatine denk gelen aracın varış zamanı gerçekleşen varış zamanı olmaktadır. Ancak müşterinin

Çalışma zamanına denk gelemeyen araçlar ertesi gün mesai başlama saatine kadar beklemek zorundadır. Dolayısıyla gerçekleşen varış zamanı aracı müşterinin kabul edeceği asıl tarih olan ertesi gün mesai başlama saatidir. Müşterinin istediğı teslim tarihi ile gerçekleşen varış zamanı arasındaki fark sapmayı vermektedir. Her bir sapma müşteri tipine göre belirlenmiş ceza katsayısıyla çarpılarak amaç fonksiyonuna maliyet olarak yansıtılmaktadır. Ayrıca amaca mesai saatini yakalayamamaktan kaynaklanan ertesi günü bekleme ceza süresi ve araç kapıya yanaştığı andan yükleme ve yol süresi ilavesi ile müşteriye varış zamanı için geçen süre de dahil edilmektedir. Sistem maliyeti hesaplanırken atanan araçların istenen teslim tarihinden sapmalarından dolayı oluşan maliyetin yanında atanamayan araçların o zaman diliminde atanamamaktan dolayı oluşturdukları maliyet de söz konusudur.

Özetle çalışmada hangi aracın hangi depo yükleme noktasına ne zaman geleceğini belirleyen bir model kurulmuş, amaç fonksiyonu ve kısıtlar problemin özelliğine göre oluşturulmuştur. Amaç, sevkiyat araçlarının müşterilere en kısa sürede ulaştırılmasıdır. Zamanında teslim edilmeme durumu için, amaç fonksiyonuna ceza maliyeti eklenmektedir. Problem özelliğı gereğı, çözümünde gereken hesaplama süresinin uzunluğu kesin sonuç bulunmasını güçleştireceğinden meta-sezgisel yöntemlerle çözüm aranmaktadır.

Çalışmanın gerçek hayat problemi olması nedeniyle var olan bir işletmeden örnekler alınması ve işletmecilerin isteklerine göre modelin değiştirilebilmesi, güncellenme imkanının olması daha da önemlisi yapılan işlemler sürecinin insana bağılı olmaktan çıkartılarak, bilimsel standart bir yönteme dayandırılması ile önemli katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Problem işletmeler açısından kritik bir öneme sahiptir. Çünkü üretilen ürünlerin, üretim noktalarından müşterilere zamanında ulaştırılması doğru koordine edilmiş bir depo yönetimi, filo yönetimi, lojistik yönetimi, zaman yönetimi gibi birbirine zincirleme bağılı unsurların etkin biçimde idare edilmesiyle yani doğru sevkiyat planıyla mümkün olmaktadır. Bu açıdan problem başlangıçta yalnızca araçların kapılara belirtilen kısıtlara uygun biçimde atanması olarak gözükse de ayrıca araçların seçimi ve sıralaması, zamanın doğru planlaması, zamanında sevkiyat yapılabilmesi aksi gerçekleştiğinde ise ortaya çıkan ceza

maliyetlerinin göz önünde bulundurulması kararlarını kapsamaktadır. Bu yönüyle çalışmanın literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Bilimsel Katkıları

Bu çalışmada araçların kapılara zaman kısıtı altında atanması problemi ele alınmaktadır. Problem çok kısıtlı karma tam sayılı bir programlama örneğidir. Çalışmayla gecikmelerin önceden görülebilmesi ve erken müdahale ile zaman ve maliyet kayıplarının önlenmesi sağlanabilecektir.

Özellikle günümüzdeki kurumsallaşmış anonim şirketlerin bünyelerinde yöneylem araştırması departmanlarını bulundurması ve işletmelerin bu ve benzeri problemleri çözmek için çeşitli yazılımlara büyük yatırımlar yapmaları problemin önemini daha da ortaya çıkartmaktadır. Problemin çözülmesiyle elde edilecek sonuçların depo yönetim kârlılık oranlarını büyük ölçüde geliştirmesine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Hazırlanan model ileriki zamanlarda bir başka sahada araç filosunun kapılara atanma koşulları yeniden değerlendirilerek yapılabilecek ortak bir çalışma kapsamında geliştirilerek problem için çözüm aranabilir. Bu anlamda yapılan bu çalışmanın ileride hazırlanabilecek yeni çalışmalara da temel oluşturabileceği söylenebilir. Çalışmanın amaçları kısaca sıralanacak olursa, bu amaçlar;

- Lojistik yönetimi altında depo-sevkiyat faaliyetleri kapsamında araç atama probleminin çözümüne yönelik çalışmalara katkıda bulunmak,
- İşletmeler tarafından yapılacak yanlış atamalar sonucunda hem şirketlerin mali olarak olumsuz etkilenmelerinin hem de müşterilerin taleplerine yanıt verememekten dolayı ortaya çıkabilecek mağduriyetlerin önüne geçilmesini sağlayabilmek
- Yeni veya benzer bir konuda yapılabilecek çalışmalara temel oluşturmak,
- Yöneylem araştırması çalışmalarının depo yönetimi sürecinde ele aldıkları faaliyetlerin gerçekleştirilmesindeki önemini göstermek, olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada araçların kapıya atanması probleminin çözümü için yeni bir model geliştirilmeden önce literatürdeki daha önce aynı veya benzer konular hakkında yapılmış olan çalışmalar incelenmektedir. Yapılan incelemede bu

konuyla doğrudan ilgili çalışmaların olmadığı görülmektedir. Çalışmaların daha çok çapraz yükleme uygulama alanında ve hava alanı kapı atama problemleri kapsamında yapıldığı görülmektedir. Bu incelemenin sonucunda araçların atanması problemi bu tez çalışmasında farklı yaklaşımlar da eklenerek ele alınmaktadır.

Yapılan çalışmada bir işletmeye ait problemin özgün bir modelle kurgulanması, problemin uygulama yeri açısından ulusal literatüre büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Zaman kısıtı altında depo yükleme noktalarına araçların atanması problemi daha önce yapılmış çalışmalardan farklı olarak getirdiği şu yenilikler, tezin özgün değerini oluşturmaktadır:

- Literatür incelendiğinde, kapı atama problemleri havaalanı lojistik sahaları açısından ele alınmıştır. Ancak depo yönetiminde çapraz sevkiyat işlemlerinin dahil olmadığı sahalarda bu konu ele alınmamıştır. Çalışmanın uygulama yeri açısından ilk olması onu özgün kılan nedenlerden biridir.
- İşletmeler için vazgeçilmez olan sevkiyat planlaması tedarik zinciri yönetimi altında ele alınan ve tedarik sürecinin tamamlanmasındaki en önemli son aşamadır. İnsana bağlı ve anlık kararlarla doğru araç-kapı atamasının yapılması mümkün değildir. Çünkü en basit haliyle öncelikli müşteri, teslim süresi, mesai süresi gibi kısıtların yer aldığı çok kısıtlı ve karma tam sayılı modeli üst seviyeli modelleme programları bile çözemezken, insana bağlı kalması doğru kararların alınmasında engel oluşturacaktır. Bu açıdan yapılacak çalışmanın işletmecilere büyük fayda sağlayacağı öngörülmektedir.
- İşletmeler politikaları gereği tam zamanında teslimata uygun olarak müşteri siparişlerini almaktadır. Yapılan çalışmayla müşteri beklmeleri en aza indirenecek teslim süresinden sapmalar en küçüklenecektir. Hangi müşteri için hangi kapıya aracın atanması durumunda teslim süresinin uzayacağı veya kısılacağı görülebilecek, buna göre karar verme süreci değişecektir.

Modelin oluşturulma safhasında daha önce problemin tanımı ve önemi bölümünde ayrıntılı olarak belirtilmiş olan eksiklikler de göz önünde bulundurularak karma tam sayılı ikil (0-1) bir matematiksel model kurulmuştur. Bir sonraki aşamada problemin çok büyük boyutlu olmasının ve optimum çözücü programlarla çözümünün neredeyse imkansız olarak tanımlanması nedeniyle,

modeli makul sürelerde çözebilecek genetik algoritma yönteminin kullanıldığı bu problemin çözümüne yönelik Matlab’ da meta-sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Yapılan tez çalışmasında depo faaliyetleri kapsamında araç filosunun kapılara atanması problemi literatürdeki çalışmalar da incelenerek, bir matematiksel model kurulmuştur.

Kurulan matematiksel model, belirli bir zaman periyodu için ataması yapılacak araç filosunun müşterinin istediği teslim zamanından sapmaları en aza indirgeyecek biçimde (erken veya geç teslimat) kapılara atanmasını sağlayacak bir formüldür. Ayrıca sevkiyatı tamamlayan araçların depoya her gün düzenli biçimde dönemeyecek olmaları (müşteri mesafelerinin farklılığı) da göz önünde bulundurularak atamalar günlük olarak değil anlık olarak yapılmıştır.

Araçların atanması probleminin bir işletmenin gerçek hayat problemi olması nedeniyle modellenmesi aşamasında hemen hemen her çalışmada temel alınan kısıtlar ve bu kısıtlara ek işletme filosunda bulunan araçların teknik özelliklerini, varış ve ayrılış yapılacak olan müşteri depolarının özelliklerini, müşteri depo çalışma saatleri gibi bazı temel kısıtlar da modele eklenmiştir. Modelin çözüm aşamasında sevkiyat bilgileri, müşteri mesafeleri, farklı tipteki araçların teknik özellikleri vb. bazı bilgiler ilgili resmi internet sayfalarından bulunarak kullanılmıştır. Çalışma direk uygulamaya yönelik olduğu için işletmenin gerçek verileriyle sınanmış ancak işletmenin gizlilik politikası sebebiyle verilerde oransal değişim yapılarak eklerde sunulmuştur.

Tez çalışmasının hazırlanma sürecinde gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki adımlarla sıralanabilir:

- İşletmeyle görüşülerek, çözülmesi istenen problemin belirlenmesi ve tartışılması
- Genel literatür taraması yapılarak probleme benzer çalışmaların araştırılması
- Belirlenen problemin özellikleri dikkate alınarak literatürde bu konu hakkında daha önce yapılmış olan çalışmaların incelenmesi ve bu inceleme sonucunda literatürde direk bu konuyla ilgili çalışma olmamasından kaynaklanan eksikliklerin belirlenmesi.

- Önceki benzer çalışmalarda kullanılan modeller incelenerek kullanılması düşünülen matematiksel modele karar verilmesi ve bu modeller hakkında inceleme yapılması.
- İşletme yöneticilerinin ihtiyaçları dinlenerek belirlenmiş olan eksikliklerin göz önünde bulundurulması ve çalışmaya katkı sağlayacağı düşünülen diğer kısıtların da eklenmesi ile karma tam sayılı (0-1) matematiksel modelin kurulması.
- Matematiksel modelin çözüm karmaşıklığının hesaplanması ve bu modele yönelik çözüm yöntemlerinin araştırılması.
- Modelin çözümüne yönelik düşünülen meta-sezgisel yöntemlerden genetik algoritma yönteminin kullanılmasına karar verilmesi ve yöntem hakkında daha detaylı incelemelerde bulunulması.
- Genetik algoritma meta-sezgiselinin kurulan matematiksel modele uygulanması amacıyla Matlab programlama dili kullanılarak yazılım geliştirilmesi.
- İşletmeden sağlanan gerçek verilerle farklı boyuttaki problemler için geliştirilen modelin çözülmesi.
- Problemin çözümü sonucunda elde edilen bulguların incelenmesi ve yorumlanması
- Çalışmanın genel olarak değerlendirilmesi ve ileride yapılabilecek çalışmalar için tavsiyelerde bulunulması.

Çalışmanın ilk bölümü olan giriş bölümünde tez çalışmasının konusu olan araçların yükleme noktalarına atanması problemiyle ilgili tanımlar, problemin önemi, çalışmanın amacı ve kapsamı bulunmaktadır.

İkinci bölümdeki kapılara araç atama problemi safhasında, atama problemleri ve türleri anlatılmaya çalışılmaktadır. Genelleştirilmiş Atama Problemi, Hava alanı Kapı Atama Problemi ve Depo Yükleme/Boşaltma Noktalarına Araç Atama Problemi hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Üçüncü bölüm olan literatür çalışması bölümünde hava alanı kapı atama problemleri, depo yükleme/ boşaltma noktalarına araç atama problemleri konusunda önceki çalışmalara ait özet bilgiler, önemli çalışmaların bir arada

görülebileceği özet literatür tabloları ve tez çalışmasının literatürdeki çalışmalar arasındaki yeri görülebilmektedir.

Dördüncü bölüm olan karma tam sayılı programlama modelinin geliştirilmesi bölümünde depo kapı atama problemlerinin özellikleri, karar modeli bileşenleri, çalışma kapsamında kurulmuş olan matematiksel model ve matematiksel modelin çözümünde çıkan sonuçlar gösterilmektedir.

Beşinci bölüm olan genetik algoritmaya dayanan çözüm yaklaşımı kısmında genetik algoritmalar hakkında bilgiler, problemin genetik algoritmaya dayanan çözüm yaklaşımı, yazılım kullanımı, deney tasarımı ile genetik algoritma parametrelerinin seçimi ve çözüm yaklaşımının örnek veri kümeleri üzerinde kullanılması yer almaktadır.

Altıncı bölüm olan sonuç ve öneriler kapsamında, çalışmada elde edilen sonuçlar, çalışmanın bilimsel alana katkısı ve gelecekte yapılabilir çalışmalara yönelik öneriler bulunmaktadır.

2. KAPILARA ARAÇ ATAMA PROBLEMİ

Kapı atama problemleri, literatürde çok sık ele alınan çalışma alanlarından biridir. Kapı atama problemleri, kombinatorik eniyileme sınıfında yer alan atama problemlerinin bir türü olduğundan, öncelikle kombinatorik eniyileme tanıtılmış ardından atama problemleri, kapı atama problemleri ve çözüm yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Kombinatorik Eniyileme

Bazı kısıtlar altında karar değişkenlerinin bir fonksiyonu şeklinde tanımlanan uygun çözüm arama problemlerinde genel yapı şöyledir:

$$g_i(x) \geq b_i; \quad i=1, \dots, m \quad (2.1)$$

$$h_j(x) \geq c_j; \quad j=1, \dots, n \quad (2.2)$$

kısıtları altında;

$$\text{En küçük } f(x) \quad (2.3)$$

x , karar değişkenlerinin vektörü olup $f(\cdot)$, $g_i(\cdot)$ ve $h_j(\cdot)$ x ' e bağlı fonksiyonlar olup b , c , m , n sabit değerlerdir. Problem kolayca, en büyükleme amacı için değiştirilebilir. Eniyileme problemlerinin çok özel çeşitleri vardır, bunlar belirlenen fonksiyona çeşitli kısıtlar yerleştirilerek karar değişkenlerinin doğrusal değer alması yoluyla sağlanır. Bu çeşitlerden en önemlilerinden biri, $f(\cdot)$, $g_i(\cdot)$ ve $h_j(\cdot)$ fonksiyonlarını sınırlayarak, karar değişkenlerinin kesikli (sürekli) değer almasına izin verir. Bu genel tanımlamaya uyan çeşitteki problemler Doğrusal Programlama (DP) olarak isimlendirilir (Reeves, 1993) .

Eniyileme problemlerinin diğer çeşitleri, kombinatorik problemlerdir. Bu terim genellikle, karar değişkenlerinin kesikli olduğu problemlerde kullanılır ve çözüm bir küme, bir sıralama, tamsayı veya diğer kesikli nesnelerdir. Kombinatorik optimizasyon, kesikli alternatifler altında karar verme bilimidir (Papadimitriou ve Steglitz, 1982). Kombinatorik problemler, grupları bulma,

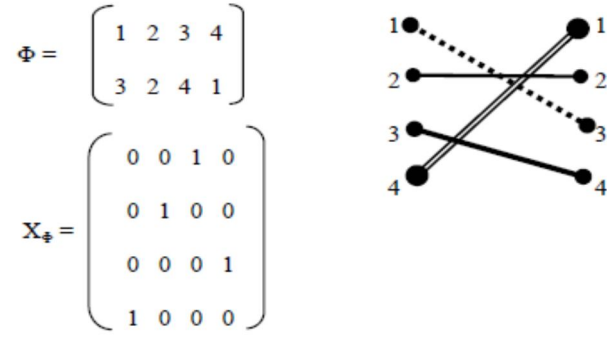
sıralama veya atama kararlarını içerir. Tam sayılı ve kombinatorik optimizasyon, bazı veya tüm değişken kısıtlarının tamamlanması, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarına tabi değişkenler fonksiyonunu en büyükleme veya en küçükleme amacına dayanan problemleri ele alır. Oldukça geniş çeşitlilikteki problemler, kesikli eniyileme modelleri ile temsil edilebilir.

Tam sayılı ve kombinatorik eniyileme uygulamalarına örnek bazı yöneylem araştırması problemleri şu şekildedir: Üretim çizelgeleme, makine sıralama, sermaye bütçeleme, tesis yerleşimi, portföy analizi, iletişim ve ulaştırma şebeke tasarımı ve otomatik üretim sistemleri tasarımı gibi problemlerdir (Nemhauser ve Wolsey, 1988).

Bazı yeni uygulamalar yapay zeka, biyo-informatik ve makine öğrenme alanlarında bulunmuştur (Gaspero, 2002). En iyi bilinen kombinatorik eniyileme problemleri atama problemleri, 0-1 sırt çantası problemleri, küme kapsama problemleri, araç rotalama problemleri ve gezgin satıcı problemleridir. Atama problemleri, kombinatorik en iyileme uygulamalarının farklı bir türü olduğu için bu kapsamda ele alınmıştır.

2.2. Atama Problemleri

Atama problemleri önemli bir kombinatorik eniyileme problemidir. Atama problemleri, bir grup parçanın (işin) bir grup yere (işçilere) atamanın nasıl yapılacağı sorusunu ele alır. Kombinatorik yapı ve amaç fonksiyonu olmak üzere iki bileşenden oluşur. Matematiksel anlamda atama problemi, sınırlı bir kümenin kendi içinde birebir kapsayan atanmasıdır, permütasyonudur. Her permütasyon ϕ kümesi $N=\{1, \dots, n\}$ tek bir yolla permütasyon matrisiyle ilişkilidir. x_{ij} karar değişkeni olmak üzere eğer 1. kümenin i. elemanı 2. kümenin j. elemanı ile eşleşirse $\phi = (x_{ij})$ ile $x_{ij}=1$ için $j = \phi(i)$ ve eşleşmezse $x_{ij}=0$ için ve $j \neq \phi(i)$ olur. Atamalar çeşitli biçimlerde gösterilebilir.



Şekil 2.1. Atamanın çeşitli gösterimleri (Burkard ve Cela, 1999)

Atama problemleri, iki ayrı türdeki nesnelerin optimal eşleştirilmesiyle ilgili problemleri kapsar. Örneğin, makinelere atanacak işler, müşterilere atanacak satış personeli vb.dir. Karar değişkenleri 0-1 türündendir. Aşağıda karar değişkenleri, parametreler ve atama kısıtları verilmiştir.

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } 1. \text{ kümenin } i. \text{ elemanı } 2. \text{ kümenin } j. \text{ elemanı ile eşleşirse} \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases}$$

Parametreler

c_{ij} : i 'yi j 'ye atamanın maliyeti (ya da faydası)

Model

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

$$x_{ij} \in 0, 1 \quad \forall i, j \quad (2.6)$$

kısıtları altında

$$E n k Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki birinci kısıt birinci kümenin her bir nesnesinin ikinci kümede sadece bir nesneye atanacağını, ikinci kısıt ise ikinci kümenin her bir elemanına sadece bir atama yapılacağını ifade eder. Amaç fonksiyonu ise bu atama maliyetini en küçüklemek şeklinde tanımlanmaktadır.

2.2.1. Genelleştirilmiş atama problemi

Yukarıdaki atama modelindeki kısıtlarda bir kümenin her elemanı i , diğer kümenin kesin olarak sadece j' inci elemanına atanmakta ve her j de sadece bir tane i almakta idi. Şimdi varsayalım ki, her bir eleman i diğer kümede sadece bir tane j' ye atanmalı, fakat söz konusu j birkaç tane i alabilmektedir. Böyle bir durum *genelleştirilmiş atama problemi* olarak adlandırılır (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Bu durumda tüm i 'leri kapasiteyi aşmaksızın atamanın en iyi yolunu bulmak genelleştirilmiş atama modeli olarak adlandırılır. Genelleştirilmiş atama modelleri i 'yi j' ye atamanın b_j kapasitesi içinde belli bir yer ya da hacim gerektirdiği aşağıdaki biçime sahip modellerdir.

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer 1. kümenin } i. \text{ elemanı 2. kümenin } j. \text{ elemanı ile eşleşirse} \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases}$$

Parametreler

b_j : j' in kapasitesi

a_{ij} : eğer i , j' ye atanırsa j' inci tüketilen kapasite miktarı

c_{ij} : i 'yi j' ye atamanın maliyeti (ya da faydası)

Model

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2.8)$$

$$\sum_i a_{ij} x_{ij} \leq b_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (2.9)$$

$$x_{ij} \in 0,1 \quad \forall i, j \quad (2.10)$$

kısıtları altında

$$Enb \text{ veya } Enk \quad Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki modelde, birinci kısıt her bir i 'nin sadece bir j 'ye atanmasını sağlamaktadır. İkinci kısıt ise j 'ye birden fazla i atamasını mümkün kılmaktadır. Amaç fonksiyonu ise i 'den j 'ye yapılan atamaların toplam maliyetini ve aynı zamanda hangi atamaların yapılması gerektiği bilgisini vermektedir. Bu türden atama problemi araç güzergahı gibi problemlerde karşılaşılır. Örneğin böyle bir problemde her bir müşteri siparişi sadece bir kamyonu atanmalı fakat her bir kamyon birden fazla müşteri siparişi alabilir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

2.2.2. Hava alanı kapı atama problemi

Hava alanı kapı atama problemleri (HKAP), kolayca anlaşılan fakat çözümü zor olan bir problem türüdür. Aşağıdaki bilgiler literatürde çok yaygın olan hava alanı uçak-kapı atama örneklerinden seçilmiştir. Ding ve arkadaşlarının 2004 yılında geliştirdikleri matematiksel model aşağıda gösterilmektedir.

Parametreler

N : Havaalanına varan ya da ayrılan uçuşların kümesi

M : Havaalanında mevcut kapı kümesi

n : Toplam uçuş sayısı

m : Toplam kapı sayısı

a_i : i . uçuşun varış zamanı

d_i : i . uçuşun ayrılma zamanı

W_{kl} : k . kapıdan l . kapıya giden yolcuların yürüme mesafesi

f_{ij} : i . uçuştan j . uçuşa transfer yapan yolcu sayısı

$(0, m+1)$: 0 havaalanının giriş veya çıkışı; $m+1$ apronu temsil eder.

Karar değişkenleri

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i. \text{ uçuş } k. \text{ kapıya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases}$$

Model

$$\sum_{k=1}^{m+1} y_{i,k} = 1 \quad (1 \leq i \leq n) \quad (2.12)$$

$$a_i \leq d_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (2.13)$$

$$y_{ik} y_{jk} (d_j - a_i) (d_i - a_j) \leq 0 \quad (1 \leq i, j \leq n, k \neq m+1) \quad (2.14)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq m+1 \quad (2.15)$$

kısıtları altında

$$\text{En küçük } \sum_{i=1}^n y_{i, m+1} \quad (2.16)$$

$$\text{En küçük } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m+1} \sum_{l=1}^{m+1} f_{ij} w_{kl} y_{ik} y_{jl} + \sum_{i=1}^n f_{oi} w_{oi} + \sum_{i=1}^n f_{io} w_{io} \quad (2.17)$$

İlk kısıtta her uçuş bir ve yalnızca bir kapıya veya aprona atanmalıdır. İkinci kısıtta her uçuşun ayrılış zamanı, varış zamanından büyüktür. Üçüncü kısıtta, eğer uçuşlar aynı kapıya atanırsa, çakışamaz yani aynı kapıya atanan iki uçuşun aynı zamanda aynı kapıya atanmaması gerektiği bildirilir. Son kısıt 0-1

tamsayı kısıtıdır. Amaç, aprona atanan uçuşların sayısını ve toplam yürüme mesafesini en küçükleme. Aprona atanan uçuşlar, kapılara atanamamış uçuşlardır. Toplam yürüme mesafesi; transfer yolcuların yürüme mesafesi, havaalanına gelen yolcuların yürüme mesafesi ve havaalanından ayrılan yolcuların yürüme mesafesinden oluşur.

Havaalanı kapı atama problemlerinin ana amacı, uygun kapı-uçuş atamasını sağlayacak en uygun inme/binme operasyonlarını, havaalanının işletim etkinliğini artıracak biçimde, örneğin aktarma uçuşu yapacak yolcuların sayısını artırmak gibi operasyonları sağlamaktır. Yukarıdaki modeldeki akış zamanı, maliyet vektörünü minimize eder ki burada akış, yolcuların sayısını ve aktarılacak uçaklar arasındaki mesafe maliyetini temsil eder. Etkili atamalar havayolu yolcu hacmi sebebiyle meydana gelen havaalanı sıkışıklığını hafifletmekte önemli bir rol oynar. Kapı atama sürecindeki karmaşık süreç genellikle aşağıdaki faktörler dikkate alınarak oluşturulur (Chang, 1994).

1. Transfer yolcuları ve ayrılan yolcular için yürüme mesafeleri
2. Transfer yolcuları ve ayrılan yolcular için bagaj alma mesafesi
3. Uçuş çizelgeleri için zaman planları
4. Uçak-kapı büyüklüğü uyumluluğu
5. Yolcuların bekleme süresi
6. Araç çekme (towing) işlem sayısı

Havaalanı kapı atamalarını temsil etmek için birkaç model geliştirilmiştir. Bu modellerin çoğu 0-1 tam sayı veya karma tam sayılı modellerle formülendir. Bu programların amaç fonksiyonları genellikle toplam yolcu yürüme mesafesini, kapıya ataması yapılamamış uçuş sayısı, kapılar için kullanılmamış zaman periyotları veya bunların kombinasyonunu minimum etmeyi amaçlar. Modellemelerde kullanılan en yaygın iki kısıt şudur:

1. Her uçuş bir kapıya atanmalıdır
2. İki uçuş aynı anda aynı kapıya atanamaz

Haghani ve Cheng (2001) çok zaman aralıklı HKAP problemi tanıtmış ve karesel atama problemi formülasyonuna zaman kısıtları (zaman çizelgesi ve uçuş

çizelgesi) eklemiştir. Tekli zaman aralığı veya uçak takımına karşı çoklu zaman aralıklarını kullanmanın etkili kapı kullanımına izin verdiği raporlanmıştır. Eğer zaman çizelgeleri çakışmıyorsa, uçuşlar aynı kapıya atanabilir. Çalışma zaman periyotlarını karar değişkenleriyle şöyle ilişkilendirir:

$$X_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i. \text{ uçuş } j. \text{ kapıya } t. \text{ zaman periyodunda atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases}$$

Yukarıda bahsedilen modellerin, teoride iyi olduğu raporlanmıştır ancak çoğu gerçek hayatta oluşan stokastik uçak davranışlarını değerlendiremez.

2.2.3. Depo yükleme boşaltma noktalarına araç atama problemi

Depo yükleme-boşaltma noktası atama problemi (DEKAP), hava alanı kapı atama problemleri (HKAP) gibi bir atama problemidir ve kombinatorik yapıdadır. Ayrıca Rıhtım atama problemlerinin (RAP) de depo yükleme-boşaltma noktası atama problemine benzeyen literatürde yer alan özel bir atama problemi olduğu görülmektedir.

HKAP alanında geniş araştırma olmasına rağmen, DEKAP ve RAP ile doğrudan ilgili sadece birkaç çalışma mevcuttur. Bu tez HKAP ile ilgili yapılan çalışmalardan büyük fayda sağlamıştır, bu yüzden önceki kısımlarda HKAP literatürü gözden geçirilerek en yaygın matematiksel modele yer verilmiştir. Bu kısımda DEKAP alanında yapılan çalışmalarda yer alan amaçların toplam taşıma maliyetinin, toplam işlem süresinin, toplam seyahat mesafesinin ve toplam dış taşıyıcıların gecikmesinin en küçüklenmesi şeklinde olduğu belirtilmektedir. RAP alanında yapılan çalışmaların ise gelen gemilere rıhtım ataması yapılması, rıhtıma yanaşan gemilere rıhtım vinçlerinin atanması, limana dışarıdan gelen kamyonların planlanması, kamyonların rotdanması, limana ait kamyonların rotdanması, rıhtım ve terminal kapısındaki sevkiyatların planlanması, konteynerlerin yerleştirileceği alanların atanması, tekerlekli rıhtım vinçlerinin gerekli olan noktalara tahsisi, limana ait olan kamyonların en uygun şekilde kiralınmasının planlanması şeklinde olduğu görülmektedir (Murty ve ark., 2005).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ele alınan çalışma ‘Zaman Kısıtı Altında Depo Yükleme Noktalarına Araçların Atanması Problemi’ dir ve literatürde bu konuyla ilgili hava alanı kapı atama problemlerine ve depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemlerine benzer çalışmalar olduğu görülmektedir.

3.1. Mevcut Çalışmalar

Havaalanı kapı atama problemleri, hangi uçağın hangi kapıya yanaşacağını ele almaktadır. Bu çalışmalarda en yaygın amaçlar, yolcular açısından yürüme mesafesinin, aktarma süresinin ve havaalanı yetkilileri açısından ise kapısız uçuş sayısı, araç çekme (towing) işlem sayısının en küçüklenmesi şeklinde sıralanmaktadır.

Depo yükleme-boşaltma noktalarına araç atama problemlerinde ise ürünler gönderme noktasında beklerken yapılan işlem maliyetlerini (taşıma maliyeti, işlem süresi) en küçüklemektir. İncelenen çalışmalarda öncelikle havaalanı kapı atama problemlerinin yer aldığı çalışmalar ardından depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi ve diğer çalışmalar sunulmuştur.

3.1.1. Hava alanı kapı atama problemi

Baron (1969), farklı kapı atamalarında ayrılan ve transfer yolcuların yürüme mesafesine olan etkisini analiz etmek için benzetim analizi kullanmaktadır.

Braaksma (1977), terminal sahasının yerleşimini değiştirmeksizin, yürüme mesafesinin en küçüklenmesi sürecinin yolcu yürüme uzaklıkları üstünde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Babic ve ark. (1984), HKAP’ ı bir doğrusal 0-1 TP olarak modelleyerek taşınan yolcuları dikkate almamaktadırlar. Bu çalışmayla raporlanan uygun stratejiye göre uçak çok yolcu taşıdıkça, merkez binaya daha yakın atanmalıdır sonucuna ulaşılmaktadır.

Mangoubi ve Mathaisel (1985), taşınan yolcuları içeren tam sayılı programlamada doğrusal programlama gevşetmesini kullanmaktadırlar. Uzaklık tanımları diğer üç çalışmadaki gibi gösterilmektedir.

Bihr (1990), HKAP' ı merkez işlemde sabit zaman aralıklarında, en küçük yürüme mesafesini sağlayacak 0-1 DP'yi kullanmaktadırlar. Çalışmada seçim ölçütü varış-ayrılış döngüsündeki toplam yolcu seyahat mesafesinin en küçüklenmesidir.

Su ve Srihari (1993), uçak-kapı atama probleminde çözüm tabanlı bir uzman sistem önermektedirler. Örnek sistem planlama aracı olarak kullanılmak için geliştirilmiştir. Çalışma stratejik planlama çizelgelerinde ve projelenen uçak-kapı atama problemlerine yardımcı olmaktadır.

Chang (1994), tezinde yolcu yürüme mesafesi amacına ilaveten, yolcuların bagaj taşıma mesafesini de ele almaktadır. Diğer çalışmaların aksine, bu çalışmada amaçlar havaalanı işletmecilerine yönelik olup toplam kapı tercihi ve uçak çekme işlemi iyileştirilmesine yöneliktir.

Hanghani ve Chen (1998), çalışmalarında toplam yolcu yürüme mesafesini, her uçak çifti ve her kapı çifti arasındaki mesafede transfer yolcu hacmine bağlı olarak ele almaktadırlar. Bu yüzden hava alanından ayrılan ve havaalanına varan uçakların kapılara atanması problemi karesel atama problemi şeklinde tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmada, tam sayılı programlama, benzetim ve uzman sistemler uygulanmaktadır. Bu çalışmada, kapı atama problemlerinde yeni bir tam sayılı programlama modeli sunulmaktadır. Sezgisel yöntemle bulunan sonuçlar, CPLEX ile bulunan sonuçlardan daha iyidir.

Cheng (1998), çalışmada apron kontrolünün, havaalanı kapılarına varan ve hava alanından ayrılan uçakların kontrolünde önemli olduğunu belirterek hava alanının sürekli değişen, dinamik yapısının şekillenmesinde önemli payı olduğunu bildirmektedir. Çalışmada benzetim yöntemi, önerilen apron kontrol aktivitesini uygunluğu ve etkinliğini değerlendirmek için kullanılan güçlü bir araç olmaktadır. Çalışmada, hava alanı kapılarında uçakların benzetimi için kural tabanlı bir aktif model önerilmektedir.

Cheng (1998), dinamik ve statik durumlara çözüm sunmak için matematiksel programlama teknikleriyle bütünleşmiş bilgi tabanlı kapı atama sistemi sunmaktadır. Kısmi paralel atama tanıtılarak bir grup uçak için tüm kapılara bakılıp, çok amaçlı eniyileme fonksiyonu dikkate alınarak kapı atamaları yapılmaktadır.

Gu ve Chung (1999), uçakların kapıya yeniden atanması probleminde, gelen uçakta erteleme meydana geldiğinde önerilen yöntem uygulanmaktadır. Eğer kapıya atanacak ardışık uçakların varışlarının iptali yeterince önemliyse, havayolu ekstra erteleme sürelerini en küçükleme için kapı atamalarını revize etmelidir. Çalışmada uçak yeniden atama problemi için bir genetik algoritma önerilmektedir. Global arama tekniklerine dayanarak oluşturulan en küçük erteleme süreli uçuşlar, kapı yöneticilerinin deneyimlerinden daha etkin sonuçlar vermektedir.

Bolat (2000), çalışmasında uçuş ertelemeleri, şiddetli hava şartları, ekipman arızaları gibi durumların planlanan çizelgelere zarar vereceğini belirtmektedir. Uçuş çizelgelerinde ilk atamaları sapmalara duyarsız yapmak için kapılardaki aylak süreleri en küçükleyen 0-1 tamsayılı bir karesel model önerilmektedir. Deney sonuçlarına göre dal-sınır algoritması ile en az kullanılan kapılara uygun atamaları yapmak için daha fazla hesap süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Öncelik fonksiyonunu içeren sezgisel yaklaşım olası ek aylak sürelerini de dikkate alarak gelecek atamaların diğerlerine göre daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

Bolat (2001), çalışmasında hava trafiği ertelemeleri, şiddetli hava koşulları veya ekipman arızaları gibi beklenmeyen değişikliklerin istasyondaki işlemlerin devam etmesine olumsuz etkileyeceğini belirtmektedir. Bu zamana kadar yapılmış matematiksel modeller ve süreçler (optimal ve sezgisel) statik uçak kapı atama problemleri için aylak zaman periyodunun en küçük yayılımıyla ilgili çözümler sağlamak için önerilmektedir. Bu çalışmada, önceki modellerin amaç fonksiyonlarını iyileştirmek için bütünleşik bir taslak sunulmaktadır. Ayrıca çalışma bu modellerin doğrusal olarak gösterimlerini ve polinom sürede bulunan eniyi çözümlerini sunmaktadır. Alternatif çözümler sağlamak için probleme özgü bilgiler kullanılarak genetik algoritma yaklaşımı önerilmektedir.

Xu ve Bailey (2001), problemin amacını bağlantılı uçuşları yakalamak için yolcuların yürürken geçirdikleri toplam aktarma süresini en küçükleme şeklinde belirtmişlerdir. Problem başlangıçta karma 0-1 karesel tam sayılı programlama olarak modellenmiş sonra yeniden düzenlemeyle, karma 0-1 tam sayılı problem olarak modellenmektedir.

Yan ve Huo (2001), çok amaçlı bir 0-1 tam sayılı programlama modeli kullandıkları çalışmalarında büyük ölçekli problemlerin çözümünde kullanılan ağırlık metodu, simplex metodu ve dal sınır tekniği metotlarını kullanmaktadırlar.

Ding ve ark.(2004a), çok kısıtlı hava alanı kapı atama problemini ele almaktadırlar ve uçuş sayısı kapı sayısını geçmektedir. Amaç kapısız uçuş sayısını ve toplam yürüme mesafesini en küçükleme. Problem, ikil karesel programlama problemi olarak modellenmektedir.

Ding ve ark.(2004b), çalışmalarında çok kısıtlı hava alanı kapı atama problemleri ele almaktadırlar. Amaç kapısız uçuşları ve toplam yürüme mesafesini veya aktarma süresini en küçükleme olarak belirlenmektedir. Kapısız uçuş sayısını azaltmak için açgözlü algoritma kullanılmaktadır.

Lim ve Wang (2005), gürbüz kaynak kısıtlı atama problemi için yeni bir strateji önererek çözüm için bir yöntem sunulmaktadır. Gürbüz uçak-kapı atama problemini (GUKAP) uçak çizelgelemedeki belirsizliklerle başa çıkmak ve uçak-kapı atamalarının yeteneğini değerlendirme kriterini oluşturmak için oluşturmaktadırlar. GUKAP, stokastik modellemeyle oluşturularak daha sonra ikil tam sayılı modele dönüştürülmektedir. GUKAP'ı etkin biçimde çözmek için yasak arama ve yerel aramadan oluşan bir hibrid meta-sezgisel önerilmektedir.

Dondorf (2007b), çalışmasında, hava alanı uçuş-kapı atamalarında, modelin gürbüzlüğünü tanıtmaktadır. Kısaca genel uçuş kapı atama problemleri ve havayolu çizelgesinde oluşan karışıklıkları incelemektedir.

Yan ve Tang (2007), stokastik uçuş ertelemesine duyarlı hava alanı kapı atamaları yapan hava alanı yetkililerine yardımcı olmak için geliştirilmiş bir sezgisel yaklaşımın yer aldığı taslak sunmaktadırlar. Çalışmada stokastik uçuş ertelemelerine duyarlı bir hava alanı kapı atama problemi, geliştirilen sezgisel

yöntemle sunulmaktadır. Oluşturulan model, stokastik kapı atama modelini ve gerçek zamanlı atama kuralını içermektedir.

Drexl ve Nikulin (2008), çalışmalarında çok amaçlı bir hava alanı kapı atama problemini ele almaktadırlar. Çalışmanın amacı, kapısız uçuş sayısını ve toplam yolcu yürüme mesafesini en küçüklemek veya toplam kapı atama tercih sayısını büyüklerken yolcuların aktarma süresini en küçüklemektir. İncelenen problem, karesel kısıtların yer aldığı çok amaçlı bir tamsayı problemidir.

Dondorf ve ark. (2008), çalışmalarındaki amaçlar arasında, toplam atama tercih skorunun en büyüklenmesi ile atanmamış uçuş sayısının, yedek araç çekme işlem sayısının en küçüklenmesi ve ertelenen uçuşlarla ilgili çizelgenin gürbüzlüğünün en büyüklenmesi yer almaktadır.

Jaehn (2010), çalışmasında uçuşların hava alanı kapılarına atanması problemini ele almaktadır. Problem NP-zor türüdür. Uçuş/kapı tercih skorunun maksimum olması tek amaçtır. Sabit sayıda kapı için, uçuş sayısı ile ilgili olarak, doğrusal sürede uçuş atama problemi çözecek bir dinamik programlama yaklaşımı sunulmaktadır.

Nikulin ve Drexl (2010), çok amaçlı hava alanı uçuş-kapı çizelgeleme problemini ele almaktadırlar. Toplam uçuş-kapı tercihlerini en büyüklemek, araç çekme işlem sayısını en küçüklemek ve referans çizelgeden sapmaları en aza indirgeyecek yeni kapı atamalarını yapmak belirlenen amaçlardır. Problem çok kriterli çok modlu kaynak kısıtlı genelleştirilmiş öncelik kısıtları olan bir proje çizelgeleme problemidir. Pareto tavlama benzetimi kullanılarak mevcut belirsizlikler bulanık sayılarla temsil edilmektedir.

Maharjan ve Matis (2011), çalışmalarında günlük uçuş ertelemelerini karşılayacak uçakların kapılara yeniden atanması için bir ikil tam sayılı programlama modeli önermektedirler. Bu program, yolcuların toplam yürüme mesafesini hava alanında kapılara yeniden atanmasında öncelikli olarak etkilenen uçuşlar için ayrılan ya da aktarma yapan yolcuların toplam yürüme mesafesini en küçüklemektedir.

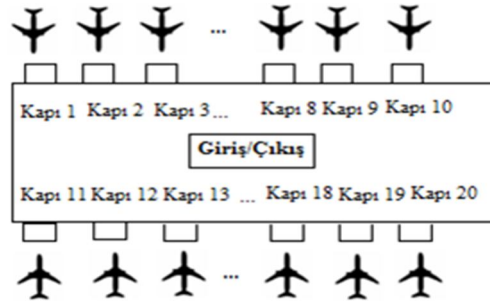
Tang (2011), geçici kapı eksiklikleri ve stokastik uçuş ertelemeleri (geç/erken varış/ ayrılış) gerçek zamanlı havaalanı operasyonlarında, eş zamanlı

oluşan ortak bir problemdir. Bu çalışmanın amacı, geçici kapı eksiklikleriyle başa çıkmak için yeniden kapı atama modelini ve stokastik uçuş ertelemelerini tasarlamaktır.

Şeker ve Noyan (2011), belirsizlik altında uçuşların varış ve ayrılış zamanlarını ele alan kapı atama problemini incelemişlerdir ve çakışan uçuşlar, aylak süre ve tampon sürelerin sayısına dayanan gürbüzlük ölçülerini içeren stokastik programlama modelleri geliştirmişlerdir. Önerilen modeller, büyük ölçekli karma tam sayılı programlama modelleri olarak gösterilmektedir.

Genç ve ark.(2011), çalışmalarında kapı kullanımının en büyük olması ya da diğer bir ifadeyle, kapılara atanamamış uçuşların sayısının en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Problemin çözümü için sadece olasılık yaklaşımını kullanmak yerine stokastik yaklaşımla sezgisel yaklaşımların faydalarının birleştirildiği bir metot önerilmektedir.

Aşağıda Şekil 3. 1’de uçak-kapı atamasını gösteren bir resim sunulmaktadır. Buna göre literatürden anlaşıldığı gibi uçak sayısı kapı sayısını geçtiğinde ortaya çıkan kapasite sıkıntısı farklı yöntemlerle çözülmektedir.



Şekil 3.1. Uçak-kapı ataması

3.1.2. Depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi

Tsui ve Chang (1992), malzemelerin taşınması için toplam seyahat edilen mesafenin en küçük olması amacına dayanan, Koopmans ve Berkmann’ın 0-1 tam sayılı gösterimini DEKAP’ ı formüllerken kullanmışlardır. Hesapsal zorluklar çalışmalarında raporlanmaktadır.

Bermudez ve Cole (2000), benzer bir problemi toplam ağırlıklı mesafenin en küçüklenmesi amacıyla genetik algoritmalar kullanarak çözmüşlerdir. Sağlanan uygun çözümleri ve daha iyi hesaplama süresini çalışmalarında sunmuşlardır

Oh ve ark.(2006), bir posta dağıtım merkezinde mevcut çapraz yükleme sistemindeki işlemsel problemleri vurgulamaktadır. Problemde dağıtım merkezi teslim alma ve gönderme olmak üzere iki çeşit kapıya sahiptir. Varışların gönderme noktalarına atanması, varışların form grupları için kümelenmesi ve grupların sayısına karar verilmesi önemli işlemsel problemlerdir ve doğrudan dağıtım merkezinin etkinliğiyle ilgilidir. Bu problemleri çözmek için, merkezdeki paletlerin seyahat mesafesini en küçükleyen doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonu geliştirilmektedir. Model için iki çözüm metodu üç seviyeli bir sezgisel algoritma ve genetik algoritmalar uygulanmaktadır. Alt sınır çözüm metodunun geçerliliğini değerlendirmek için bir sonuç bulunmaktadır. Gerçek veriler kullanılarak çözülmekte ve mevcut sistemle kıyaslandığında önemli gelişmeler sağlandığı bildirilmektedir.

Miao ve ark. (2009), işlem zamanı kısıtlı çapraz yükleme yapısında kamyon yükleme-boşaltma noktası atama problemini ele almaktadırlar ve sistemde kamyonların sayısı mevcut yükleme-boşaltma noktası sayısını geçmektedir. Problem üç temel faktörden etkilenmektedir: Bunlar her kamyon için zaman pencereli varış ve ayrılışlar, yükleme-boşaltma noktaları arasındaki kargo gönderme süresi, çapraz yükleme noktaları için mevcut kapasite şeklinde sıralanmaktadır. Amaç kargo taşıma işlem maliyetlerini ve toplam tamamlanmamış taşımaların sayısını en küçükleyecek en uygun kamyon atamasını bulmaktır. Yukarıdaki iki amaç bir terimde birleştirilir. Toplam maliyet, toplam yükleme boşaltma noktası işlem maliyeti ve tamamlanmamış tüm taşımalar için ceza maliyetinden oluşur. Problem tam sayılı programlama olarak modellenir. Problemin büyüklüğü arttıkça, tam sayılı programlama (TP) modeli de büyür ve ILOG CPLEX çözücüsü çözmekte zorlanmaktadır. Bu yüzden iki meta-sezgisel yaklaşım; yasak arama ve genetik algoritma önerilir. Deneysel hesaplamalar yapılarak meta-sezgisellerden özellikle yasak aramanın, endüstriyel uygulamalardan uyarlanan tüm testlerde, CPLEX Solver' dan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Vahdani ve Zandieh (2010) çalışmalarında beş meta-sezgisel uygulamışlardır: Bunlar genetik algoritmalar, yasak arama, tavlama benzetimi, elektro magnetizma algoritması ve komşuluk arama yöntemleridir. Çapraz yükleme sistemleri, gönderme noktalarında ürünler geçici olarak beklerken toplam işlem süresini en küçüklemek için kullanılır. Önerilen yöntem yanıtlama yüzeyi metoduna dayanmaktadır. İki farklı amaç fonksiyonu çok amaçlı karar modeli geliştirmek için düşünülmektedir. Meta sezgisellerin kıyaslanması için işlerin tamamlanma süresi (makespan) ve merkezi işlem birim değeri (CPU) algoritmanın etkenliğini ve verimliliğini temsil eden iki yanıt değişkenidir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, komşuluk arama yöntemi çapraz yükleme sistemlerinde araçların çizelgelenmesi için tavsiye edilmektedir. Ayrıca gerçek büyüklükteki problemler için, en iyi çözüme ulaşmak mümkün değildir, sonuçlanan çözümleri değerlendirmek için alt sınır sunulmaktadır.

Arabani ve ark. (2011) çalışmalarında çok amaçlı eniyileme problemleri için üç algoritmayı ele almaktadırlar. Bu yöntemler, baskın olmayan sıralama esaslı genetik algoritmalar 2, kuvvet pareto evrimsel algoritması 2 ve alt nüfus genetik algoritmalar 2 yöntemleridir. Çapraz yükleme çizelgeleme problemlerinde, ürün parçaları içerdeki taşıyıcılardan teslim alma noktalarında boşaltılıp sınıflandırılarak gönderme noktalarındaki taşıyıcılara yüklenirler. Amaç fonksiyonu toplam işlem zamanı ve toplam dış taşıyıcıların gecikmesi olarak düşünülmektedir. Çalışmada uygulanan algoritmalara değer biçmek ve her uygulanan algoritmanın güçlü taraflarını göstermek için, dört ölçüt önerilerek birbiriyle karşılaştırılmaktadır.

Bu tezde, araç sayısının depo yükleme/boşaltma noktasını geçtiği bir depoda araçların zaman kısıtı altında yükleme noktalarına atanması problemi ele alınmaktadır. Müşterinin istediği teslim tarihi ile gerçekleşen teslim tarihi arasındaki sapmayı en küçükleyecek biçimde işletmenin bazı özel kısıtları göz önünde bulundurularak bir karma tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin çözüm süresinin problem büyüklüğüne bağlı olarak artması meta-sezgisel bir yöntem olan Genetik algoritmalarla çözüm aranmasını sağlamıştır. Değişik gerçek hayat veri kümeleriyle yöntem sınanarak, kapılara araç atama çizelgesi hazırlanmıştır.

3.2. Kapılara araç atama probleminde mevcut çözüm yaklaşımları

Uçuş-kapı atama işlemi için geliştirilmiş matematiksel programlama teknikleri ve simülasyon ve kural temelli uzman sistemler bulunmaktadır.

3.2.1. Matematiksel programlama çözüm yöntemleri

Kapı atama probleminin çözümüne yönelik olarak öncelikle kesin sonuç veren analitik modeller kullanılmıştır. Bu yöntemlerin problem büyüklüğüne bağlı olarak çözüm süresini uzatması çeşitli sezgisel yöntemlerin geliştirilmesini sağlamıştır.

3.2.1.1. Kesin sonuç veren algoritmalar

Klasik algoritmalar olarak da geçen kesin sonuç veren algoritmalar Balas algoritması, dal ve sınır yöntemi, dinamik programlama, düzlem kesme algoritması ve lagrange gevşetme yöntemleridir. Bu algoritmalar iyi sonuçlar vermekle birlikte çok zaman alan ve sınırlı büyüklükte problemler için etkili yöntemlerdir.

TP problemlerinin cebirsel formülasyonu sürekli değişkenlerin tanımladığı DP problemlerinin formülasyonuna oldukça benzer olmasına rağmen, bazı ya da tüm değişkenlerin tamsayı olmasını gerektiren kısıtların eklenmesi çözümleme bakımından TP problemlerini oldukça zor hale getirirler. Tam sayılı optimizasyon problemlerinin çoğu ‘zor’ (hard) optimizasyon problemleri sınıfına girerler. Dolayısıyla DP problemleri çözüm için polinom zaman gerektirirken, tam sayılı programlama problemlerinin çoğu NP (non-polinomial) sınıfından problemlerdir ve üstel hesaplama zamanı gerektirir.

İlk bakışta sırt çantası ve GSP gibi problemler çözüm bakımından diğer tür problemlere nazaran daha kolay görülebilirler. 10000 ya da daha fazla 0-1 değişkeni içeren sırt çantası ya da birkaç bin ziyaret edilecek noktaya sahip bir GSP dal ve sınır yöntemi ya da düzlem kesme algoritması ile başarılı bir şekilde paralel işlemcili bilgisayarlarda birkaç saat içinde çözülebilir. Fakat diğer problemlerin (sırt çantası problemleri, sermaye bütçeleme problemleri, sabit yük problemleri, tezgah yerleştirme problemleri, küme örtme, paketleme, ayrıştırma

problemleri, ya-veya kısıtlı problemler, ise-o zaman kısıtlı problemler, makine-ardışıklık problemleri, atama eşleştirme problemleri, gezgin satıcı ve güzergah modelleri) çoğu için aynı şeyi söylemek zordur. Ancak daha küçük çapta problemler bu algoritmalarla makul zaman içinde çözülebilirler. Fakat gerçek dünya problemleri oldukça büyük boyutludur. Böyle problemlerle karşılaşıldığında uygulayıcılar genellikle optimal çözümü garanti etmeyen fakat genel olarak iyi sonuçlar veren sezgisel (heuristic) yöntemlere başvururlar.

Tam sayılı programlama problemlerinin çoğu çözüm bakımından zor olmasına rağmen, bu türden bazı problemler ise daha kolay bir biçimde çözülebilir. Özellikle atama, eşleştirme, ulaştırma ve aktarmalı ulaştırma problemi türünden şebeke (network) yapısındaki problemler daha kolay çözüme sahiptirler. Çünkü bu problemlerde uygun çözüm bölgesinin uç noktalarının tümü tam sayılı çözümü temsil ederler ve dolayısıyla eğer problemler DP problemi olarak formüle edilirse, simpleks yöntemle çözüm tam sayılı çözüm üretir. Maalesef bu durum sadece şebeke yapısındaki problemler için söz konusudur ve tam sayılı programlama problemlerinin çoğu ise DP biçiminde modellenemez.

Doğrusal programlama ve tam sayılı programlama problemlerinin çözümündeki temel farklılık şu biçimde özetlenebilir: DP problemlerinin çözümünde belli bir uygun çözümün en iyi çözüm olup olmadığı bilgisini verecek ispatlanmış yeter ve gerek koşullar mevcutken, tam sayılı programlama problemleri için belli bir uygun çözümün en iyiliğini kontrol edecek koşullar yoktur. Optimal çözümün elde edilip elde edilmediği ancak her bir uygun çözümü açık ya da gizli bir biçimde karşılaştırmakla sağlanabilir.

Problemlerin zorluk ve büyüklük derecelerine ve problem türüne göre geliştirilmiş çeşitli yöntemler mevcuttur. Göreceli olarak küçük çaptaki problemlerin çözümü daha ziyade dal ve sınır, düzlem kesme algoritmaları gibi yöntemlerle gerçekleştirilir ve kesin en iyi çözümler elde edilirken, problemin büyüklüğüne bağlı olarak çoğu zaman üstel hesaplama zamanı sorunundan dolayı büyük çaplı problemler için geliştirilmiş ve yakın en iyi çözümleri veren sezgisel yöntemler söz konusudur.

3.2.1.2. Sezgisel algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, her hangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vermek amacıyla tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Atama problemlerinde sık kullanılan sezgisel yöntemler; tavlama benzetimi, genetik algoritma, açgözlü algoritma, karınca kolonisi ve yasak arama metotlarıdır (Karaboğa, 2004).

Karmaşık matematiksel yapılar üzerine kurulu kesin algoritmalar doğrusal programlar, konveks karesel programlar ve doğrusal olmayan konveks programlama problemlerinin çözümü için geliştirilmişlerdir. Bu problemlerin tümünün temel özelliği, bunların optimum çözümü için etkin karakterizasyonu sağlayan en iyilik koşullarının biliniyor olmasıdır. Kesin algoritmalar bu en iyilik şartlarına bağlı olarak geliştirilmişlerdir. Bu özelliklerinden dolayı bu tür problemler ‘iyi huylu problemler’ (nice problems) olarak bilinir.

Optimizasyonda kesin yöntemlerin tersine sezgisel yöntemler optimal çözümü garanti etmezler. Bununla beraber sezgisel yöntemlerin kullanılması için çeşitli nedenler söz konusudur. Bu nedenler şu şekilde sıralanabilir:

1. Kesin formülasyonu ve çözüm yöntemi olmayan problemler için sezgisel yöntemler kullanılır.
2. Problem için kesin çözüm yöntemleri olsa bile büyük ölçekli problemler için yoğun hesaplama gereklilikleri ve çözüm zamanı bakımından sıkıntı söz konusu olduğunda, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda sezgisel yöntemler tercih edilebilir.
3. Sezgisel yöntemler aynı zamanda dal ve sınır çözüm yönteminde optimal çözümün sınırlarını hesaplamak için kullanılabilir.

3.2.2. Simülasyon ve kural tabanlı uzman sistemler

Klasik araştırma tekniklerini kullanan yaklaşımlarda çok sayıda bilgi ve performans ölçütü sebebi ile oluşan zorluklar, alternatif olarak çalışmaları kural tabanlı uzman sistem modellerine yöneltmiştir. Yer kontrolcülerinden alınan bilgilere göre oluşturulan uzman sistem, atamaları oluşturmak için üretim kuralları tanımlar. Dikkate alınması gereken faktör sayısı büyüktür, bu nedenle en önemli

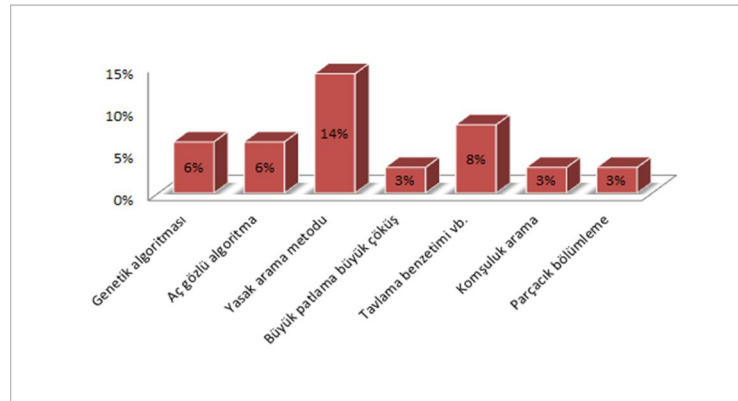
konu tüm kuralları tanımlamak, önem sırasına göre listelemektir. Pratik bir bakış açısına göre, matematiksel programlama tekniklerinin kullanımı sağlayan bir uzman sistem geliştirmek daha önemlidir. Bu tip bir bileşke, kapı çizelgeleme sisteminin beklenen esneklik özelliğini oluşturmayı sağlayabilir (Dorndorf ve ark., 2005).

3.3. Mevcut Çalışmaların Analizi

İncelenen çalışmalar problem tipi, amaç fonksiyonları, çözüm yöntemleri, ve memnuniyet tiplerine göre sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Kapılara araç atama problemi kapsamında ele alınan çalışmalar hakkındaki değerlendirmeler sonuçlar kısmında sunulmaktadır.

3.3.1. Mevcut çalışmaların sınıflandırılması

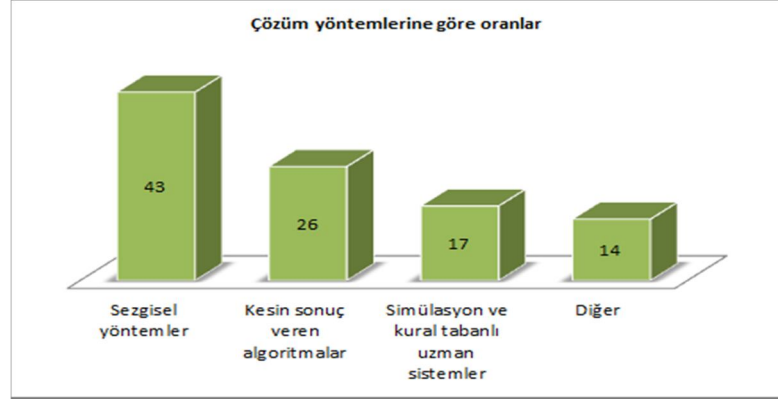
Yapılan hava alanı kapı atama problemleri açısından değerlendirilecek olursa sezgisel çözüm yöntemlerine göre incelendiğinde %14 oranı ile yasak arama metodu, %8 oranı ile tavlama benzetimi ve ardından %6 ile genetik algoritma ve %6 ile açgözlü algoritmanın uygulandığı gözlenmektedir.



Şekil 3.2. Sezgisel yöntemlere göre yapılan çalışmaların incelenmesi

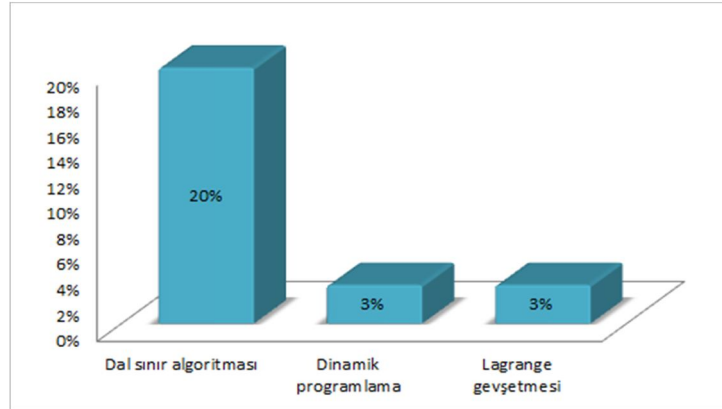
Çözüm yöntemleri, matematiksel programlama teknikleri ve benzetim-kural tabanlı uzman sistemler olarak sınıflandırıldığında, matematiksel programlama tekniklerinden sezgisel yöntemler %43 ile en büyük orana sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, havaalanı kapı atama problemlerinin NP-zor olması ve optimuma yakın sonuçların sezgisel yöntemlerle daha kolay bulunabilmesidir (Lim, 2005). Kesin sonuç veren algoritmalar %26 oranında

kullanılmaktadır. Benzetim ve kural tabanlı uzman sistemlerin kullanımı %17 oranındadır. Diğer olarak ifade edilen dilimde tam olarak içeriğine erişilememiş üç çalışma ve sadece matematiksel modelin kurulduğu çalışmalar mevcuttur.



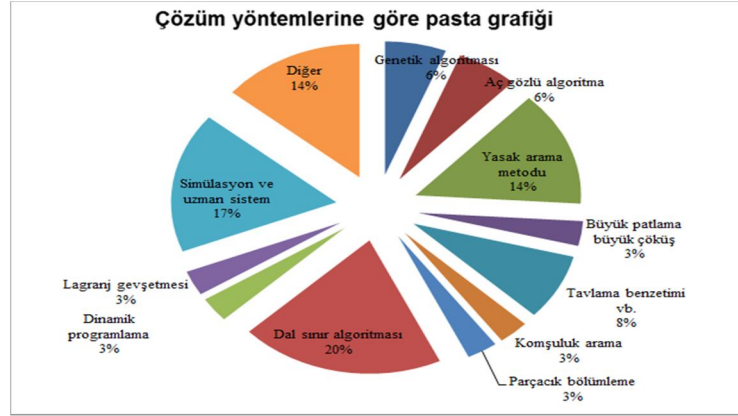
Şekil 3.3. Genelleştirilmiş çözüm yöntemlerine göre çalışmaların incelenmesi

Kesin sonuç veren algoritmalarda ise en çok dal-sınır algoritmasının kullanıldığı gözlenmektedir (%20).



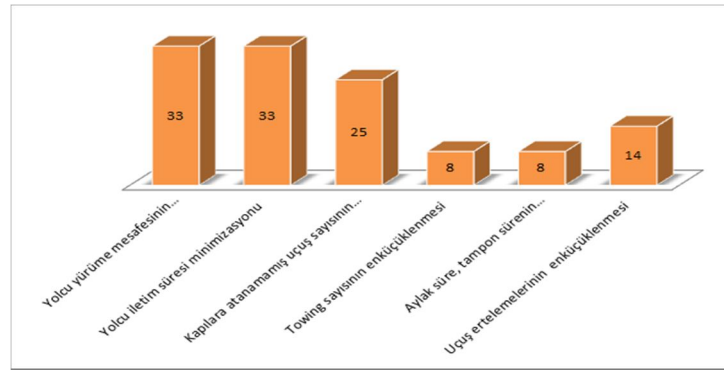
Şekil 3.4. Kesin sonuç veren algoritmalara göre yapılan çalışmaların incelenmesi

Pasta grafiğinde tüm yöntemlerin oranları görülmektedir. Buna göre %20 dal sınır algoritmasını %17 oranı ile benzetim ve uzman sistemler izlemekte onu da %14 oranı ile yasak arama metodu takip etmektedir.



Şekil 3.5. Çözüm yöntemlerine göre yapılan çalışmaların incelenmesi

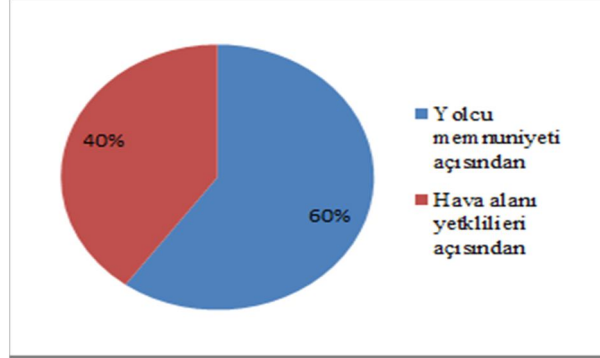
Amaç fonksiyonlarına göre çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla yolcu yürüme mesafesinin küçüklenmesi hedeflenmektedir. Daha sonra yürüme mesafesiyle orantılı olan aktarma süresi gelmektedir. Kapılara atanamamış uçak veya uçuş sayısının, towing (uçak çekme) sayısının en küçüklenmesi, özellikle gürbüz yapıli modellerde aylak süre ve tampon sürelerin küçüklenmesi ile uçuş ertelemelerinin küçüklenmesi çalışmalarda yer alan amaçlardır.



Şekil 3.6. Amaç fonksiyonlarına göre yapılan çalışmaların incelenmesi

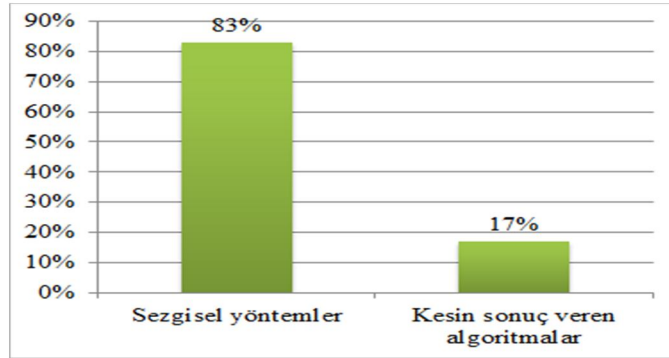
Çalışmalar yolcu memnuniyeti ve havaalanı yetkilerinin memnuniyeti göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu, kısıtlar bu memnuniyet tipine göre değişmektedir. Pasta grafiğine bakıldığında yolcu memnuniyeti %60 ile havaalanı yetkilerinin memnuniyet oranını geçmiştir. Problem yolcu açısından; yürüme mesafesi, toplam gecikme, iptal edilen uçuşların en küçüklenmesi iken; işletmeci açısından ise, kapıların öncelikleri, uçak çekme (towing) işlem sayısının en küçüklenmesi olarak dikkate alınmaktadır. Ayrıca çok amaçlı modellerde hem

müşteri memnuniyetini sağlayacak hem de hava alanı yetkilileri açısından ele alınan kısıtlar vardır.



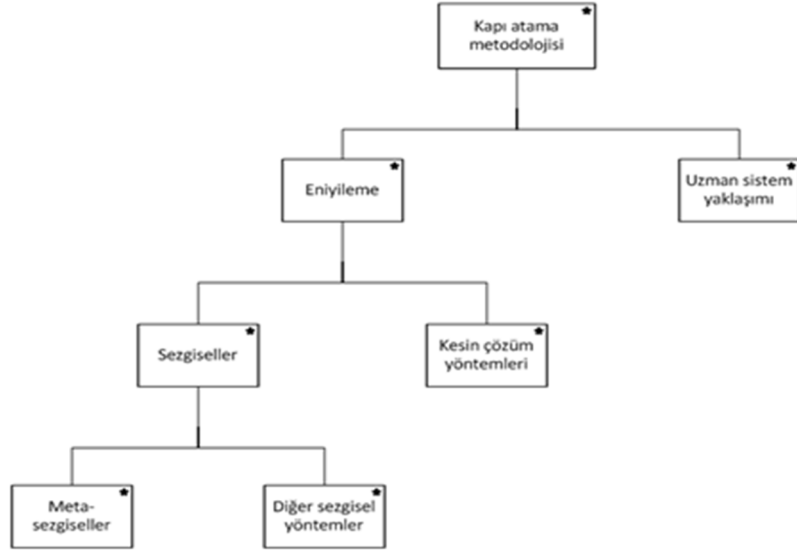
Şekil 3.7. Yolcu ve havaalanı yetkilileri açısından çalışmaların incelenmesi

Depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi kapsamında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde Şekil 3. 8’de de görüldüğü gibi %83’ünde sezgisel yöntemler %17’sinde ise kesin sonuç veren algoritmalar kullanılmaktadır. Kullanılan sezgisel yöntemlerin %100’ünde genetik algoritmalar kullanılmaktadır. Ayrıca genetik algoritmaların yanında diğer sezgisellerden yasak arama metodu, tavlama benzetimi, elektro magnetizma algoritması ve komşuluk arama metodunun kullanıldığı görülmektedir.



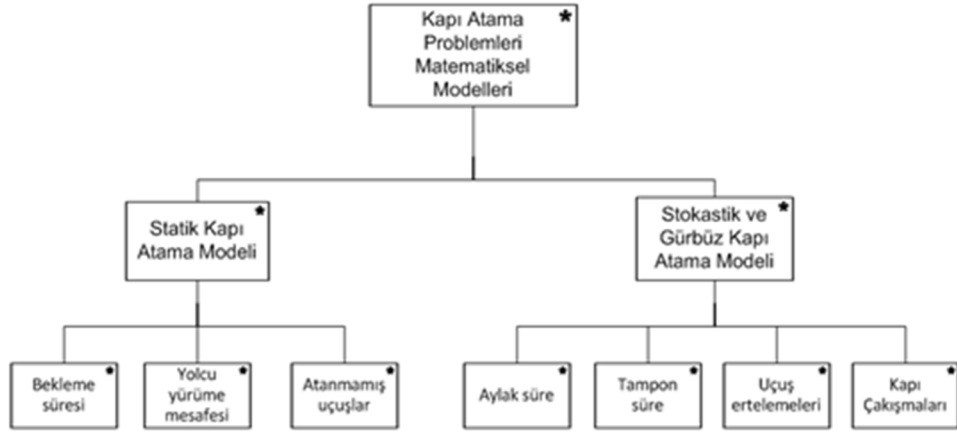
Şekil 3.8. Depo Y/B noktalarına araç atama problemi çözüm yöntemleri

Eklerde amaç fonksiyonlarına ve çözüm yöntemlerine göre detaylı sınıflandırmalar tablolar halinde sunulmaktadır.



Şekil 3.9. Kapı atama problemi çözüm yöntemleri (Cheng, C. H. ve ark., 2012)

Şekil 3. 9 ve Şekil 3. 10 'da kapı atama problemlerinin çözüm yöntemleri ve amaç fonksiyonlarına göre sınıflandırılması verilmektedir.



Şekil 3.10. Kapı atama problemi amaç fonksiyonları (Cheng, C. H. ve ark., 2012)

3.3.2. Mevcut çalışmaların analizi ve ele alınan çalışmanın katkısı

Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı 9. Kalkınma Planı Havayolu Ulaşımı Özel İhtisas Komisyonu'nun 2007-2013 yılları için hazırlanan raporuna göre: "Dünyada küreselleşmenin bir sonucu olarak gerek ulusal gerek uluslararası boyutta artık sınırlar ortadan kalkmış, dünyanın bir ucundaki bir şehirden diğer ucundaki başka bir yere ulaşım mümkün hale gelmiştir. Günümüzde uzaklık tanımaksızın ülkeler arasındaki teknik, ekonomik, finansal, ticari, işletmecilik ve kurumsal konularda işbirlikleri gerçekleştirilmiş, insanların veya üretilen bir ürünün güvenli ve konforlu bir şekilde ve en kısa süre içerisinde bir yerden başka bir yere taşınması sağlanmıştır." Bu noktada müşterilere ürünleri güvenli biçimde ve zamanında teslim edebilmenin yolu araçların kapılara uygun biçimde atanabilmesidir. Doğru atanmış araçların gecikmesi olmayacağından müşteri memnuniyeti sağlanacak, üretim noktasından son müşteriye ulaşıncaya kadarki tedarik zinciri ve lojistik yönetimi koordinasyonu en iyi biçimde sağlanabilecektir.

Yapılan literatür çalışmasında hava alanı kapı atama problemleriyle ilgili 1977-2012 yılları arasında yayınlanan, 33 makale 2 bildiri ve 1 doktora tezi incelenerek hava alanı kapı atama problemleri çeşitli ölçütlere göre sınıflandırılmaktadır. En çok karşılaşılan amaç havaalanlarındaki yolcu memnuniyeti olarak ifade edilen, havaalanı yolcu yürüme mesafesinin en küçüklenmesi ardından yolcu aktarma süresi yer almaktadır. Kapılara atanamamış uçuş sayının ve uçak çekme işlem sayının küçüklenmesi havaalanı yetkilileri açısından yaygın olan amaçlardır.

Depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi kapsamında incelenen 6 makale değerlendirildiğinde en yaygın amaçların toplam işlem süresinin, gecikme süresinin, taşıma maliyetinin en küçüklenmesi olduğu görülmektedir.

Kapılara araç atama probleminin çok büyük boyutlu ve çözülmesi zor bir problem olması nedeniyle çalışmalarda genellikle çözüm yöntemi olarak sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak makul süreler içinde çözülmeye çalışılmıştır. Meta-sezgisel yöntemlerden en çok genetik algoritmalar ve yasak arama metodu tercih edilmektedir. Yazarlar, bu tekniklerin diğer metotlarla

kolayca bütünleşmesinin, çalışmayı hızlandırmasından daha çok kullanılan yöntem olması şeklinde ifade etmektedir. Buna rağmen bazı çalışmalarda kesin sonuç veren algoritmalar dal-sınır algoritması gibi en iyi sonuca ulaşılmasına olanak tanıyan yöntemlerin kullanıldığı ancak bunların sadece küçük boyutlu problemler için çalıştırılabildiği belirtilmektedir. Dal-sınır algoritmasını benzetim ve uzman sistemler takip etmektedir. Benzetim ve uzman sistemlerde, büyük modeller kurgulanarak esnek bir yapı kazandırılır ve değişikliklerin benzetim üzerinde hemen müdahale edilerek gerçek olayların gözlenmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında, kapılara araç atama problemleriyle ilgili literatür araştırılarak çalışmalar incelenmiştir. Ele alınan çalışma bir gerçek hayat problemi olup işletmenin kendi özel kısıtlarını barındırması yönüyle özgün bir karma tam sayılı bir matematiksel modeldir. Geliştirilen modelde müşteri sipariş bilgileri, istenen ve gerçekleşen teslim tarihleri, müşteri mesai saatleri göz önünde bulundurularak bir amaç fonksiyonu oluşturulmuş, istenen teslim tarihinden sapmalar ceza olarak amaca yansıtılmıştır. Araçların kapılara atanma önceliğini araçların maliyet değerleri belirlemektedir. Her araç bir müşteriyi temsil etmektedir. Küçük örnekler için Lingo ile matematiksel model çalıştırılmış büyük örnekler için makul sürede çözüm sağlanamaması meta-sezgisel bir yöntem olan Genetik Algoritmalarla çözüm aranmasını sağlamıştır. Geliştirilen matematiksel model hangi aracın hangi kapıya atanacağına belirlenen kısıtlar altında cevap ararken, geliştirilen genetik algoritma yöntemi hangi aracın hangi kapıya ne zaman atanacağı sorusuna çözüm bulmaktadır. Bu noktada matematiksel modelin amaç fonksiyonu ile GA' ların uygunluk fonksiyonunda ufak farklılık bulunmaktadır. Bunun nedeni sistem dinamikliğinin Genetik Algoritmalarla yansıtılabilesidir. Çünkü değişik zaman dilimleri için gelen-giden araçlara göre veri tabanı güncellenerek araçların atamasını gerçekleştirmekte ve bir atama çizelgesi oluşturulmaktadır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak depo yükleme/boşaltma noktaları için araçların kapılara atanması problemlerinde mevcut modeller aynen ele alınarak amaç fonksiyonunda değişimler yaratılırken, bu çalışmada modelin yeniden kurgulanması ve amaç fonksiyonun da teslim tarihlerine göre oluşturulması gerçekleştirilmektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında kapılara araç atama problemi hem hava yolu işletmecileri hem de depo yöneticileri için büyük önem arz etmektedir. Konuyla ilgili çok sayıda çalışmaya rağmen kesin olarak çözüm sağlanamadığı, eklenen her bir kısıt, karar değişkeni, karar değişkeni indis sayısının problem boyutunu üstsel olarak artırdığı görölmektedir. Problemin NP-zor olması nedeniyle makul sürede çözüm sağlanamaması sezgisel yöntemleri vazgeçilmez kılmaktadır. Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar Ek-6 ve Ek-7’de verilmektedir.

4. KARMA TAM SAYILI PROGRAMLAMA MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada yer alan problem için geliştirilen karma tam sayılı matematiksel modelde amaç, en küçük maliyetle araçların kapılara atanmasının sağlanmasıdır. Daha ayrıntılı olarak müşteriye ulaşacak araçların istenen teslim zamanından sapmalarını en aza indirgeyecek biçimde kapılara atanabilmesidir. Yapılan maliyet hesabına müşteri önceliği baz alınarak oluşturulan ceza katsayıları dahil edilmiştir.

4.1. Depo Yükleme/Boşaltma Noktalarına Araç Atama Probleminin Özellikleri

Depo yükleme/boşaltma noktalarına araç atama problemi, bir kombinatorik eniyileme problem türü olduğundan Np-zor (en iyi çözümü makul zamanda elde edilemez) sınıfında literatürde yer almaktadır (Jaehn, 2010). Problem büyüklüğüne bağlı olarak çözüm süresinin uzunluğu matematiksel programlama modeliyle büyük boyutlu problemlerin çözümünü yetersiz kılmaktadır. Aşağıda problem tanımlanmakta ve problem gücüğü gösterilmektedir.

4.1.1. Problemin tanımlanması

Problem bir atama problemi olup araç sayısı kapı sayısını geçmektedir. Kapı ile ifade edilmeye çalışılan Y/B noktalarıdır. Kapıların hepsi standarttır ve gelen araçların her hangi birine atanması yeterlidir. Gelen her araç hemen kapılara atanmamaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde problemde kapasite sorunu mevcuttur. Problemde araç sayısı kapı sayısına eşit ya da küçük olduğunda atamalar hemen gerçekleşmektedir. Beklemeler ve araç tercihleri oluşmamaktadır. Ancak araç sayısı kapı sayısını geçtiği anda problem karmaşıklaşmakta ve hangi aracın hangi kapıya atanması gerektiğine karar verecek bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelen her araç bir müşteriye aittir ve her bir araç müşteri önem derecesine göre ağırlığa sahiptir. Araçların tercih edilmesinde bu ağırlıkların fonksiyonu büyüktür. Çünkü acil müşteriler için verilen ağırlıkla standart müşteri için verilen ağırlık aynı değildir. Dolayısıyla acil müşteriye malın erken/geç teslim edilmesi

amaç fonksiyonunda daha büyük değişim yaratmaktadır. Oluşturulan modelde maliyeti en küçükleyecek biçimde araçların atamaları yapılmaktadır. Zaman kısıtı da problemde önemlidir. Çünkü her zaman dilimi için senaryo değişmektedir. Her senaryo için yeniden karar alınmakta ve o anki en iyi duruma karar verilmektedir.

Problemde yer alan amaç fonksiyonu istenen teslim süresinden sapmaların en küçüklenmesidir. Burada kastedilen erken ya da geç teslim edilmenin istenmemesi durumudur. Geç teslim etme ceza katsayısı erken teslimden daha büyüktür. Katsayılar müşteri önemine göre değişiklik gösterir. Müşteri istediği teslim tarihi ve saatinde sipariş verdiği malları deposunda görmek istemektedir. Her müşterinin mesai çalışma saati farklıdır. Müşterinin mesai saati dışında gelen araçlar boşuna beklemektedir. Mesai saatinden sonra gelen araçlar ertesi gün mesai başlama saatinde boşaltma yapabilmektedir. Kısaca amaç fonksiyonun da yer alan teslim etme maliyetini müşteri tiplerine ve mesai zamanlarına göre erken/geç teslim etme kararları ve gerçekleşen teslim süreleri oluşturur.

4.2. Karar Modeli Bileşenleri

Matematiksel modelde yer alan karar değişkenleri, parametreler, amaç fonksiyonu ve kısıtlar detaylı olarak bu kısımda verilmektedir.

4.2.1. Karar değişkenleri ve parametreler

Kurulan matematiksel modelde kullanılan parametre ve karar değişkenleri aşağıda gösterilmektedir:

Parametreler

N = Toplam araç sayısı $i = 1, 2, \dots, N$

K = Toplam kapı sayısı $j = 1, 2, \dots, K$ ve $N > K$

d_i = i. aracın yol süresi (dak.)

P_i = i. araçtaki siparişin öncelik katsayısı $P_i = \begin{cases} 1, & \text{Acil} \\ 2, & \text{Önemli} \\ 3, & \text{Standart} \end{cases}$

ML_i = i. araçtaki sipariş yeri için mesai başlangıç zamanı

$M2_i$ = i. araçtaki sipariş yeri için mesai bitiş zamanı

MT_i = i. aracın mesai tipi

M = Çok büyük sayı

Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ araç } j. \text{ kapıya atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$y_{ilj} = \begin{cases} 1, & i. \text{ araç } l. \text{ araçtan daha önce } j. \text{ kapıda yüklenirse} & i \neq l, i < l \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

DZ_{ij} = j. kapıdan yüklenen i. aracın depodan ayrılma zamanı

VZ_i = i. aracın müşteri deposuna varış zamanı

GTZ_i = i. aracın müşteriye teslim zamanı

BTZ_i = i. araç için beklenen teslim zamanı

E_i, L_i = i. sipariş teslim zamanından sapma süreleri

MBZ_i = i. aracın müşteriye varış zamanında geçerli olan mesai başlangıç zamanı

MSZ_i = i. aracın müşteriye varış zamanında geçerli olan mesai bitiş zamanı

t_i = i. aracın müşteriye varış zamanında geçerli olan gün

IMF_i = i. araç için izleyen mesai başlangıç zamanına olan uzaklık

MBS_i = i. aracın mesai bekleme süresi

z_i = 0-1 tamsayı değişken

4.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Amaç Fonksiyonu

Amaç, sevkiyata çıkan araçların teslim sürelerinden sapmalarını ve mesai beklēmelerini en küçüklemeektir.

$$Enküçük Z = \sum_{i=1}^N ((L_i * C1) + (E_i * C2) + (MBS_i * C3)) * P_i \quad (4.1)$$

Kısıt 1

Her araç bir kapıya atanmalıdır.

$$\sum_{j=1}^K x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (4.2)$$

Kısıt 2

Bir kapıya en az bir araç atanmalıdır.

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \geq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, K \quad (4.3)$$

Kısıt 3

Eğer araç i kapı j'ye atanırsa yükleme işlemi başlayabilir. Atanmamışsa araç i'nin kapı j'de yüklemeye başlama zamanı sıfırdır.

$$YZ_{ij} \leq M * x_{ij} \quad \forall i, j \quad (4.4)$$

$$x_{ij} = 1 \Rightarrow 0 \leq YZ_{ij} \leq M$$

$$x_{ij} = 0 \Rightarrow YZ_{ij} = 0$$

Kısıt 4

Aynı depo kapısına atanan araçların çizelgelenmesi ile ilgili olan kısıtlardır. Eğer iki araç aynı kapıya atandıysa, aynı anda yüklenemez. Biri mutlaka diğerinden daha önce yüklenmelidir. Eğer iki araç aynı kapıya atanmamışsa öncelik değerleri 0'dır.

$$y_{ilj} + y_{lij} \geq x_{ij} + x_{lj} - 1 \quad (4.5a)$$

$$y_{ilj} + y_{lij} \leq (x_{ij} + x_{lj}) * \frac{1}{2} \quad (4.5b)$$

$$i \neq l, \quad i < l, \quad i=1,2,\dots,N-1 \quad l=2,3,\dots,N \quad j=1,2,\dots,K$$

$$y_{ilj} = \begin{cases} 1, & i. \text{ araç } l. \text{ araçtan daha önce } j. \text{ kapıda yüklenirse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$
$$i \neq l, \quad i < l, \quad i=1,2,\dots,N-1 \quad l=2,3,\dots,N \quad j=1,2,\dots,K$$

Kısıtların sağlanması aşağıda gösterilmektedir:

$\underline{x_{ij}}$	$\underline{x_{lj}}$	$\underline{y_{ilj} + y_{lij}}$
0	0	$\geq -1, \leq 0 \Rightarrow 0$
0	1	$\geq 0, \leq 0,5 \Rightarrow 0$
1	0	$\geq 0, \leq 0,5 \Rightarrow 0$
1	1	$\geq 1, \leq 1 \Rightarrow 1$

Kısıt 5

Depodan ayrılma zamanı yüklemeye başlama zamanına yükleme süresinin ilave edilmesiyle bulunur. Eğer i. araç, j. kapıda yüklenmiyorsa bu zaman, sıfırdır.

$$DZ_{ij} = YZ_{ij} + YS_i * x_{ij} \quad (4.6)$$

Kısıt 6

Eğer iki araç aynı kapıya atanmışsa, sırada arkada olanın yüklemeye başlama zamanı, önde olanın depo kapısından ayrılma zamanından büyük eşittir.

$$YZ_{lj} \geq DZ_{ij} + M * (y_{ilj} - 1) + M * (x_{ij} + x_{lj} - 2) \quad (4.7)$$

Bu kısıtın sağlanması aşağıda gösterilmektedir:

$\underline{x_{ij}}$	$\underline{x_{lj}}$	$\underline{y_{ilj}}$	<u>Kısıtlar</u>
1	1	1	$YZ_{lj} \geq DZ_{ij}$
1	1	0	$YZ_{lj} \geq DZ_{ij} - M$ $YZ_{lj} \geq -\infty$ $YZ_{lj} \geq 0$
0	0	0	$YZ_{ij} \geq DZ_{ij} - 3 * M$ $YZ_{ij} \geq -\infty$ $YZ_{ij} \geq 0$
0	1	0	$YZ_{ij} \geq DZ_{ij} - 3 * M$ $YZ_{ij} \geq -\infty$ $YZ_{ij} \geq 0$
1	0	0	$YZ_{ij} \geq DZ_{ij} - 3 * M$ $YZ_{ij} \geq -\infty$ $YZ_{ij} \geq 0$

Kısıt 7

Araç i'nin müşteriye varış zamanı, fabrikadan ayrılma zamanına yol süresi eklenerek bulunur.

$$VZ_i = \sum_{j=1}^K DZ_{ij} + d_i \quad \forall_i \quad (4.8)$$

Kısıt 8, 9, 10, 11, 12, 13

Bu kısıtlar, aracın müşteri deposuna varış zamanının mesai başlangıcından sonra olup olmadığını belirlemek ve araç mesai aralığı dışında ulaşmışsa, aracın bekleme süresini hesaplamak için kullanılan kısıtlardır.

Kısıt 8

Araç i 'nin varış zamanının hangi gün içine düştüğünün belirlenmesi gerekmektedir.

$$(t_i - 1) * 1440 \leq VZ_i \leq t_i * 1440 \quad (4.9)$$

Kısıt 9

Varış zamanının olduğu gün içindeki mesai başlangıç-bitiş zamanlarının hesaplaması yapılır.

$$MB_i = (t_i - 1) * 1440 + M1_i \quad \forall_i \quad (4.10a)$$

$$MS_i = (t_i - 1) * 1440 + M2_i \quad \forall_i \quad (4.10b)$$

Kısıt 10

Varış zamanına göre, izleyen mesai başlangıç zamanına kalan süre hesaplanır.

$$IMF_i = t_i * 1440 + M1_i - VZ_i \quad \forall_i \quad (4.11)$$

Kısıt 11

$|VZ_i - MB_i|$ kontrol edilerek, aracın müşteri deposuna varış zamanının, mesai başlangıcından sonra olup olmadığı belirlenir. Burada mutlak değerli ifadelerin doğrusallaştırılması gerektiğinden, A_i ve B_i olarak iki yeni değişken tanımlanmaktadır ($A_i \geq 0$, $B_i \geq 0$). Buna göre eğer varış zamanı, mesai

başlangıcından önce ise $B_i > 0$, mesaiden sonra ise $A_i > 0$ olur. Ya da iki değişken de 0 değerini aldığı anda mesaiden sapma olmamaktadır.

$$VZ_i - MB_i = A_i - B_i \quad \forall_i \quad (4.12)$$

Kısıt 12

$|VZ_i - MS_i|$ kontrol edilerek, aracın müşteriye varış zamanının, mesai bitiminden sonra olup olmadığı belirlenir. Mutlak değerli ifadelerin doğrusallaştırılması için, C_i ve D_i olarak iki yeni değişken tanımlanmaktadır ($C_i \geq 0, D_i \geq 0$). Buna göre eğer varış zamanı, mesaiden sonra (mesai aşılmışsa) ise $C_i > 0$, mesaiden önce ise $D_i > 0$ olur. Ya da iki değişken de 0 değerini alarak mesaiden sapma gerçekleşmeyecektir.

$$VZ_i - MS_i = C_i - D_i \quad \forall_i \quad (4.13)$$

Kısıt 13

Eğer araç mesaiden sonra müşteri deposuna gelmişse, siparişi teslim etmek için bir sonraki günün mesai başlangıcına kadar beklemek zorundadır. MBS_i , beklenen süredir. Eğer mesai saatleri içinde gelmişse $C_i = 0, B_i = 0, z_i = 0$ olur. Burada z_i 0, 1 değerlerini alabilen yardımcı bir karar değişkenidir. C_i 'nin pozitif olup olmama durumuna göre z_i değer alacaktır (mesai aşılmışsa 1, aşılmadıysa 0 değerini alabilmektedir). Eğer C_i sıfırdan büyük bir değer alırsa, z_i otomatik olarak 1 değerini alacaktır. Eğer C_i sıfır değerini alırsa, z_i sıfır olacaktır. Mesai bekleme süresi de bu değişkenlerin aldığı değerlere göre kısıtta sağlanacaktır.

$$z_i \leq C_i \leq z_i * M \quad \forall_i \quad (4.14a)$$

$$MBS_i \geq B_i \quad \forall_i \quad (4.14b)$$

$$MBS_i \geq IMF_i - M * (1 - z_i) \quad \forall_i \quad (4.14c)$$

Kısıt 14

Araç i'nin gerçek teslim zamanı, varış zamanına mesai bekleme süresinin eklenmesiyle bulunur.

$$GTZ_i = VZ_i + MBS_i \quad \forall_i \quad (4.15)$$

Kısıt 15

$|GTZ_i - BTZ_i|$ kontrol edilerek, araç i'nin gerçek teslim zamanı ile beklenen teslim zamanı arasındaki fark hesaplanmaktadır. Mutlak değerli ifadenin doğrusallaştırılması için, E_i ve L_i olarak iki değişken tanımlanmaktadır. Buna göre eğer gerçekleşen teslim zamanı beklenen teslim zamanından sonra olursa yani geç teslimde $L_i > 0$, erken teslimde $E_i > 0$ 'dır. Ya da iki değişken de 0 değerini alarak gerçekleşen ve beklenen teslim zamanları arasında sapma gerçekleşmeyecektir.

$$GTZ_i - BTZ_i = L_i - E_i \quad \forall_i \quad (4.16)$$

İşaret kısıtları

Değişkenlerin alabileceği değerlerle ilgili kısıtlardır.

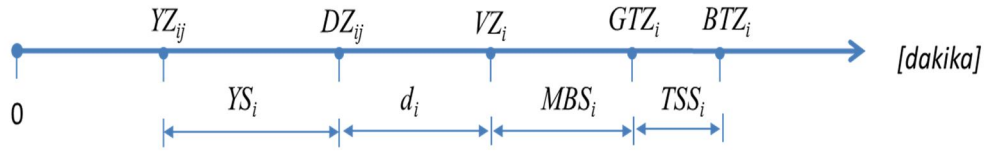
$$x_{ij} \in \{0,1\}, y_{ilj} \in \{0,1\}, z_i \in \{0,1\}$$

$$YZ_i, DZ_i, E_i, L_i, MT_i, t_i, IMF_i, MB_i, MS_i \geq 0$$

$$MVZ_i, MB_i, MS_i, GTZ_i, BTZ_i, A, B, C, D \geq 0$$

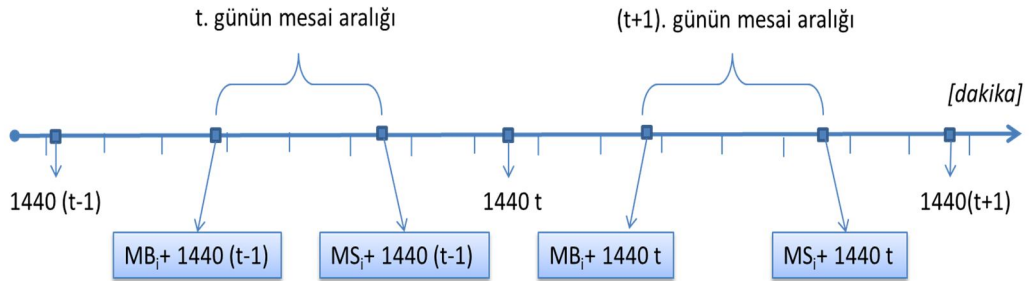
4.3. Problemin Zaman Ekseninde Açıklanması

Problem zaman eksenini yardımıyla aşağıda daha detaylı açıklanmaya çalışılmıştır.



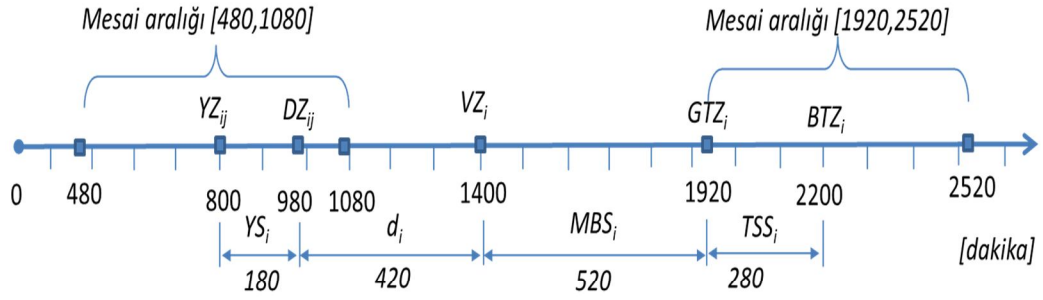
Şekil 4.1. Zaman ekseninde terimlerin gösterimi

Şekil 4. 1’de yükleme zamanına (YZ) yükleme süresinin (YS) ilavesiyle depodan ayrılma zamanının (DZ) bulunduğu gösterilmektedir. Depodan ayrılma zamanına yol süresi (d) eklendiğinde de müşteriye varış zamanı (VZ) elde edilmektedir. Ancak sevkiyat aracı müşterinin mesai çalışma saatlerini (MBS) yakalayamaması durumunda, ertesi gün mesai başlangıç zamanını beklemektedir. Bu durumda aracın gerçek teslim zamanı (GTZ) müşterinin çalışma saatlerine göre güncellenmektedir. Müşterinin beklediği teslim zamanı (BTZ) ile gerçekleşen teslim zamanı (GTZ) arasındaki fark teslim süresinden sapmayı (TSS) vermektedir.



Şekil 4.2. Zaman ekseninde gün ve mesai aralığının gösterimi

Şekil 4. 2 incelendiğinde t. gün içinde bulunan müşterinin mesai başlangıç ve mesai bitiş zamanlarının hesaplanması gösterilmektedir. $t=1$ alındığında 0 ile 1440 aralığının bir günü, $(t+1)$. gün için mesai aralığınınsa zaman ekseninde yer alan biçimiyle gösterilmektedir.

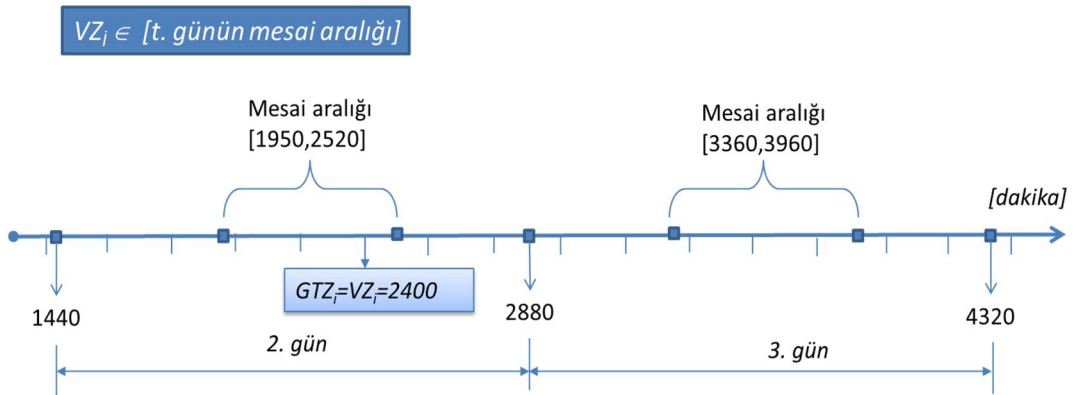


$YZ_{ij} = 800$
 $YS_i = 180 \text{ dak.}$
 $d_i = 420 \text{ dak.}$
 $BTZ_i = 2200$
 $\text{Mesai aralığı} = 08^{00} - 18^{00}$

Şekil 4.3. Zaman ekseninde sayısal bir örnek

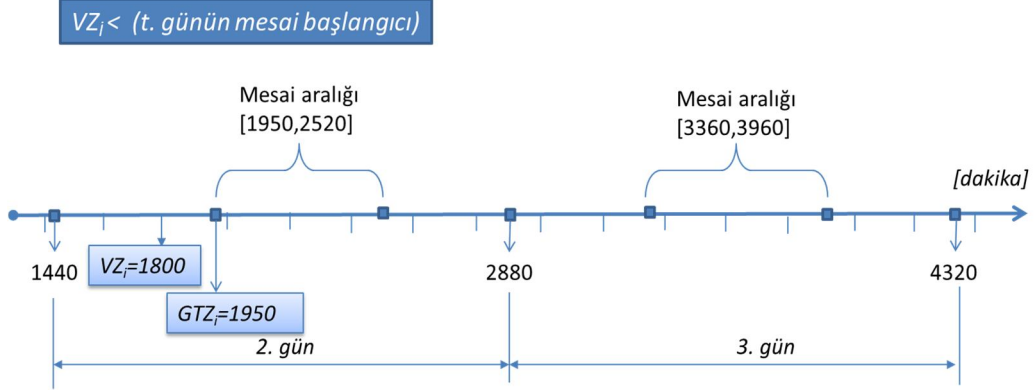
Şekil 4. 3 incelendiğinde 08: 00-18: 00 mesai aralığında çalışan müşteri için verilen değerlere göre araç müşteriye 1400. dakikada ulaşmıştır. Ancak mesai aralığını (480-1080) aştığından ertesi gün mesai başlangıcına kadar 520 dak. beklemektedir. Bu durumda gerçekleşen teslim zamanı 1920 iken müşterinin beklediği teslim zamanı 2200'dür. 280 dakika teslim süresinden sapmayı vermektedir. Buradan sevkiyat aracının müşteriye erken ulaştığı görülmektedir.

Aşağıda varış zamanının mesai aralığında ve mesai aralığı dışında olma durumlarına göre üç örnek şekillerde anlatılmaktadır:



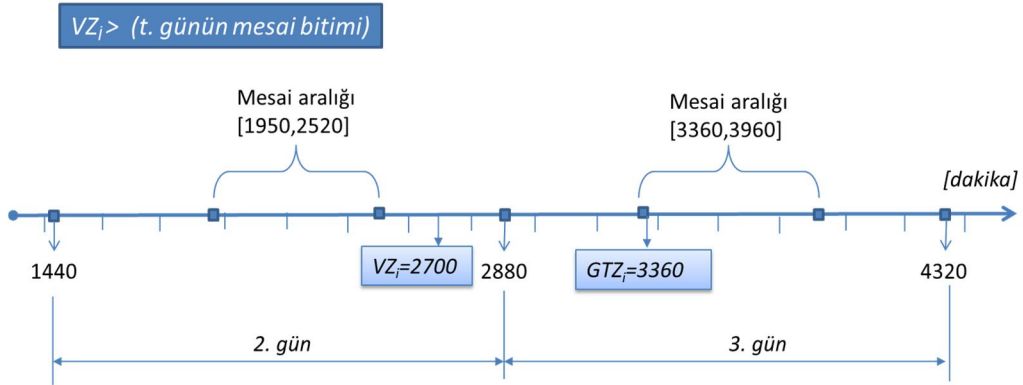
Şekil 4.4. Varış zamanı t. günün mesai aralığında olma durumu

Şekil 4. 4 varış zamanı t. gün mesai aralığında olma durumu için zaman ekseninde gösterilmektedir. Varış zamanı 2400 değeri mesai aralığında (1950-2520) yer aldığı için gerçek teslim zamanıyla aynı olmaktadır.



Şekil 4.5. Varış zamanının t. günün mesai başlangıcından önce olma durumu

Şekil 4. 5'te varış zamanı mesai başlangıcından önce olması durumu için bir örnek sunulmaktadır. Araç 1800. dakikada müşteriye ulaşmaktadır ancak müşterinin mesai aralığı (1950-2520) olduğundan ertesi gün mesai başlangıcına kadar beklemektedir. Gerçekleşen teslim zamanı 1950 olarak güncellenmektedir.



Şekil 4.6. Varış zamanının t. gün mesai bitiminden sonra olma durumu

Şekil 4. 6 incelendiğinde varış zamanı mesai bitimini aşmaktadır. Araç 2700. dakikada müşteriye ulaşmaktadır ancak mesai aralığı (1950-2520) olduğundan sevkiyat aracı ertesi gün mesai başlangıcını beklemek zorundadır. Bu durumda gerçekleşen teslim zamanı 3360 olarak güncellenmektedir.

4.4. Matematiksel Modelin Gösterilmesi

Problem için geliştirilen matematiksel modelin tamamı aşağıdadır:

$$Enküçük Z = \sum_{i=1}^N ((L_i * C1) + (E_i * C2) + (MBS_i * C3)) * P_i \quad (4.1)$$

$$\sum_{j=1}^K x_{ij} = 1 \quad \forall_i = 1, 2, \dots, N \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \geq 1 \quad \forall_j = 1, 2, \dots, K \quad (4.3)$$

$$YZ_{ij} \leq M * x_{ij} \quad \forall_{i,j} \quad (4.4)$$

$$y_{ilj} + y_{lij} \geq x_{ij} + x_{lj} - 1$$

$$y_{ilj} + y_{lij} \leq (x_{ij} + x_{lj}) * \frac{1}{2} \quad i \neq l, i < l, \quad i=1, 2, \dots, N-1 \quad l=2, 3, \dots, N \quad j=1, 2, \dots, M \quad (4.5)$$

$$DZ_{ij} = YZ_{ij} + YS_i * x_{ij} \quad (4.6)$$

$$YZ_{lj} \geq DZ_{ij} + M * (y_{ilj} - 1) + M * (x_{ij} + x_{lj} - 2) \quad (4.7)$$

$$VZ_i = \sum_{j=1}^K DZ_{ij} + d_i \quad \forall_i \quad (4.8)$$

$$(t_i - 1) * 1440 \leq VZ_i \leq t_i * 1440 \quad (4.9)$$

$$MB_i = (t_i - 1) * 1440 + M1_i \quad \forall_i$$

$$MS_i = (t_i - 1) * 1440 + M2_i \quad \forall_i \quad (4.10)$$

$$IMF_i = t_i * 1440 + M1_i - VZ_i \quad \forall_i \quad (4.11)$$

$$VZ_i - MB_i = A_i - B_i \quad \forall_i \quad (4.12)$$

$$VZ_i - MS_i = C_i - D_i \quad \forall_i \quad (4.13)$$

$$z_i \leq C_i \leq z_i * M \quad \forall_i$$

$$MBS_i \geq B_i \quad \forall_i$$

$$MBS_i \geq IMF_i - M * (1 - z_i) \quad \forall_i \quad (4.14)$$

$$GTZ_i = VZ_i + MBS_i \quad \forall_i \quad (4.15)$$

$$GTZ_i - BTZ_i = L_i - E_i \quad \forall_i \quad (4.16)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, y_{ilj} \in \{0,1\}, z_i \in \{0,1\}$$

$$YZ_i, DZ_i, E_i, L_i, MT_i, t_i, IMF_i, MB_i, MS_i \geq 0$$

$$MVZ_i, MB_i, MS_i, GTZ_i, BTZ_i, A, B, C, D \geq 0$$

(4.17)

4.5. Matematiksel Modelden Elde Edilen Çözümler

Hazırlanan matematiksel modelde büyük boyutlu problemlerin çözümü için makul sürede çözüm sağlanamamaktadır. Küçük örnekler için matematiksel model çalıştırılabilmektedir. Örnek büyüklüğü arttıkça çözümün makul sürede sağlanamaması problemin güçlüğüne göstermektedir. Bu durum meta-sezgisel bir yöntemle çözüm arama ihtiyacını doğurmaktadır. Yapılan çalışmalar Intel (R) Core (TM) i7-2640M CPU @2.80 GHz işlemci ve 4 GB Ram' e sahip bilgisayar ile Lingo matematiksel programı kullanılarak yapılmıştır. Buna göre değişik büyüklükteki örnekler için programdan çıkan sonuçlar tabloda sunulmaktadır. Çizelge 4. 6 incelendiğinde araç ve kapı sayısı arasındaki fark arttıkça CPU süreleri hızla artan bir seyir izlemektedir.

Çizelge 4.1. Değişen problem büyüklüğü ile sağlanan değerler

	Değişken	Kısıt	% Gap	CPU
3A_2K	275	561	0	0.01
5A_2K	275	561	0	0.07
10A_2K	1450	4081	0	6300
10A_5K	1450	4081	0	0.07
15A_5K	4900	16141	16,3	72000
20A_10K	4900	16121	13,3	46800

20 araç 10 kapı için çözülen problem 13 saat çalıştırılarak kestirilmiştir. Buna göre çıkan sonuç incelendiğinde en iyiye yakınlık değeri (Gap) %13. 3'tür. Programın en iyi sonucu bulması günler sürmüştür.

Daha büyük örnekler için çözüm yönteminin iyi performans göstermediği anlaşılmaktadır. Bu nedenle literatürde yapılan çalışmalarda atama problemlerinde sık sık sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemler sayesinde büyük boyutlu problemler optimum sonuç veren yöntemlere kıyasla çok daha makul sürelerde çözülebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada da problemin çözümü için kurulan modelin çok fazla karar değişkeni ve kontrol edilmesi gereken kısıtları barındırması nedeniyle sezgisel yöntemlere başvurulması gerekli görülmüştür. Problemin çözüm yöntemi için literatürde sıkça kullanılan ve iyi sonuç verdiği bilinen Genetik Algoritmalar meta-sezgisel yönteminin kullanılması uygun bulunmuştur.

5. GENETİK ALGORİTMAYA DAYANAN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

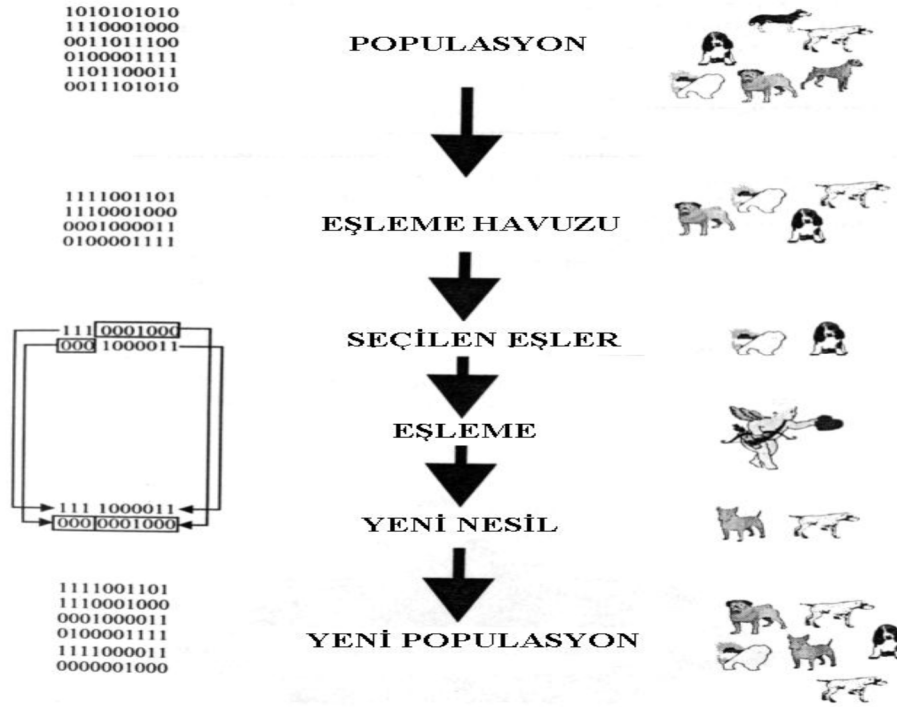
Genetik algoritmalar (GA), karmaşık düzenli problemlerin çözümünü gerçekleştirmek amacıyla, kromozomların yeni diziler üretme esasını temel alan sezgisel bir araştırma yöntemidir (Lee ve Kim, 1995). Genetik algoritmaları diğer araştırma yöntemlerinden ayıran özellik bir çözüm setiyle başladıktan sonra, geliştirme için biyolojik evrimi esas alan bir sürecin kullanılmasıdır. Bu süreç sonunda en iyi kromozoma ulaşmak esas olmaktadır. En iyinin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk fonksiyonu ve yeniden üretme, çaprazlama, mutasyon gibi operatörler kullanılır.

5.1. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritma yöntemi, evrim teorisi esaslarına göre çalışarak verilen bir sorun için en iyi çözüm veya çözümleri arayarak bulmaya yaramaktadır. Bu esaslar ortama en fazla uyum sağlayan canlıların hayata devam etmesi ve uyum sağlamayanların da elenmesi olarak algılanmalıdır. Genetik algoritmalar bu iki kuralı bir arada kullanarak en iyiyi aramayı hedef edinen bir en iyileme yöntemidir. Genetik algoritmaların temeli doğal seleksiyon ve genetik bilimine dayanmaktadır. Bu algoritmalarda, belirlenen bir problemin potansiyel çözümleri, ikili ya da ikili olmayan sistemlere dayalı veri yapısında basit diziler olarak şifrelenmekte ve kritik bilgileri saklamak için bu dizilere bir takım işlemler uygulanmaktadır (Goldberg, 1989).

Genetik algoritmalar, biyolojik süreci modelleyerek fonksiyonları optimize eden evrim algoritmalarıdır. Gen, temel kalıtım birimidir. GA parametreleri, biyolojideki genleri temsil ederken, parametrelerin toplu kümesi de kromozomu oluşturmaktadır. GA' ların her bir ferdi kromozomlar (bireyler) şeklinde temsil edilen popülasyonlardan oluşur. Popülasyonun uygunluğu, belirli kurallar dâhilinde en büyüklenir veya en küçüklenir. Her yeni nesil, rasgele bilgi değişimi ile oluşturulan diziler içinde hayatta kalanların birleştirilmesi ile elde edilmektedir (Angelina, 1995) .

Biyolojik evrim ile ikili kodlarla çalışan GA arasındaki benzerlik Şekil 5.1’de görülmektedir. Her ikisinde de popülasyonun üyeleri rasgele başlar. Köpeklerin her birinin karakteristik özellikleri, sol taraftaki satırlarda verilmiştir.



Şekil 5.1. İkili kodlu GA ile biyolojik evrim ilişkisi (Haupt ve Haupt, 1998)

En iyi havlayan köpekler üretilmek istenirse sadece birkaç köpeğin elde tutulması gerekir. Her bir köpek ikili sayı sistemiyle kodlanır. Yeni yavruların üretilmesi için bu popülasyonda rasgele iki adet köpek seçilir ve eşleştirilir. Eşleştirmenin sonucunda iyi havlayan köpeğin çıkma olasılığı yüksektir. Oluşan yeni nesil, eşleştirme havuzuna tekrar atılır. Başa dönülerek yeniden eşleştirme süreci tekrarlanır (Golberg, 1993). Bu işleme, en iyi havlayan köpek elde edilene kadar devam edilir.

GA' ların avantajları şöyle sıralanabilir:

- ❖ Sürekli ve ayrık parametreleri eniyilemesi
- ❖ Türevsel bilgiler gerektirmemesi
- ❖ Amaç fonksiyonunu geniş bir spektrumda araştırması

- ❖ Çok sayıda parametrelerle çalışma imkânı olması
- ❖ Paralel PC' ler kullanılarak çalıştırılabilmesi
- ❖ Karmaşık amaç fonksiyonu parametrelerini, en küçük veya en büyüklere takılmadan iyileştirebilmesi
- ❖ Sadece tek çözüm değil, birden fazla parametrenin en iyi çözümlerinin elde edebilmesi olarak sıralanabilir.

GA' lar arama ve eniyileme için geliştirilmiş bir sezgisel yöntemdir. Geniş arama algoritmalarının aksine, genetik algoritmalar en iyiyi seçmek için tüm farklı durumları üretmez. Bundan dolayı, mükemmel çözüme ulaşamayabilir. Fakat zaman kısıtlamalarını hesaba katan en yakın çözümlerden biridir. GA' lar şartlara uyum sağlayabilir. Bunun anlamı, önceden hiç bilgisi olmamasına karşın, olayları ve bilgiyi öğrenme ve toplama yeteneğine sahip olmasıdır.

Analitik veya sayısal olmayan yöntemlerle her sorunun çözümünü bulmak veya çözüme yaklaşmak mümkün değildir. Çünkü böyle çözümler için sorunun matematiksel ifadesinin belirlenmesi gereklidir. Halbuki her sorun matematiksel fonksiyonlarla ifade edilmeyebilir. İşte bu durumlarda sayısal algoritmaların geliştirilmesi yönüne gidilmiştir (Şen, 2004).

Her problemin çözümü için GA kullanmak iyi bir yol değildir. Birkaç parametrelili analitik fonksiyonun çözümünde klasik metotlar daha hızlıdır. Böyle durumlarda, nümerik metotlar tercih edilmelidir. Paralel bilgisayarlar kullanılırsa GA daha hızlı sonuç verebilir.

Genetik algoritmalar metodu, uzun çalışmaların neticesinde ilk defa Holland (1975) tarafından uygulanmaya başlanmıştır. En son onun öğrencisi olan David Goldberg tezinde gaz boru hattının kontrolünü içeren bir problemin çözümünü GA ile gerçekleştirmiştir (Goldberg, 1989). Böylece GA' ın teorik olmaktan öte piyasalarda uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg'in bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır.

5.1.1. Genetik algoritmaların çalışma ilkesi ve operatörleri

Genetik algoritmaların amacı evrimsel süreci taklit ederek problemlere çözüm üretebilmek olduğu için genetik algoritmalarındaki birçok kavram genetik

bilimindeki karşılıklarıyla benzerlik göstermektedir. Genetik algoritma ile ilgili belli başlı kavramlar aşağıda gösterilmiştir:

Gen: Kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak tanımlanır.

Birey (Kromozom): Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye denir ve alternatif çözümlerini gösterir.

Dizi (String): Kromozomlar yapay sistemlerde dizi olarak gösterilmektedir. Bu kromozomlar aynı zamanda bireyin kalıtsal özelliklerinin bilgilerini şifrelenmiş bir şekilde taşıdığı için bireyin *genotipi* olarak adlandırılmaktadır.

Fenotip: Doğal yaşamda genotipi oluşturan şifrelenmiş bilgilerin göz rengi, ten rengi gibi özelliklere dönüşmesiyle oluşan genetik yapıya denir. Yapay sistemlerde fenotip, parametre kümeleri olarak gösterilmektedir. Dolayısıyla genotip yapısı deşifrelendiğinde fenotipi oluşturacaktır (Michalewicz, 1994; Goldberg, 1989).

Alel: Genlerin taşıdıkları değere alel ve her alelin bilgisin tutulduğu yere *konum* adı verilmektedir.

Lokus: Her gen, organizmanın belirli bir özelliğini kodlar ve kromozom yapısı içerisinde genin pozisyonu veya lokus, genin hangi karakteristiği temsil ettiğini belirler. Çizelge 5. 1.'de genetik algoritma terimlerine karşılık gelen eniyileme terimleri gösterilmektedir (Gen & Cheng, 1997)

Topluluk (Popülasyon): Topluluk genetik biliminde de genetik algoritmalarda da bireylerden(kromozom) oluşan kümeye verilen addır. Genetik algoritmalarda bir sonraki nesle geçiş amacıyla yeni bir topluluk oluşturabilmek için mevcut topluluktaki bireyler çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörlere tabi tutulurlar.

Çizelge 5.1. Genetik algoritma terimlerin açıklaması (Gen ve Cheng, 1997)

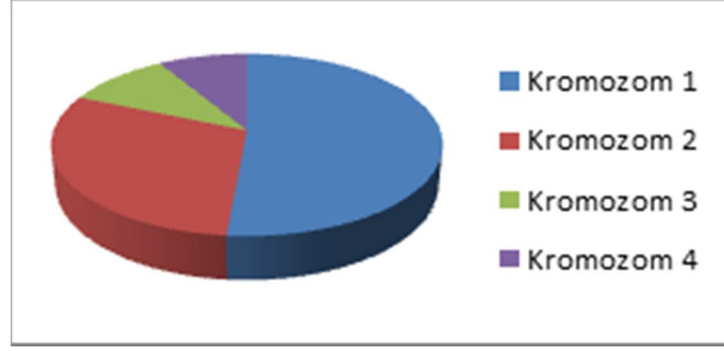
Genetik Algoritma	Açıklama
Kromozom	Çözüm(kodlama)
Genler	Çözümün bir kısmı
Lokus	Genin pozisyonu
Alleller	Genin değeri
Fenotip	Çözümün deşifre edilmesi
Genotip	Çözümün şifrelenmesi

Kodlama: Kromozomların kodlanması genetik algoritmalar ile problem çözmenin ilk aşaması olup problem değişkenlerinin GA’ da gösterilmesidir. Kodlama yaklaşımı problem türüne göre farklılık gösterir. GA’ lar için ikili kodlama, permütasyon kodlama, değer kodlama, tam sayı kodlama, reel sayı kodlama, vektör kodlama ve ağaç kodlama kullanılan kodlama yöntemlerine örnek olarak gösterilebilir.

Uygunluk (Fitness): Genetik biliminde bireyin çevre şartlarına ne kadar dayanıklı olduğunu belirten uygunluk değeri genetik algoritmalarda ise çözümün kalitesini belirler ve uygunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu problemin türüne göre belirlenmelidir.

Doğal Seçim (Kopyalama): Başlangıç popülasyonu fazla ise bazı iteratif adımların uygulanması gerekir. Kromozom olarak en uygun olan hayatta kalmalı diğerleri de yok olmalıdır. Doğal seçim, algoritmanın her bir iterasyonunda meydana gelir. Burada ne kadar kromozomun elde tutulacağına karar vermek biraz keyfidir. GA’ da değişik seçim metotları vardır (Çunkaş M. , 2008). Rulet tekerleği seçim, turnuva seçimi, rasgele seçim, ağırlıklı seçim, ağırlıklı rasgele seçim, eşik değer seçim gibi çeşitleri vardır. Bunlardan en yaygın kullanılanları rulet tekerleği seçimi, turnuva seçim ve rank seçimi yöntemleridir.

Rulet tekerleği seçimi bireylerin uygunluk fonksiyonlarının çark üzerinde kapladığı alanla ilişkilidir. Bu yöntemde öncelikle kromozomların toplam uygunluk değerleri hesaplanır. Kromozomlar toplam uygunluk değerine bölünerek, her bir kromozom için 0-1 arasında değişen seçim ihtimalleri bulunur. Ardından kümülatif olasılıkları hesaplanır. Popülasyon sayısı kadar rasgele 0-1 arasında sayılar üretilir.



Şekil 5.2. Kromozomların uygunluk değerlerine göre rulet tekerinde gösterimi

Üretilen rasgele sayı, birinci kromozomun kümülatif seçim ihtimalinden küçükse, birinci kromozom seçilir. Eğer değilse, ikinci kromozomun veya diğerlerinin kümülatif olasılıklarıyla karşılaştırılarak hangisinden küçükse o kromozom seçilir. Kromozomların uygunluk değerleri ne kadar iyiye seçilme şansı o kadar fazla olmaktadır. Rulet tekeri seçim operatörü doğasından ötürü uygunluk fonksiyonunu en büyükmektir. Şekil 5. 2.'de rulet tekerleğinde uygunluk değerlerinin kapladığı alan görülmektedir.

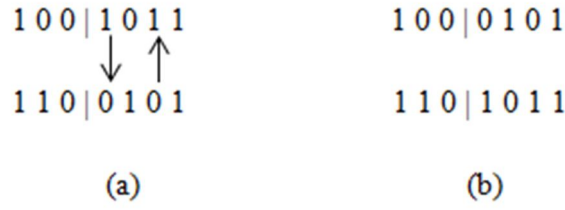
Turnuva seçim yönteminde, bir grup birey rasgele seçilerek turnuvaya katılır ve en iyi uygunluklu birey seçilir. Çaprazlama için iki turnuva tutulur. Bunlardan biri her bir ebeveyni seçmek içindir. Bir kereden daha fazla üretmek için seçilebilecek bir ebeveyn mümkündür. Turnuva seçiminin avantajı, popülasyonun daha kötü bireylerinin seçilmeyecek olması ve bundan dolayı sonraki neslin genetik yapısına katılmayacak olmasıdır. Ayrıca en iyi bireyler tekrar üretim sürecinde baskın olmayacaktır (Çunkaş M. , 2008).

Rank seçim yönteminde popülasyonu oluşturan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Uygun değerleri amaç fonksiyonuna göre sıralanmaktadır. Sıralanan uygunluk değerlerinden en kötü olana 1, en iyi olana ise N (popülasyondaki birey sayısı) seçilme değeri verilmektedir. Seçilme yüzdeleri hesaplanırken 1'den N'ye kadar olan tüm değerler toplanır ve her bir bireyin sahip olduğu değer, bu toplam değere bölünerek seçilme şansı yüzdelerine ulaşılır. Ardından rassal sayılar yardımıyla yeni nesile eklenecek bireyler seçilecektir (Deb, 2001; Obitko, 1998).

Çaprazlama: İki adet yeni nesil elde etmek için kromozomların bulunduğu eşleme havuzundan iki adet kromozom seçilir. Eşleme sürecinde, seçilen kromozomlardan bir ve birden fazla yeni nesil oluşturma olayına “çaprazlama” denir. En yaygın olarak kullanılan iki kromozomdan iki tane yeni nesil elde edilmesidir. Öncelikle kromozomun ilk biti ile son biti arasında çaprazlama noktası rasgele seçilir. Birinci kromozomun çaprazlama noktasının solundaki bitlerin hepsi ikinci kromozoma geçerken, benzer tarzda ikinci kromozomun çaprazlama noktasının solundaki bitler de birinci kromozoma geçerler. Sonuçta meydana gelen yeni kromozomlar, her iki kromozomun karakterlerini içermektedirler (Çunkaş, 2008). Popülasyonda ne oranda bir çaprazlamaya izin verildiği çaprazlama oranıyla gösterilir. Popülasyondaki birey sayısı ile bu oranın çarpılması sonucunda çaprazlama yapacak kromozom sayısı elde edilmektedir. Çaprazlama oranı genelde yüksek seçilmektedir. Böylelikle değişik bireylerin oluşması ve uygunluklarının değerlendirilmesi hızlanabilecektir.

Çaprazlanacak kromozom sayısı belirlendikten sonra, bu sayı kadar popülasyon içinden rasgele kromozomlar seçilmektedir. Daha sonra belirlenen çaprazlama yöntemi kullanılarak işleme devam edilmektedir (Tabak, 2008).

Çaprazlama yöntemlerinden ilki tek kesimli çaprazlamadır. Bu yöntem ile tek bir noktadan çaprazlama gerçekleştirilir. Bu nokta rassal seçilmektedir ve konumu hangi geni gösteriyorsa o genden itibaren iki birey arasında genler yer değiştirmektedir. Seçilecek nokta kromozomun uzunluğu k_k olması durumunda, 1 ile k_k-1 arasında bir sayı olmalıdır. Kesim noktası mm olan bir çaprazlamada $mm+1$ 'den k_k 'ya, k_k . gen de dahil olmak üzere genler yer değiştirecektir. Kromozomun uzunluğu $k_k=7$ olan iki adet bireyin oluşturduğu rasgele üretimin sonucunda bir $mm=3$ çaprazlama noktası değeri belirlenmiştir ve çaprazlama noktası ‘|’ ile gösterilen bir çaprazlama Şekil 5. 3.’teki gerçekleştirilmektedir (Tabak, 2008).



Şekil 5.3. Tek kesimli çaprazlama (a) ç. öncesi, (b) ç. sonrası (Tabak, 2008)

Çift kesimli çaprazlamada, iki adet kesim noktası bulunmaktadır. Gerçekleşme mantığı tek kesimli çaprazlama ile benzerlik göstermektedir. Tek farkı yer değiştirecek olan genlerin bu iki konum arasında kalan bölüm olmasıdır. Şekil 5. 4'teki bireylere, kesim noktaları $mm_1=2$ ve $mm_2=5$ olan çift kesimli çaprazlama uygulaması Şekil 5. 4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Çift kesimli çaprazlama (a) ç. öncesi, (b) ç. Sonrası (Tabak, 2008)

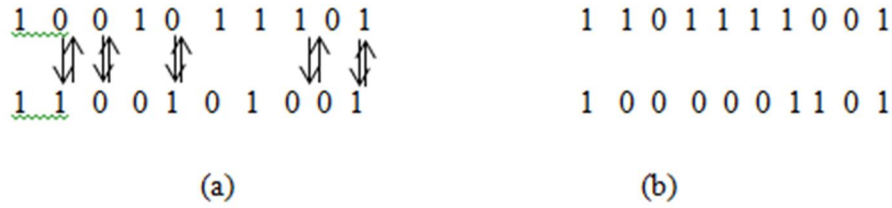
Şekil 5. 4'te görüldüğü gibi bireyler üç parçaya bölünmüş ve ortadaki parça üzerindeki genler diğer bireyin genleri ile yer değiştirerek iki adet yeni birey oluşturmuşlardır.

Çok kesimli çaprazlamada nn kadar kesim noktası bulunmaktadır. Bu sayı problemin gelişine veya karar vericiye göre değişebilir. Şekil 5. 5'teki bireylere, kesim noktaları $mm_1=2$, $mm_2=3$ ve $mm_3=5$ olan ve $nn=3$ kesimli çaprazlama uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Çok kesimli çaprazlama (a) ç. öncesi, (b) ç. sonrası (Tabak, 2008)

Şekil 5. 5.'te görüldüğü gibi bireyler $nn+1$ adet parçaya bölünmüş ve bölünen parçalardan, istenilen parçalar bireyler arasında yer değiştirmiştir. Yer değiştirmelerin sırayla yapılması için bir koşul bulunmamaktadır. Tekdüze çaprazlama, rasgele hanelerin iki dizi arasında yer değiştirmesi ile gerçekleşmektedir. Bu rasgelelik belirlenmeden önce kromozom içinde çaprazlanacak gen sayısının olasılığı belirlenir. Kromozom uzunluğu $k_k=10$ olan bir birey için bu olasılık değeri $ps=0,5$ olarak seçildiği takdirde, $ps \cdot k_k$ işleminin sonucunda 5 adet genin yer değiştireceği belirlenmiş olmaktadır. Daha sonra bu 5 adet gen, kromozom içerisinde rastgele olarak seçilmektedir (Şekil 5. 6.).



Şekil 5.6. Tekdüze çaprazlama (a) çaprazlama (b) ç. Sonrası (Tabak, 2008)

Şekil 5. 6.'da ikinci, üçüncü, beşinci, sekizinci ve onuncu olmak üzere $ps \cdot k_k=5$ adet gen ile çaprazlama gerçekleştirilmiştir (Tabak, 2008).

Tek kesimli çaprazlama en güçlü çaprazlama yöntemidir. Bunun nedeni eski nesildeki bireyin bir kısmının tamamen yeni nesildeki bireye kopyalanmasıdır. Böylelikle iki adet iyi bireyin birleşmesinden daha iyi bir birey meydana gelebilmektedir. Bu konuda en zayıf yöntem ise tekdüze çaprazlamadır (Deb, 2001).

Mutasyon: Genetik algoritmalarda çeşitliliği sağlamak amacıyla bireyin bir sonraki nesle geçirilmesi sırasında kromozomu oluşturan karakter dizisinde yapılan rastgele değişikliğe verilen addır. Mutasyon algoritmanın yerel en iyi noktalara takılmasını önleyerek bir başka en iyi çözüme sıçrayabilmeyi sağlar.

Genetik algoritmalar bazen çok hızlı yakınsarlar. Yakınsama sonucunda global en büyük değer bulunursa sonuç iyi, yerel en küçük değerler bulunursa beklenen sonuç elde edilmemiş demektir. Hızlı yakınsamadan kurtulmanın yolu, araştırma uzayında, mutasyon aracılığıyla yeni çözümler elde etmektir. İkili kodlu genetik algoritmada da mutasyon oranı %1-%5 arasında değiştirilirse iyi sonuçlar elde edilir (Çunkaş ve Akkaya, 2002). Gerçek kodlu GA' da mutasyon oranı ise

daha yüksektir. Parametrelerin toplam sayısı ile mutasyon oranı çarpılarak mutasyona girecek parametre sayısı tespit edilir. Örneğin mutasyon değeri $P_m=0.04$ olarak alınırsa, mutasyona uğrayacak parametre sayısı $0.04*24*2=2$ olarak hesaplanır. Örneğin [4.1208, 2.7271] kromozomunda, kromozomun 1. parametresi mutasyona uğrarsa, kromozomun 1. parametresi silinir ve yerine 0-10 arasında yeni rasgele bir sayı üretilerek konur (Haupt ve Haupt, 1998).

$Kromozom_7=[4.1208, 2.7271] \implies Kromozom_7=[8.6750, 2.7271]$

Başlıca mutasyon çeşitleri ikili mutasyon, kaydırma mutasyonu, ters mutasyon ve bitişik mutasyon şeklinde belirlenebilir.

Elitizm: Çaprazlama ve mutasyon yöntemleriyle yeni nesil oluşturulurken en iyi kromozomları kaybetme olasılığımız vardır. Bunu önlemek için bu işlemlerden sonra, bir önceki topluluğun en iyi (elit) bir veya daha çok bireyi, yeni oluşturulan topluluğa doğrudan aktarılır. Seçkinlik GA' nın başarımını hızlı bir şekilde arttırabilir, çünkü bulunan en iyi çözümün kaybolmasını önler. Seçkincilik ya da elitizm adı verilen bu yaklaşım genetik algoritmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

5.1.2. Genetik algoritmalarda parametre seçimi

Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli etmenlerden biri kontrol parametrelerinin belirlenmesidir. Kontrol parametrelerinin seçimi problem tiplerine göre çeşitlilik göstermektedir. Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, kuşak farkı, seçim stratejisi, uygunluk fonksiyonun ölçeklenmesi gibi parametreler GA' ların temel parametreleridir.

5.1.2.1. Popülasyon büyüklüğü

Genetik algoritmalarda her nesil için yeni bir topluluk oluşturulur. Oluşturulan toplulukta kaç adet birey bulunacağını belirleyen parametre popülasyon büyüklüğüdür. Topluluk büyüklüğü problemin türü ve kapsamı göz önünde bulundurularak dikkatlice belirlenmelidir. Topluluk büyüklüğünün düşük tutulması çözümün yeterince yakınsayamamasına, çok yüksek tutulması ise uygulamanın yavaş çalışmasına neden olur. Zaten genetik algoritmalar üzerinde

yapılan deneysel çalışmalar da belirli bir noktadan sonra topluluk büyüklüğünü artırmanın bir yararı olmadığını ortaya koymaktadır.

5.1.2.2. Mutasyon oranı

Yeni nesil oluşturulurken mutasyon işleminin hangi sıklıkta yapılacağını belirleyen olasılıktır. Bu olasılık doğrultusunda seçilen bireyler mutasyona tabi tutulur ya da doğrudan bir sonraki nesle aktarılır. Eğer mutasyon yoksa yavrular çaprazlamadan hemen sonra değiştirilmeden üretilir (veya doğrudan kopyalanır). Yüksek mutasyon oranı çözüm adaylarında aşırı rastgeleliğe yol açacağından en iyi çözümden uzaklaşmamıza neden olur (Kalaycı, 2006). Çok düşük mutasyon oranı ise topluluk içerisinde yer alan çözüm adaylarının çeşitliliğini azaltacağından çözüme ulaşmayı güçleştirir.

5.1.2.3. Çaprazlama oranı

Çaprazlama oranı, bir popülasyonda ne kadar kromozomun çaprazlamaya tabi tutulacağını belirler. Bu oran doğrultusunda seçilen bireyler çaprazlanır ya da doğrudan bir sonraki nesle aktarılır. Eğer herhangi bir çaprazlama yoksa yavrular ataların aynısı olacaktır (Kalaycı, 2006). Çaprazlama oranının düşük olması yeni neslin mevcut nesilden yeterince farklılaşamamasına dolayısıyla da kuşak farkının azalmasına neden olur. Bu da çözüme daha uzun sürede ulaşılmasına yol açar.

5.2. Genetik Algoritmaya Dayanan Çözüm Yaklaşımı

Genetik algoritmalara dayanan çözüm yaklaşımında aşağıdaki adımlar izlenerek en iyiye yakın sonuç bulunmaktadır:

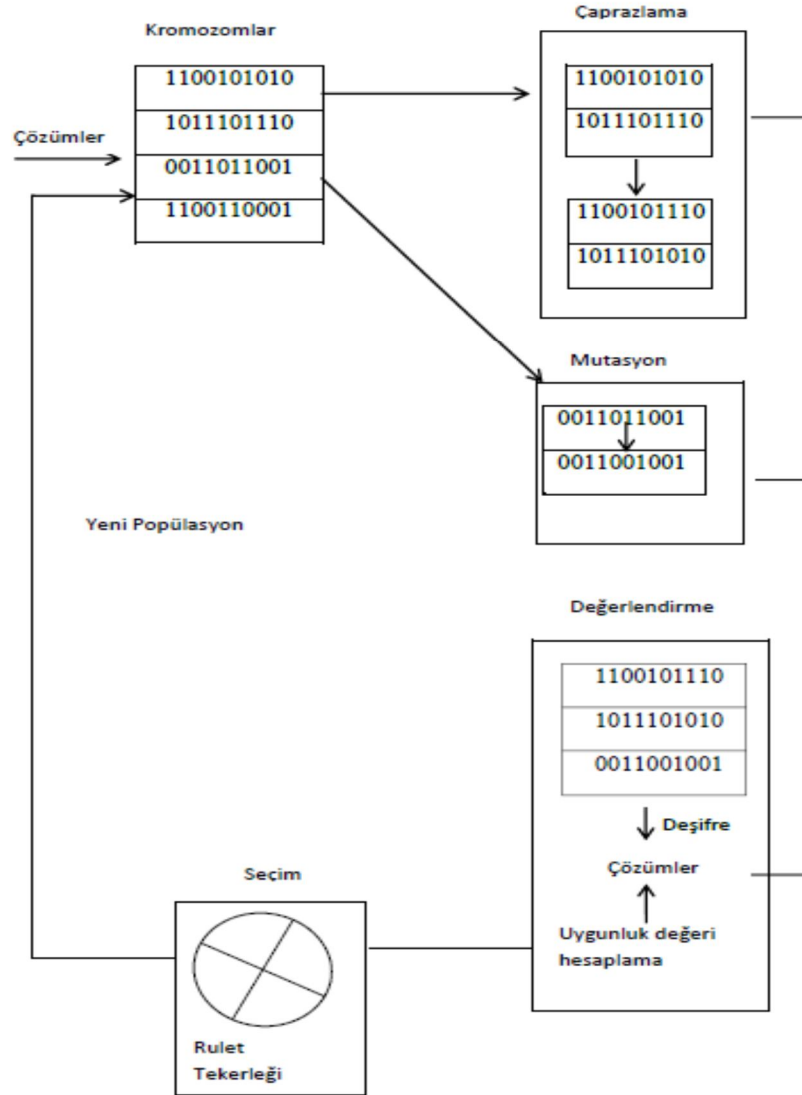
5.2.1. Sezgisel algoritma adımları

GA' lar bir çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom ile kodlar. Her noktanın bir uygunluk değeri vardır. Çözüm uzayındaki noktalar kümesi bir araya gelerek bir popülasyonu her kuşakta çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörler kullanılarak yeni bir popülasyon oluşturulur. Çözüm uzayından rassal olarak seçilen noktalar üzerinde operatörler yardımıyla daha iyi noktalara ulaşmak

amaçtır. Bu arama iyi sonuç elde edilmeyene kadar devam etmektedir. Genel olarak GA' da izlenen adımlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. N adet kromozom içeren rasgele oluşturulmuş bir topluluk ile başla.
2. Topluluktaki her x kromozomu için $f(x)$ uygunluk değerini hesapla.
3. Aşağıdaki adımları birey n (popülasyon büyüklüğü) oluşturuluncaya kadar tekrarla.
 - i. Güncel topluluktan, yüksek uygunluk değerinin seçilme ihtimalinin artırdığını göz önünde bulundurarak, iki ebeveyn kromozom seç. Seçilim aynı kromozomun birden çok defa ebeveyn olarak seçilmesine olanak verecek şekilde yapılır.
 - ii. Çaprazlama oranı ile seçilen çift iki yeni birey oluşturmak üzere rasgele belirlenen bir noktadan çaprazla. Eğer çaprazlama gerçekleşmezse, ebeveynlerinin birebir kopyası olan iki çocuk oluştur.
 - iii. Mutasyon oranı ile oluşan iki çocuğu tüm veya bazı yerlerde mutasyona uğrat.
 - iv. Sonuçta elde edilen kromozomları yeni topluluğa ekle.
4. Önceki topluluğu yeni topluluk ile değiştir.
5. Sonlandırma koşulu sağlandıysa mevcut topluluktaki en iyi çözümü döndür, sağlanmadıysa 2. adıma dön (Siyah, 2012).

Şekil 5. 7.'de genetik algoritmaların genel yapısı görülmektedir (Gen ve Cheng, 1997).



Şekil 5.7. Genetik algoritmaların temel yapısı (Gen ve Cheng, 1997)

5.3. Genetik Algoritmaların Tez Problemine Uygulanışı ve Yazılım Kullanılması

Depo yükleme noktalarına araçların atanması problemi, müşterilerin önceliği göz önünde bulundurularak, araç ve kapı sayısına göre atamaların yapılmasına izin vermektedir. Erken ya da geç teslimat için ayrı ayrı ceza katsayıları mevcuttur ve bu cezaların büyüklüğü müşteri tiplerine göre değişmektedir. Problem kombinatorik eniyileme kapsamında yer alan bir atama problemidir. Gelen her araç kapılara atanamamakta olup atamayı kapı sayısı

belirlemektedir. Kapı sayısı büyük/eşittir araç sayısı olduğu zaman atama gerçekleşmektedir. Atama sağlanacak olsa bile hangi araçların hangi kapılara ne zaman atanacağına karar verme süreci dinamik yapıları bir sistem geliştirilerek sağlanmaktadır. Amaç en küçük maliyetle atanmanın sağlanmasıdır. Ancak kapılara atanacak araç sayısı sürekli değişmektedir. En kısa yükleme süresine göre kapıdan en erken ayrılma zamanı belirlenmektedir. En kısa yükleme süresinden sonra, fabrikaya yeni gelen araçların da dahil edildiği durum için sistem yeniden çalıştırılmaktadır.

Genetik algoritma için düzenlenen uygunluk değeri matematiksel modellemedeki amaç fonksiyonu değerinden atanmayan araçların maliyetini de hesaba katması sebebiyle ayrılmaktadır. Uygunluk değeri iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım atanmış araçlar için verilecek kararları ikinci kısım ise o zaman dilimi içinde atanmayan araçlar için kararları içermektedir. Sistem bütün olarak ele alındığında problemde tek maliyet kalemini atanmış araçlar oluşturmamaktadır. Çünkü atanamayan araçların o zaman diliminde atanamamasından kaynaklanan atanmama maliyeti oluşmaktadır. Atanamama maliyetinin hesabı da atanmış araçlardaki gibi olmaktadır. Ancak burada dikkat edilecek nokta atanamamış araçların en kısa yükleme süreli aracın yerine atanacağına hesaba katılmasıdır. Yani atanamamış araç en yakın zamanda boşalacak kapıya atanacaktır. Burada en kısa yükleme süreli araç karar vericidir. Bu sebeple atanamayan araçların maliyet hesabına en kısa yükleme süresi de katılmaktadır. Genetik algoritma çözüm yaklaşımında kullanılan uygunluk fonksiyonu,

$$En\ küçük\ Z = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (x_{i,k} * (gvz_i + cz_i)) + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{SK} (y_{i,j,k} * (gvz_j + cz_j))$$

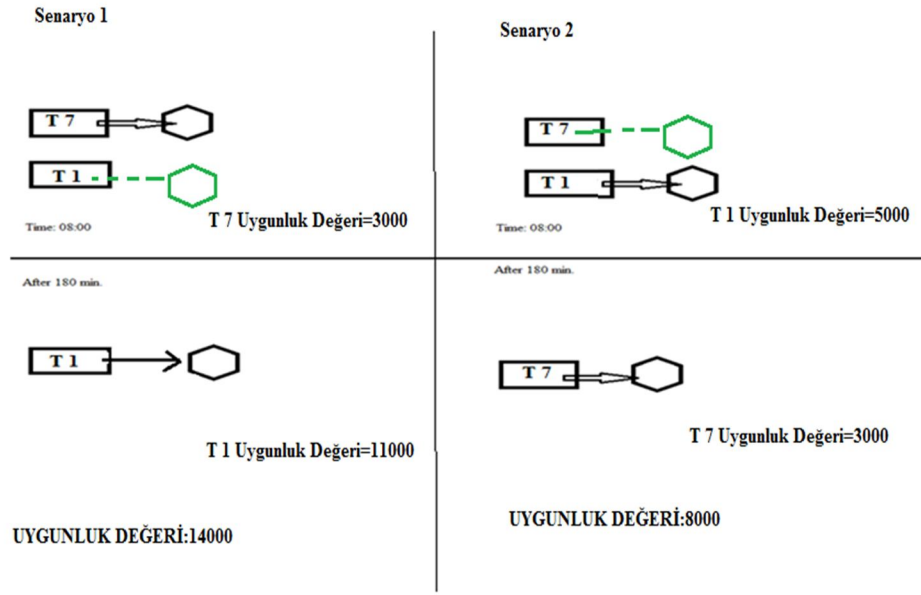
Toplam = T_A (Atanan araçlar için maliyet değeri) + T_B (Atanamayan araçlar için maliyet değeri)

$x_{i,k}$: i. aracın k. kapıya atanması durumunda 1 değerini alarak atanmış araçların gerçekleşen varış zamanı ve katlanması gereken ceza maliyeti toplamı, atanmış araçlar için toplam uyum değerini verir (gvz_i : i. aracın gerçekleşen varış zamanı (dak.), cz_i : i. aracın ceza maliyeti (dak.)).

$y_{i,j,k}$: i. aracın k. kapıya atanması durumunda j. araç atanamamaktadır ve atanamayan araçlar da sistemde maliyet oluşturmaktadır. Atanamayan j. araç sk. kapıya atanmış gibi işlem görmektedir. Bu yüzden amaç fonksiyonu iki kısımdan oluşmaktadır. Kapıya atanan araçlar belirlenen zaman diliminde yükleme işleminden sonra müşteriye ulaşan araçlardır. Atanmayan araçlar bir sonraki atama işleminde dikkate alınmaktadırlar. Bu sebeple atanmayan araçların gecikme maliyetlerinden dolayı belirlenen zaman dilimi içinde uyum fonksiyonuna etkisi hesaba katılmaktadır.

Atanan araçlar müşterinin istediği teslim zamanını her zaman yakalayamamaktadır. Bu durumda erken ya da geç teslimat gerçekleşmektedir. Müşteri tipine göre erken ya da geç teslim edilme durumları ceza katsayılarıyla uyum fonksiyonuna yansıtılmaktadır. Çalışmada veriler tarih saat cinsinden olduğu için tüm tarihler dakikaya çevrilmektedir. Örneğin müşterinin isteği teslim zamanı 10.10.2011 saat 12: 00 şeklindeyse, başlangıç zamanı olarak kabul edilen tarihten çıkartılarak ay, gün, saat olarak gösterilen tarih tek cins birim olarak dakikaya dönüştürülmektedir. Bir saat 60 dakika, 1 gün 1440 dakika ve 1 ay $30*24*60= 43200$ dakika olarak alınıp işlemler yürütülmektedir. Matematiksel model kısmında uyum fonksiyonunda da kullanılan parametre ve karar değişkenleri ayrıntılı biçimde anlatılmıştır.

Sistem dinamik yapılı olduğu için, içinde bulunulan zaman dilimi bazında kararlar alınmaktadır. Atanamayan araçlarla ilgili hesaplamada *sanal kapı yaklaşımı* kullanılmaktadır. Burada önemli olan nokta, problemi bir bütün olarak ele almaktır. Çünkü başlangıç atamaların yapılmasında, amaç fonksiyonunu en küçükleyen araçlar atanacaktır ancak atanamayan araçların da sisteme getireceği bir maliyet olacaktır. Bu sebeple *sanal kapı ataması* yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımla, gönderilemeyen araçların da etkisi araştırılmakta ve atanmayan araçların gecikmeleri hesaplanmaktadır. Sanal kapı yaklaşımını daha iyi anlatmak için Şekil 5. 8’ de iki araç tek kapı için özet bir açıklama yapılmıştır:



Şekil 5.8. Sanal kapı yaklaşımının gösterilmesi

Sadece yukarıdaki durum düşünüldüğünde T 7 aracını göndermek mantıklı gelebilir ancak sistemin tüm araçları göndermesi gerekmektedir ve saat 08: 00'den sonraki durumların uygunluk değerlerinin etkisi de ele alınmalıdır. Bu yüzden sistem toplam uygunluk değeri dikkate alınmaktadır. Sanal kapı mantığı sonraki araçların sisteme etkisini de hesaba kattığından doğru sonuç vermektedir. İki senaryo karşılaştırıldığında en küçük maliyeti veren en iyi olandır. Bu durumda Senaryo 2'de T 1 aracı önce atanırsa maliyet en aza indirgenecektir. Sistemin çalışması bu şekilde gerçekleşmekte ve sanal kapı yaklaşımının doğruluğu anlaşılmaktadır.

Yapılan çalışmalar Intel (R) Core (TM) i7-2640M CPU @2.80 GHz işlemci ve 4 GB Ram' e sahip bilgisayar ile Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

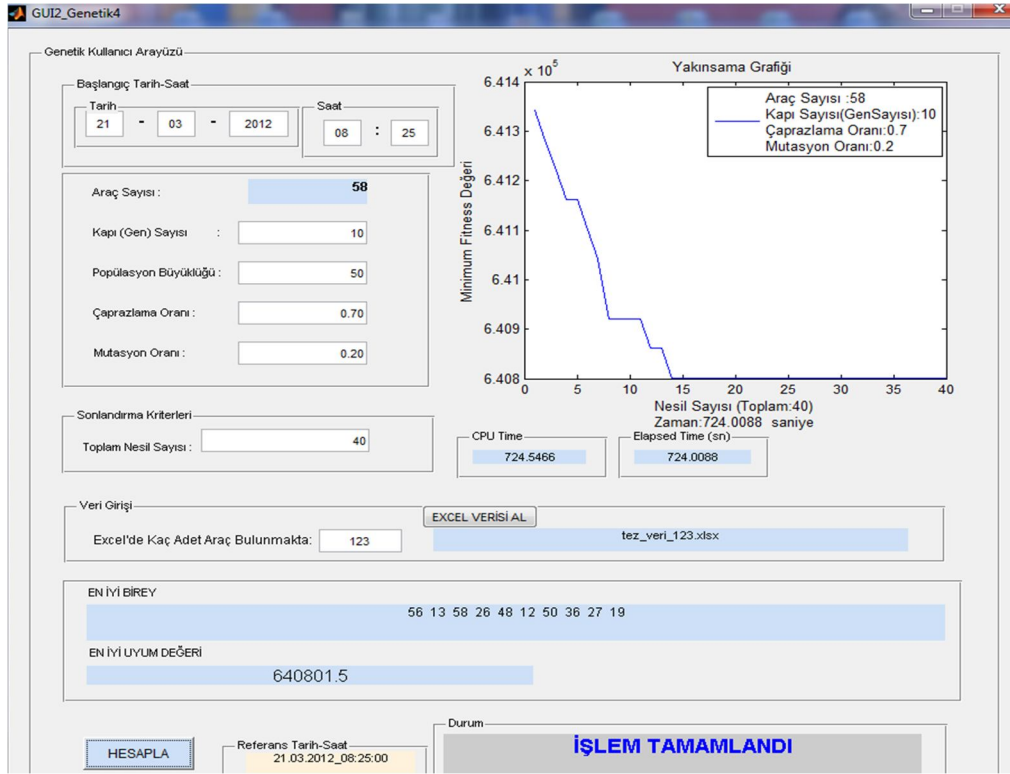
Tasarlanmış olan programda Şekil 5. 9.'da gösterilen bir ara yüz vasıtasıyla algoritma için gerekli parametrelerin girişi yapılmaktadır. Kapı sayısı başlangıç olarak bilinmesi gereken parametredir. Ancak sistemde ilerleyen her zaman dilimi için kapı sayısı ve araç sayısı sürekli değişmektedir. Kapı sayısı kromozom (birey) büyüklüğünü vermektedir. Kromozomdaki her geni de araçlar temsil etmektedir. Yani 20 kapılı 50 araçlı bir sistem için 20 araç ataması

gerçekleşeceğinden, kromozom 20 genden oluşacaktır. Sistem statik kapı atama modeline girmektedir. Ancak sistemin çalışma prensibi dinamik yapıldığından müsait kapı sayısı ve araç sayısı sürekli değişmektedir. Örneğin sistemin başlangıç saati olarak kabul edilen 08: 15 itibariyle müsait 10 kapı ve mevcut 60 araç var ise, sistemde ara yüz kullanılarak araç sayısı en fazla 60 yazılabilir. Çalışmada müşteri ve araç bilgilerinin kayıtlı olduğu bir veri tabanı kullanılmaktadır. Sistem kayıtlı veri seti içinde değişen araç filosuna hizmet verebilir. Sistem için gerekli tüm veriler veri tabanından çekilerek Matlab’ da kullanılmaktadır. Veri tabanında yer alan bilgiler içinde araç tipi, araç plakası-numarası, gidilecek müşteri ili bilgileri, müşteri mesafesi, yol süresi, aracın fabrikaya geliş tarihi, aracın müşteriye teslim edilmesi gereken tarih, aracın yükleme işlem süresi, müşterinin sipariş verdiği tarih, müşteri tipi, müşteri mesai saat bilgileri yer almaktadır. Görüldüğü gibi veriler hep tarih cinsinden olduğundan bu tarihler dakikaya dönüştürülerek tarihlerin toplama, çıkarma işlemleri yürütülmüş, ardından yeniden tarih formatına çevrilmiştir.

Problemde kapı sayısı kısıtlı olduğundan gelen her araç atanamamaktadır. Atananlar içinde atama işlemi uyum fonksiyonu değerine (amaç fonksiyonuna) göre yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, madem kapı sayısı kadar araç atanmaktadır, öyleyse neden atanamayan araçlar da önemsenmektedir? Burada önemli olan nokta, problemi bir bütün olarak ele almaktır. Çünkü başlangıç atamaların yapılmasında, amaç fonksiyonunu en küçükleyen araçlar atanacaktır ancak atanamayan araçların da sisteme getireceği bir maliyet olacaktır. Bu sebeple *sanal kapı ataması* yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımla, göndermediğimiz araçların da etkisini araştırılmakta ve atanmayan araçların gecikmeleri hesaba katılmaktadır.

Ardından genetik algoritma parametrelerinden olan çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve popülasyon büyüklüğü girilmektedir ve algoritma çalışmaktadır. Programı sonlandırma kriteri olarak toplam nesil sayısının tamamlanması seçilmiştir. Bulunan en iyi birey ara yüzde gösterilmektedir. Genetik algoritmanın çalışırken en iyi uyum fonksiyonu değerini bulana kadar geçirdiği evreleri yakınsama grafiğiyle ara yüzde görme imkanı sunulmaktadır. Bu sayede program çalışmaya başladığında çıkan ilk uygunluk değerinden nesil

sayısı tamamlanana kadar bulunan uygunluk değerleri görülmekte ve hangi noktadan itibaren kendini tekrarladığı yani yakınsadığı görülebilmektedir. Ardıştırmaya tamamlandığında program sonlandırılmaktadır. Program için tasarlanan ara yüz Şekil 5. 9’da görülmektedir.



Şekil 5.9. Hazırlanan ara yüz görüntüsü

Geliştirilen programda sistem başlangıç tarih ve saati 21.03.2012 saat 8:25 itibariyle 120 araç, 10 kapı, popülasyon büyüklüğü 50, çaprazlama oranı 0.70, mutasyon oranı 0.20 ve toplam nesil sayısı 40 için tek seferlik çalışma sonucunda bulunan en iyi uygunluk değeri 640801.5 ve çıkan yakınsama grafiği ara yüzde sunulmaktadır. Bulunan en iyi birey şöyledir: 56 13 58 26 48 12 50 36 27 19

Seçilen 10 araç yükleme işlemi süresince atandıkları kapıları meşgul etmektedir. Yükleme işini bitiren araç teslimat için kapıdan ayrılarak müşteriye ulaşmak için yola çıkmaktadır. Yükleme işlem süreleri araç tiplerine göre değişmektedir. Tır için 180 dakika, kamyon için 120 dakika ve kamyonet için 80 dakikalık yükleme süreleri mevcuttur. Atama işlemini gerçekleştirmek için genetik algoritma programında veri tabanında güncellenen araç sayısı kadarlık

filodan uyum fonksiyonu değerine göre atama yapılmaktadır. Örnek veri seti Şekil 5.10’da sunulmaktadır.

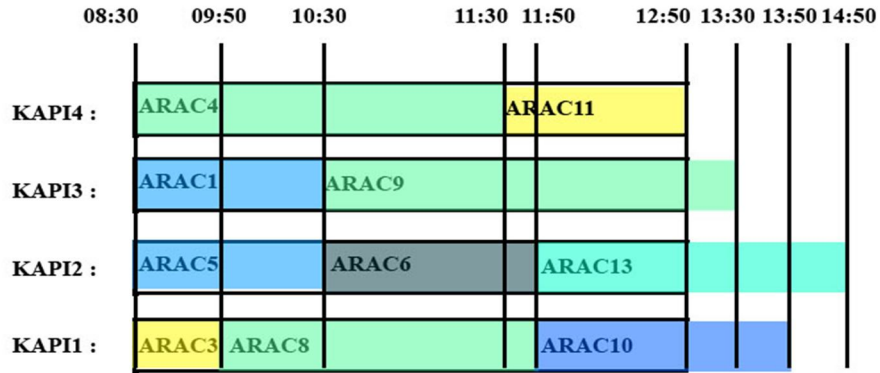
	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Araç tipi	İl	Müşteri Adı	Araçın fabrikaya geliş tarihi (a)	Müşterinin istediği teslim tarihi (b)	Yükleme işlem süresi (c)	Müşteri için gidilen yol süresi (d)	Gidilen yol süresi (d)	Müşterinin siparişi verdiği tarih (b)	Müşteri mesai tipi (b)	Müşteri tipi
2	KAMYON	İSTANBUL	M.1	21.03.2012_09:00:00	23.03.2012_08:00:00	120	08:00	577	19.03.2012_08:00:00	9	A
3	KAMYON	YOZGAT	M.2	21.03.2012_09:20:00	23.03.2012_09:00:00	120	07:00	385	18.03.2012_08:00:00	9	A
4	KAMYON	İSTANBUL	M.3	21.03.2012_08:00:00	24.03.2012_10:00:00	180	04:30	276	20.03.2012_08:00:00	9	A
5	KAMYONET	İSTANBUL	M.4	21.03.2012_08:40:00	22.03.2012_09:00:00	80	04:00	276	20.03.2012_08:00:00	13	B
6	KAMYONET	SAKARYA	M.5	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_11:00:00	80	03:00	150	19.03.2012_08:00:00	24	B
7	KAMYONET	İZMİT	M.6	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_13:00:00	80	04:00	181	18.03.2012_08:00:00	24	B
8	KAMYONET	İZMİT	M.7	21.03.2012_13:00:00	22.03.2012_15:00:00	80	03:30	181	17.03.2012_08:00:00	24	B
9	KAMYONET	BALIKESİR	M.8	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_17:00:00	180	04:00	865	20.03.2012_08:00:00	9	C
10	KAMYON	İSTANBUL	M.9	21.03.2012_08:00:00	24.03.2012_19:00:00	120	04:45	276	20.03.2012_08:00:00	13	C
11	KAMYON	İZMİR	M.10	21.03.2012_10:20:00	22.03.2012_21:00:00	120	06:30	353	17.03.2012_08:00:00	13	A
12	KAMYON	ADANA	M.11	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_20:00:00	120	07:30	590	16.03.2012_08:00:00	13	C
13	KAMYON	ŞANLIURFA	M.12	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_23:00:00	120	11:45	883	21.03.2012_08:00:00	24	B
14	KAMYON	İSTANBUL	M.13	21.03.2012_18:00:00	23.03.2012_03:00:00	120	04:00	276	20.03.2012_08:00:00	24	B
15	KAMYON	KOCAELİ	M.14	21.03.2012_07:00:00	23.03.2012_05:00:00	120	04:15	181	18.03.2012_08:00:00	24	A
16	KAMYON	AYDIN	M.15	21.03.2012_08:00:00	23.03.2012_07:00:00	120	07:00	410	20.03.2012_08:00:00	24	C
17	KAMYON	ERZURUM	M.16	21.03.2012_19:00:00	23.03.2012_09:00:00	120	13:45	947	17.03.2012_08:00:00	9	B
18	KAMYON	ERZURUM	M.17	21.03.2012_08:15:00	23.03.2012_11:00:00	120	13:45	947	18.03.2012_08:15:00	9	B
19	KAMYONET	İSTANBUL	M.18	21.03.2012_08:20:00	23.03.2012_13:00:00	80	04:50	276	20.03.2012_08:20:00	13	C
20	KAMYONET	TEKİRDAĞ	M.19	21.03.2012_08:40:00	21.03.2012_19:00:00	80	03:15	390	18.03.2012_08:40:00	13	A
21	KAMYONET	TEKİRDAĞ	M.20	21.03.2012_10:00:00	23.03.2012_17:00:00	80	03:30	390	16.03.2012_09:00:00	13	B
22	KAMYON	İSTANBUL	M.21	21.03.2012_10:25:00	23.03.2012_19:00:00	120	04:50	276	20.03.2012_09:25:00	24	A
23	KAMYON	İSTANBUL	M.22	21.03.2012_11:36:00	23.03.2012_18:00:00	180	04:10	276	19.03.2012_09:36:00	9	B
24	KAMYON	AYDIN	M.23	21.03.2012_10:00:00	23.03.2012_09:00:00	120	07:10	410	17.03.2012_08:00:00	9	A
25	KAMYON	KATİSERİ	M.24	21.03.2012_17:00:00	24.03.2012_10:00:00	120	07:25	463	18.03.2012_08:15:00	13	A
26	KAMYON	KONYA	M.25	21.03.2012_08:10:00	22.03.2012_09:00:00	120	04:15	290	20.03.2012_08:20:00	13	A
27	KAMYON	KONYA	M.26	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_11:00:00	120	05:15	290	17.03.2012_08:40:00	13	B
28	KAMYON	ADANA	M.27	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_13:00:00	120	07:35	590	16.03.2012_09:00:00	24	B
29	KAMYON	İSTANBUL	M.28	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_15:00:00	180	04:10	276	20.03.2012_09:36:00	24	B
30	KAMYON	ANKARA	M.29	21.03.2012_10:00:00	22.03.2012_17:00:00	120	03:00	200	19.03.2012_09:36:00	13	C
31	KAMYON	ERZİSERİ	M.30	21.03.2012_13:00:00	24.03.2012_19:00:00	120	02:25	25	21.03.2012_10:32:00	13	C
32	KAMYON	MANİSA	M.31	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_21:00:00	120	06:15	340	22.03.2012_10:32:00	13	C
33	KAMYON	MANİSA	M.32	21.03.2012_08:00:00	25.03.2012_09:00:00	120	07:15	340	22.03.2012_09:40:00	9	A
34	KAMYON	TOKAT	M.33	21.03.2012_08:00:00	24.03.2012_10:00:00	120	07:35	524	20.03.2012_10:45:00	9	B
35	KAMYON	KATİSERİ	M.34	21.03.2012_14:30:00	22.03.2012_09:00:00	120	06:30	463	20.03.2012_09:54:00	9	C
36	KAMYON	ANKARA	M.35	21.03.2012_08:00:00	23.03.2012_11:00:00	120	06:32	200	21.03.2012_11:15:00	13	A
37	KAMYON	ANKARA	M.36	21.03.2012_08:00:00	23.03.2012_13:00:00	120	03:20	200	21.03.2012_21:57:00	13	B
38	KAMYON	TOKAT	M.37	21.03.2012_08:00:00	24.03.2012_15:00:00	120	07:54	524	17.03.2012_09:00:00	24	C
39	KAMYON	DIYARBAKIR	M.38	21.03.2012_15:30:00	22.03.2012_17:00:00	120	10:30	191	16.03.2012_08:30:00	24	A
40	KAMYON	İSTANBUL	M.39	21.03.2012_16:00:00	24.03.2012_19:00:00	120	04:10	276	18.03.2012_10:00:00	24	A
41	KAMYON	İSTANBUL	M.40	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_16:00:00	120	03:50	276	20.03.2012_08:00:00	9	B
42	KAMYON	BURSA	M.41	21.03.2012_12:00:00	22.03.2012_21:00:00	120	01:50	128	19.03.2012_21:00:00	13	C

Şekil 5.10. Örnek veri seti

Atanan araçların yükleme süreleri birbirinden farklı ya da birbiriyle aynı olabilir. Zaten bu farklılık durumunda sistemin dinamiklik kontrolü güç bir hal alacaktır. Örneğin atanan araçlar için yükleme süreleri 80 120 120 120 80 120 120 180 120 120 olduğunda, iki kapı en erken 80 dakika sonra boşalacaktır. Sistemin başlangıç süresi 8: 25’ten 9: 45’e iletiletilerek boşalan iki kapı için yeniden atama yapılacaktır ve bu atama işlemlerini genetik algoritma programı arka planda çalışarak yapmaktadır. Atanan iki aracın da yükleme süresi dikkate alınarak bir dahaki sefere boşalacak kapının tespiti yapılmaktadır. Örneğin ilk atamadaki 10 araçtan 7’sinde yükleme süresi 120 dakikadır ve 80 dakikada boşalan kapıya yeni atamalardan sonra en yakın +40 dakika sistem süresi iletiletilerek saat 10: 25 için de 7 kapı için atama işlemi gerçekleşecektir. Ancak 9: 45’te atanan iki aracın da yükleme süreleri göz ardı edilmemelidir. Çünkü bir dahaki sefere gerçekleşecek atama işlemi en yakın zamanda boşalacak kapıya olacaktır. Bu açıdan problemde sürekli değişen araç sayısı araçların yükleme sürelerine bağlı olarak değişen kapı sayısı ve sistemde gelen giden araçların sürekli değişiyor olması dinamik yapının

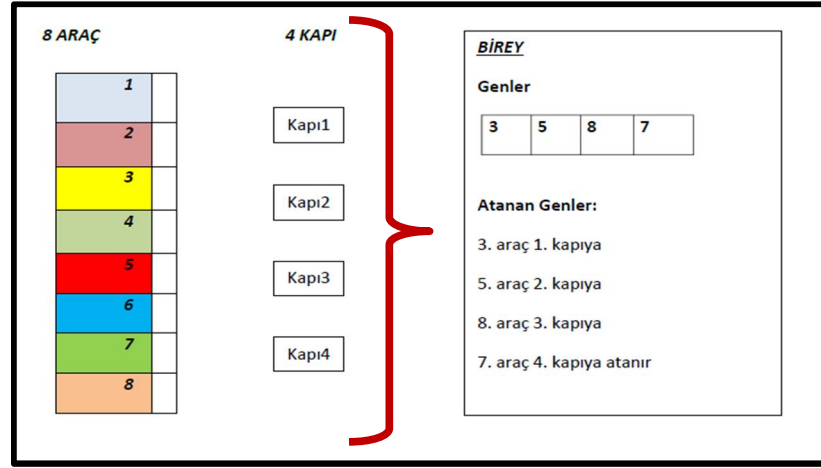
kontrolünü güçleştirmektedir. Çalışmada istenen zaman dilimine kadar program çalıştırıldıktan sonra o gün için belirtilen saat dilimine kadarki çizelge çizilebilir. Bu sayede hangi aracın hangi kapıda ne zaman yükleme işlemine başladığı görülebilecektir.

Bu çalışma gerçek hayatta yer alan böyle karmaşık yapıdaki bir sistemin nasıl bir algoritmayla çalışacağını aşama aşama göstermektedir. En önemli maliyet unsuru olan kapılara atanacak araçların seçim işleminin genetik algoritmayla gerçekleşmesi ve onun öncesinde gerekli olan uyum fonksiyonunun hesaplanma aşaması çalışmanın en kritik noktalarıdır. Geliştirilen program ile gelen-giden araçların veri tabanında otomatik güncellenerek bir günlük atama ve çizelgeleme işlemini gerçekleştiren işletme tarafından da arzu edilen programdır. Çalışmanın amacı akademik olarak böyle karmaşık bir gerçek hayat probleminin nasıl bir sistemle ifade edilebileceğini göstermek ve sezgisel yaklaşımla araç atamalarının sağlanmasıdır. Sistemin çalıştırılması sonucunda gün sonunda ya da çalıştırılan süre sonunda o gün için gerekli çizelgenin raporu sağlanmaktadır.



Şekil 5.11. Öğlene kadar çalıştırılan sistemin çizelgesi

Ara yüzde, arka planda çalışan genetik algoritma programının sonuçları görülmektedir. Programın işleyişiyle ilgili aşamalar aşağıda verilmiştir: En küçük anlamlı yapı olarak tanımlanan genler kapılardan oluşturmaktadır. Genlerin bir araya gelerek oluşturduğu yapı kromozom yani bireydir. Oluşturulan gen ve kromozom yapısı aşağıdaki Şekil 5. 12. 'de gösterilmiştir: 8 araç, 4 kapı için yapılan kromozom yapısı şöyledir:



Şekil 5.12. Problemden yer alan gen ve birey gösterimi

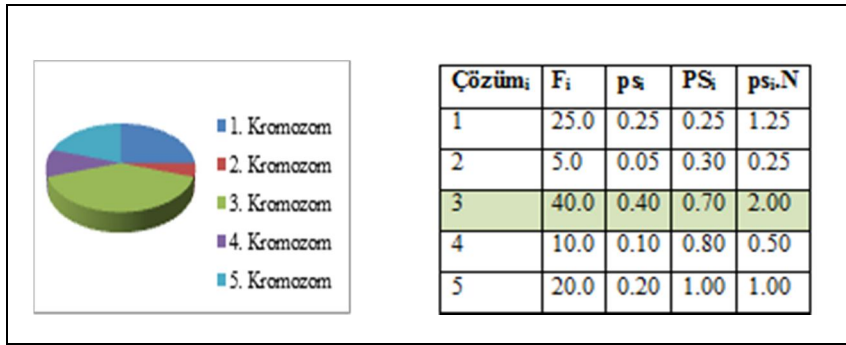
Problem yapısı gereği sistem dinamik yapılı olarak çalışmakta ve yükleme işlemi için müsait kapı sayısı değişmektedir. En kısa süreli yükleme işleminden sonra boşalan kapiya, yeni gelen araçların da dahil edildiği durum için araç ataması yapılmaktadır. Şekil 5. 11’de görülen çizelge, kapı sayısı ve araç sayısına bağlı olarak sürekli değişmektedir.

Kromozomlar *değer kodlama* yöntemine göre kodlanmıştır. Gerçek sayılar gibi karmaşık değerlerin kullanıldığı problemlerde doğrudan değer kodlama kullanılabilir.

- Başlangıç:** İlk olarak karar değişkeni çözüm adayları rastgele olarak atanmalıdır. Başlangıç nüfus yani popülasyon büyüklüğü 50 olarak alınırsa, 50 tane rasgele karar değişkeni değeri atanmalıdır. Bu 50 bireyin yer aldığı bir topluluk anlamına gelmektedir. Alınacak bireyler rasgele seçilmektedir. Buna göre kromozomlar 10, 12, 15, 20, 3, 5, 25...gibi rasgele üretilen değerlerdir ve toplam pop. büyüklüğü 50 ’dir. Her kromozomda kapı sayısı kadar gen vardır ve hangi aracın hangi kapiya atandığını göstermektedir.
- Değerlendirme:** Değerlendirilirken uyum fonksiyonu değerleri hesaplanır. Amaç fonksiyonunda hangi değer kullanılıyorsa buna göre sonuç üretilmektedir ve amaç en küçükleme esastır.
- Kopyalama (Seçim):** Rulet tekerleği yöntemi kullanılarak, her bir çözüm noktasının toplum içinde değer olarak yüzdesi hesaplanır. Çözümlerin

kopya sayısı uygunluk değerleriyle orantılıdır. Rulet tekeri popülasyon büyüklüğü kadar dönmektedir. Çalışmada rulet çemberinin çalışma biçimi biraz farklı ele alınmıştır. Çünkü rulet tekeri seçim operatörü doğasından ötürü uygunluk fonksiyonunu maksimize etmektedir. Ancak ele alınan tez probleminde ise amaç en küçüklemedir. Rulet tekerinin en büyüklemeye dayanan çalışma prensibinin en küçüklemeye dayandığı bu çalışmaya özgü bir yöntem geliştirilmiştir. F_i uygunluk değerini, ps_i seçilme olasılığını, PS_i kümülatif olasılığını temsil etmek üzere şöyle bir tablo verilmiş olsun: Bu tabloya göre uygunluk fonksiyonu 40 olan 3.bireyin seçilme şansı daha yüksektir. Ancak tez problemine göre seçilmesi istenen en küçük uygunluk değeri olan 2. bireydir. 2. bireyin seçilmesi için yapılan hesaplama Çizelge 5. 2. ve Çizelge 5. 3.' te şöyle geliştirilmiştir:

Çizelge 5.2. Rulet tekerleğine göre oluşturulan uygunluk değerleri (Deb, 2001)



En büyükten en küçüğe doğru uygunluk değerlerine 1, 2, 4, 8, 16 şeklinde 2'nin katlarıyla çarpılır. En büyük uygunluk değerine verilen değer 1, ikinci büyük uygunluk değerine 2 katı yani 2, üçüncü sıradaki büyük uygunluk değerine öncekinin 2 katı yani 4 değeri verilerek en küçük uygunluk değerine sahip bireye ulaşıncaya kadar 2'ser katları verilir. Buna göre oluşturulan tablo şöyledir:

Çizelge 5.3. Rulet tekerleği için oluşturulan dönüştürülmüş uygunluk değerleri

Çözüm _i	İlk F _i	Dönüştürülen yapıdaki F _i	p _s	PSi	p _s .N
1	25.0	2	2/31=0.064	0.064	0.32
2	5.0	16	16/31=0.516	0.58	2.58
3	40.0	1	1/31=0.032	0.612	0.16
4	10.0	8	8/31=0.258	0.87	1.29
5	20.0	4	4/31=0.129	1.00	0.65

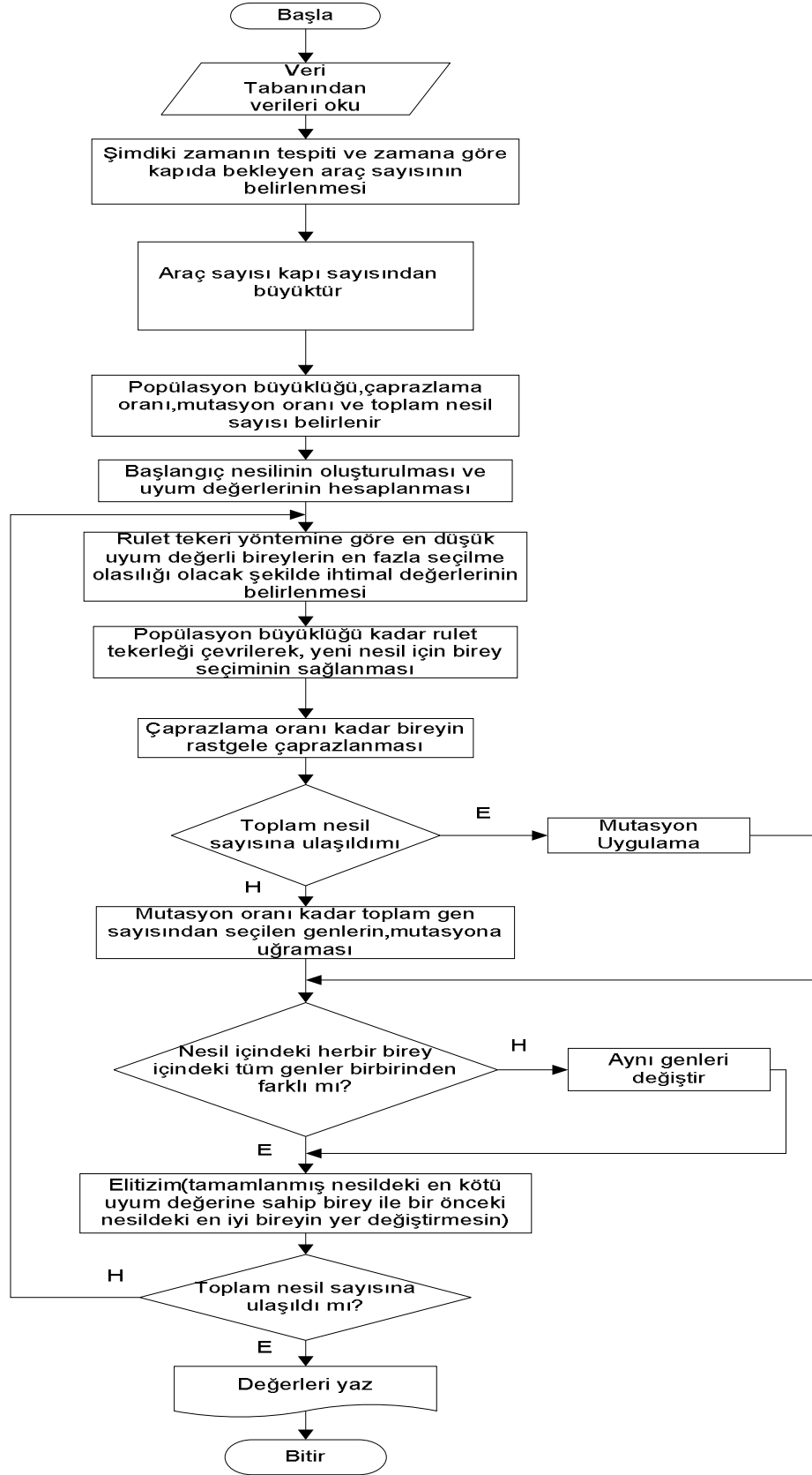
Dönüştürme işleminden sonra ilk tabloda en büyük paya sahip olan 3.birey, artık en küçük paya (1) sahip hale getirilmiştir ve en küçük paya sahip olan 2. birey son tabloya göre en büyük paya sahip hale gelmiştir (16) .

d) Çaprazlama: Kopyalama işleminden sonra, çaprazlama işlemine devam edilir. Çaprazlama, atalardaki seçili genler üzerinde işlem yapar ve yeni çocuklar oluşturur. Bunun en basit şekli, rasgele bir kesme noktası (çaprazlama noktası) seçip, bu noktadan önceki her şeyi ilk ebeveynden, sonraki her şeyi ikinci ebeveynden alıp birleştirerek çocuğu oluşturmaktır. Yapılan çalışmada tek noktadan çaprazlama esas alınmıştır. Ele alınan problemde, amaç kapılara araçların atanması ve bunun en küçük maliyetle sağlanmasıdır. Atanma sırasının önemi yoktur çünkü bütün kapılar aynıdır. Ayrıca bir kapıya atanan araç başka bir kapıya atanamaz, yani bir araca yalnızca bir kapıda yükleme yapılabilir. Dolayısıyla yapılan çalışmada aynı sayıların tekrar etmemesi gerekir.

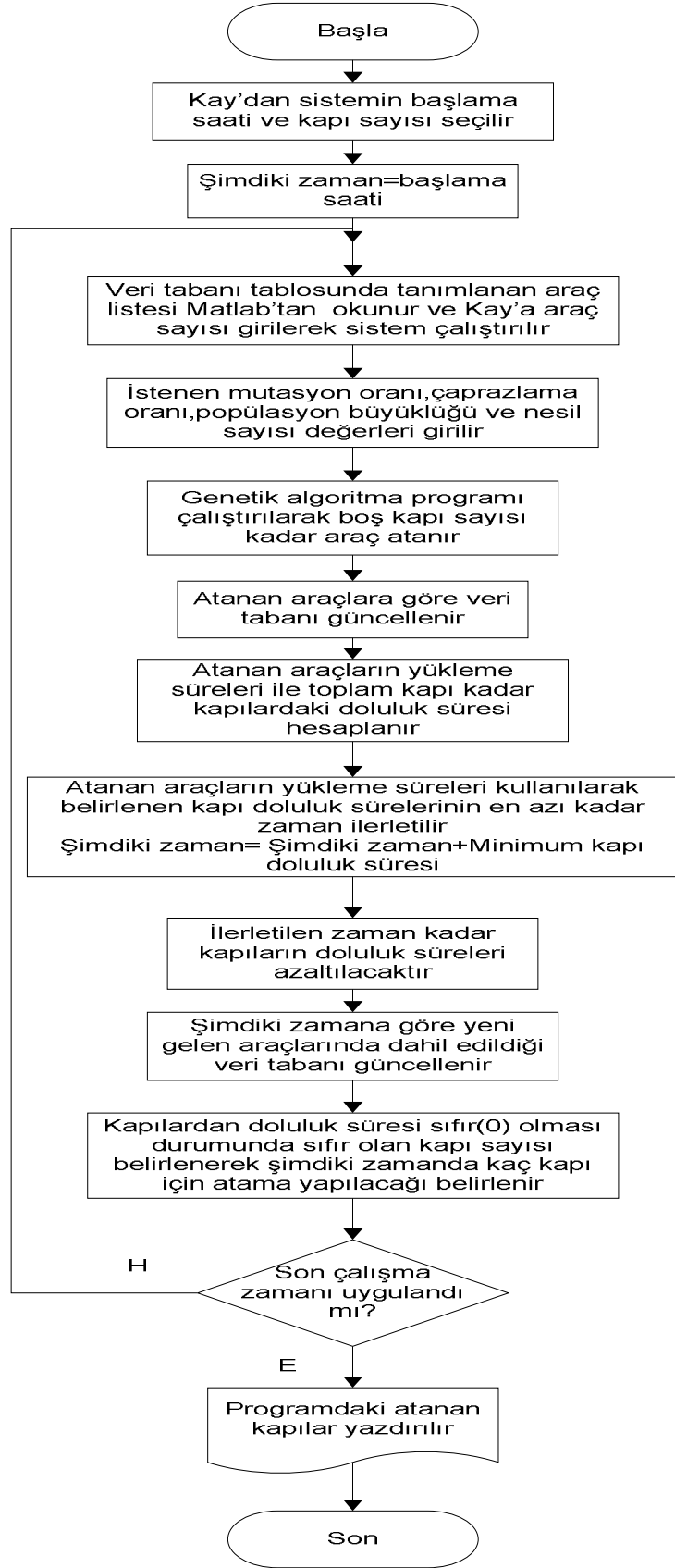
e) Mutasyon: Çaprazlama işlemi gerçekleştirildikten sonra, mutasyon işlemi yapılır. Mutasyonun amacı, toplumdaki tüm çözümlerin çözülen problemlerin bir yerel uygun değerine düşmesinin önüne geçmektir. Mutasyon işlemi çaprazlama sonucu oluşan yavruyu rastgele değiştirmektedir. Çalışmada mutasyon oranı 0.20 olarak belirlenmiştir. Çaprazlama iki birey seçilerek yapılırken mutasyon tek bir bireye uygulanmaktadır. Mutasyonun uygulanıp uygulanmayacağını rassal olarak türetilen bir sayının verilen mutasyon olasılığından küçük olması durumuna göre karar verilir.

- f) Elitizim:** Çaprazlama ve mutasyon yöntemleriyle yeni bir nesil oluştururken, en iyi kromozomların kaybolma ihtimali vardır. Seçkinlik, en iyi kromozomların ilk önce kopyalanıp yeni nesle aktarıldığı yöntemin adıdır. Seçkinlik GA' nın başarısını hızlı bir şekilde arttırabilir, çünkü bulunan en iyi çözümün kaybolmasını önler. Bu sebeple çalışmada elitizim uygulanmıştır. Elitizim uygulanmadan önceki durum ve sonraki durum karşılaştırıldığında, elitizimle bulunan sonucun yakınsama grafiğinin daha iyi olduğu görülmüştür.
- g) Yeniden Değerleme:** Çaprazlama, mutasyon ve elitizim sonrasında oluşan popülasyonun hangi bireylerden oluştuğu görülecektir.
- h) Yineleme:** Genetik algoritmanın tüm işlemlerinin ardından yeni bir nesil nüfusunun dizileri belirlenmiş olur ve yeni nesil test edilmeye başlanır. Dizilerin performansının değiştiği gözlenebilmektedir. Buradan ikinci adıma gidilerek ve ondan sonraki adımlar yinelenerek yeni toplumlar ve her topluma geçişte daha iyi karar noktaları elde edilir.

Şekil 5. 13.'te geliştirilen genetik algoritmanın akış şeması verilmiştir. Şekil 5. 14'te kullanıcı ara yüzü için akış şeması sunulmuştur.



Şekil 5.13. Geliştirilen genetik algoritmanın yapısı



Şekil 5.14. Geliştirilen KAY sistem akışı

Not 1: Son çalışma zamanı olarak saat=17: 00 alınabilir. Şimdiki zaman 17: 00' den daha ileride olduğu anda program sonlandırılır.

Not 2: Şekil 5.14'teki geliştirilen KAY sistem akış diyagramı kullanılarak 5. adımda belirtilen boş kapılara atama gerçekleştirilir.

5.4. Deney Tasarımı İle Genetik Algoritma Parametrelerinin Seçilmesi

Geliştirilen çözüm yönteminde parametrelerin uygun değerlerinin belirlenmesi amacıyla deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde kullanılan faktörler çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve nesil sayısıdır. Her faktör üç seviyelidir. Bunlar çaprazlama oranı için 0.3, 0.7 ve 0.9 mutasyon oranı için 0.2, 0.5, 0.8 ve nesil sayısı için 20, 30, 50' dir. Her deney 2 tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Buna göre $3^3 \times 2 = 54$ deney yapılmıştır. Deney sonunda sağlanan uyum değerleri ve yakınsama grafiklerinin bir kısmı Ek 4 'te gösterilmektedir.

Deney tasarımında deney sayısının fazla olması deneyin doğruluğunun sınamasında daha tutarlı sonuç verirken, çalışmada her bir deney süresin uzun olması nedeniyle tekrar sayısı az alınabilmiştir. Bu çalışmadan beklenen amaç geliştirilen programın çözümünde, en iyi sonucu verecek GA parametrelerinin belirlenmesidir. Hangi parametre oranlarının en iyi sonucu verdiği belirlendikten sonra tez çalışması için zamana bağlı KAY geliştirilmiştir.

Faktörler	Seviyeleri		
Mutasyon oranı	0.3	0.7	0.9
Çaprazlama oranı	0.2	0.5	0.8
Nesil sayısı	20	30	50

Şekil 5.15. Deney tasarımı faktör ve oranları

Bu tez çalışması bir gerçek hayat problemi olduğundan firmadan elde edilen verilerle de sınanmaktadır. Ancak elde edilen bilgiler firmanın gizlilik politikası gereği aynen eke konulmamış, dönüştürme yapılarak sunulmaktadır. Elde edilen deney sonuçları Minitab 15 programı ile analiz edilmektedir. Yapılan varyans analiz sonuçları izleyen şekillerde verilmektedir. Ek 8'de 3^3 ' lük 2 tekrarlı deney tasarımı gösterilmektedir. Faktörlerin gerçek oran değerleri 1, 2, 3 şeklinde simgesel bir gösterimle ifade edilmektedir.

General Linear Model: SONUC versus Çaprazlama Oranı; Mutasyon Oranı; ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Çaprazlama Oranı	fixed	3	1; 2; 3				
Mutasyon Oranı	fixed	3	1; 2; 3				
Nesil Sayısı	fixed	3	1; 2; 3				
Analysis of Variance for SONUC, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Çaprazlama Oranı	2	18533	18533	9267	4,63	0,019	
Mutasyon Oranı	2	739733	739733	369867	184,93	0,000	
Nesil Sayısı	2	12933	12933	6467	3,23	0,055	
Çaprazlama Oranı*Mutasyon Oranı	4	22667	22667	5667	2,83	0,044	
Çaprazlama Oranı*Nesil Sayısı	4	3067	3067	767	0,38	0,819	
Mutasyon Oranı*Nesil Sayısı	4	13867	13867	3467	1,73	0,172	
Çaprazlama Oranı*Mutasyon Oranı*Nesil Sayısı	8	10933	10933	1367	0,68	0,702	
Error	27	54000	54000	2000			
Total	53	875733					
S = 44,7214 R-Sq = 93,83% R-Sq(adj) = 87,90%							

Şekil 5.16. Varyans analizi sonuçları 1

Şekil 5.16'dan elde edilen sonuçlara göre ana faktörlerden çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve nesil sayısı ($p < 0.05$) sonuç üzerinde etkilidir. Birleşik etkilerden ise, çaprazlama oranı*mutasyon oranı birleşik etkisinin sonuçta etkili olduğu genel lineer model tablosundan görülmektedir. Bundan sonraki adımda, en yüksek mertebeden başlanarak etkin olmayan faktörler çıkarılarak etkin olan faktörler kalıncaya kadar analize devam edilir.

General Linear Model: SONUC versus Çaprazlama Oranı; Mutasyon Oranı; ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Çaprazlama Oranı	fixed	3	1; 2; 3				
Mutasyon Oranı	fixed	3	1; 2; 3				
Nesil Sayısı	fixed	3	1; 2; 3				
Analysis of Variance for SONUC, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Çaprazlama Oranı	2	18533	18533	9267	4,99	0,012	
Mutasyon Oranı	2	739733	739733	369867	199,36	0,000	
Nesil Sayısı	2	12933	12933	6467	3,49	0,042	
Çaprazlama Oranı*Mutasyon Oranı	4	22667	22667	5667	3,05	0,029	
Çaprazlama Oranı*Nesil Sayısı	4	3067	3067	767	0,41	0,798	
Mutasyon Oranı*Nesil Sayısı	4	13867	13867	3467	1,87	0,138	
Error	35	64933	64933	1855			
Total	53	875733					
S = 43,0725 R-Sq = 92,59% R-Sq(adj) = 88,77%							

Şekil 5.17. Varyans analizi sonuçları 2

Buna göre üçlü etkileşim çıkarıldığında ortaya çıkan tablo, Şekil 5. 17'de görülmektedir. Ardından çaprazlama oranı ve nesil sayısının ikili etkileşimi çıkarılarak, etkin faktörler kalıncaya kadar işleme devam edilir. Şekil 5. 18'de verilen analiz sonuçlarına göre mutasyon oranı ve nesil sayısının ikili

etkileşiminin de önemli olmadığı görülmektedir ($p > 0.05$). Sonraki aşamada da bu iki faktör etkileşimi çıkarılarak son tabloya erişilmektedir.

General Linear Model: SONUC versus Çaprazlama Oranı; Mutasyon Oranı; ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Çaprazlama Oranı	fixed	3	1: 2: 3				
Mutasyon Oranı	fixed	3	1: 2: 3				
Nesil Sayısı	fixed	3	1: 2: 3				
Analysis of Variance for SONUC, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Çaprazlama Oranı	2	18533	18533	9267	5,31	0,009	
Mutasyon Oranı	2	739733	739733	369867	212,13	0,000	
Nesil Sayısı	2	12933	12933	6467	3,71	0,034	
Çaprazlama Oranı*Mutasyon Oranı	4	22667	22667	5667	3,25	0,022	
Mutasyon Oranı*Nesil Sayısı	4	13867	13867	3467	1,99	0,115	
Error	39	68000	68000	1744			
Total	53	875733					
S = 41,7563 R-Sq = 92,24% R-Sq(adj) = 89,45%							

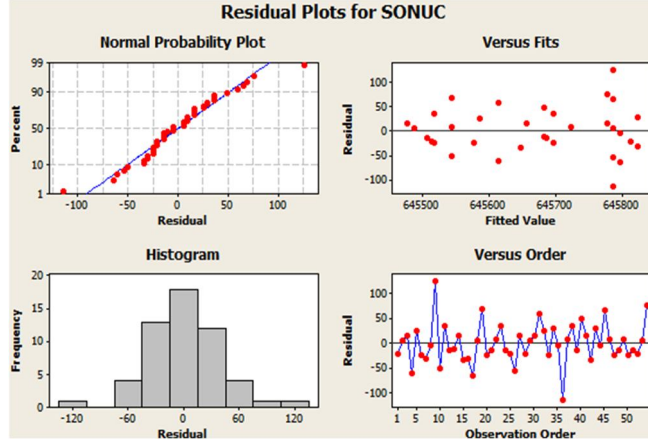
Şekil 5.18. Varyans analizi sonuçları 3

Şekil 5. 19 incelendiğinde tüm faktörlerin sonuç üzerinde etkin olduğu anlaşılabacaktır ($p < 0.05$).

General Linear Model: SONUC versus Çaprazlama Oranı; Mutasyon Oranı; ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Çaprazlama Oranı	fixed	3	1: 2: 3				
Mutasyon Oranı	fixed	3	1: 2: 3				
Nesil Sayısı	fixed	3	1: 2: 3				
Analysis of Variance for SONUC, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Çaprazlama Oranı	2	18533	18533	9267	4,87	0,012	
Mutasyon Oranı	2	739733	739733	369867	194,27	0,000	
Nesil Sayısı	2	12933	12933	6467	3,40	0,042	
Çaprazlama Oranı* Mutasyon Oranı	4	22667	22667	5667	2,90	0,080	
Error	43	81867	81867	1904			
Total	53	875733					
S = 43,6334 R-Sq = 90,65% R-Sq(adj) = 88,48%							

Şekil 5.19. Varyans analizi sonuçları 4

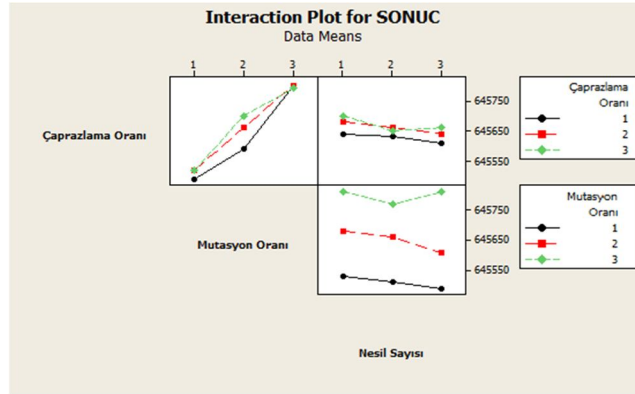
Etkin faktörler sağlandıktan sonra normal dağılıma uygunluk, sabit varyanslılık, bağımsızlık test sonuçlarına göre modelin uygunluğuna karar verilir.



Şekil 5.20. Artıklar grafiği

Şekil 5.20'deki Artıklar grafiğinde; ilk parçada hatalar bir doğrunun etrafında dağılım gösterdiği için hataların normal dağılıma uygun olduğu söylenebilir. İkinci grafikten yola çıkarak hataların sabit varyanslılık gösterdiği söylenebilir. Son grafikte hatalar belirli bir düzen göstermediği için hataların birbirinden bağımsız olduğu söylenebilir. Sonuç olarak hatalar üç varsayıma da uymaktadır.

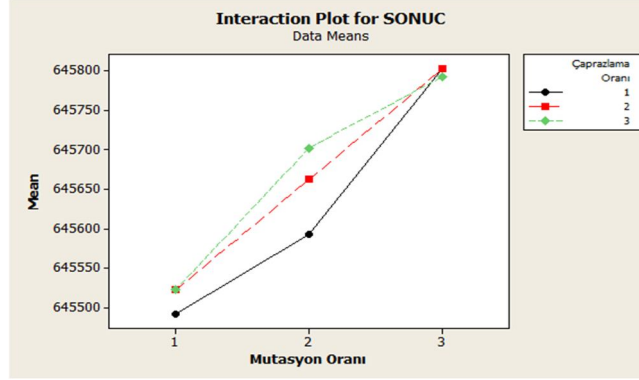
Öncelikle etkileşim grafikleri yorumlanır ardından ana etkiler grafikleri yorumlanır. Buna göre etkileşim grafiği Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21. Etkileşim grafiği

Buna göre Şekil 5. 22 incelendiğinde, mutasyon oranı ilk seviyedeyken, çaprazlama oranı da 1 seçildiğinde sonuç minimumdur (645500'ün altında bir değer). Mutasyon oranı 1, çaprazlama oranı 2 veya 3 seçildiğinde sonuç 645550 ile 645500 arasındadır. Mutasyon oranı 2 seçildiğinde, çaprazlama oranı 1

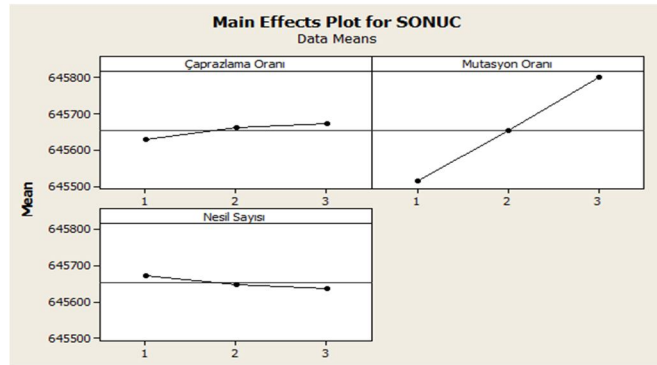
seçilirse sonuç 645600 ile 645550 arasında bir değer almaktadır. Mutasyon oranı 2 iken çaprazlama oranı 2 seçilirse sonuç 645650 civarındadır. Mutasyon oranı 2 iken çaprazlama oranı 3 seçilirse sonuç 645700'e çok yakın çıkmaktadır.



Şekil 5.22. Çaprazlama oranı mutasyon oranı etkileşim grafiği

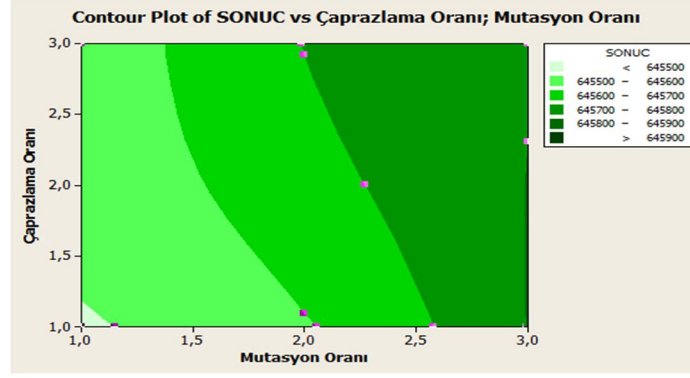
Mutasyon oranı 3 seçilirken, çaprazlama oranı 1,2 ya da 3 seçilirse sonuçlar aynı çıkmaktadır ve değeri 645800 olmaktadır. Son genel lineer grafiğine göre mutasyon oranı ve çaprazlama oranı ikili etkileşim grafiği etkin olduğundan diğer grafikler açıklanmamıştır zaten etkin değildirler.

Etkin faktörler için ana etkiler grafiği Şekil 5. 23'te çizilmiştir. Çaprazlama oranı 1. seviyedeyken uygunluk değeri minimumdur. Mutasyon oranı 1. seviyedeyken uygunluk değeri minimumdur. Nesil sayısı 3. seviyedeyken uygunluk değeri minimumdur.



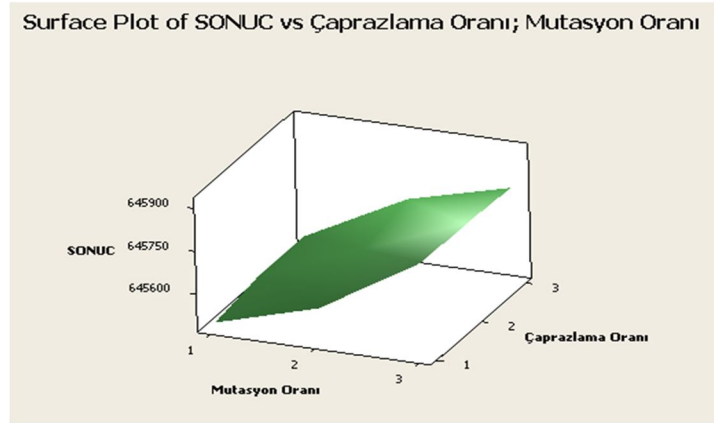
Şekil 5.23. Ana etkiler grafiği

Çaprazlama oranı ve mutasyon oranı için eşyükseleli grafiğinde (contour plot) çizildiğinde; iki faktöründe en düşük seviyeleri için sonuç en küçüklenmiştir.



Şekil 5.24. Çaprazlama oranı mutasyon oranı eşyükseiti eğrisi

Çaprazlama oranı ve mutasyon oranı için çizilen yüzey grafiğinde (surface plot), iki faktörün de en düşük seviyelerinde sonuç değeri en küçük çıkmıştır. Yüzey grafiği düzlemsel değildir (eğriseldir) çünkü faktörler arasında ilişki vardır.



Şekil 5.25. Çaprazlama oranı mutasyon oranı yüzey grafiği

İstenen amaç en küçük maliyetin bulunması olduğundan birleşik etkiler grafiği ve sonuç tablosundan da görüldüğü gibi çaprazlama oranı 1. seviyede yani 0.3 değerini aldığıında en iyi sonuç sağlanmaktadır. Mutasyon oranı 1. seviyede yani 0.2 değerini aldığıında uyum değeri iyileşmektedir. Nesil sayısının diğer faktörlerle etkileşimi sonuç üzerinde iyileştirme sağlamazken, tek başına 3. Seviyede yken yani 50 değerini aldığıında sonuç iyileşmektedir.

5.5. Çözüm Yaklaşımının Örnek Veri Kümeleri Üzerinde Kullanılması

Geliştirilen çözüm yaklaşımı değişik örnek setlerinde denenerek sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

5.5.1. Değişen araç ve kapı sayısına göre geliştirilen program analizi

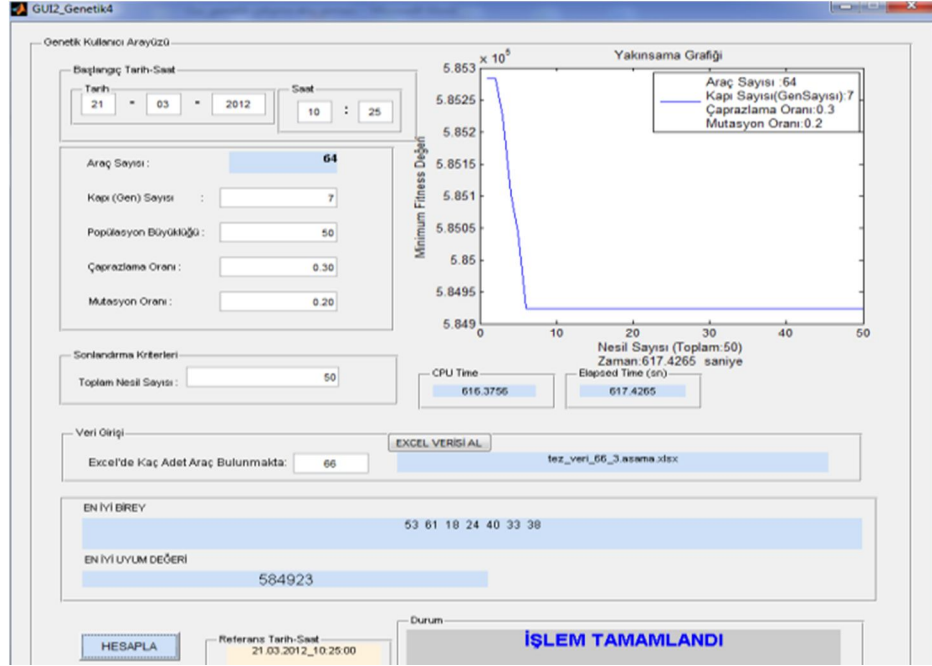
Çalışma farklı büyüklükteki veri setleriyle denenmiştir. İlk veri seti 141 araçtan oluşmaktadır ve araç- müşteri bilgilerinin yer aldığı veri tabanı KAY'dan okutularak işlemler sürdürülmüştür. İlk örnek detaylı biçimde gösterilmiştir, diğer örnek setlerinin sadece sonuçları verilmiştir. Buna göre 141 araç-müşteri bilgisinin yer aldığı veri tabanından çekilmiştir. Sistem başlangıç tarih ve saati 21.03.2012 saat 08: 25 olarak alınmıştır. Saat 8: 25'e kadar gelen araçlar sistem tarafından seçilmiştir. 141 araç setinin 74 tanesi sabah saat 8: 25'e kadar atanmak için hazır olanlardır. Başlangıç kapı sayısı 10 alınmıştır. Ancak atanan araçların yükleme sürelerine (kapı doluluk süresi) bağlı olarak kapı sayısı sürekli değişecektir. Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, nesil sayısı bilgileri de girildikten sonra program çalıştırılmıştır.

SAAT: 08: 25

BİREY: 57 56 64 53 6 10 4 18 67 43

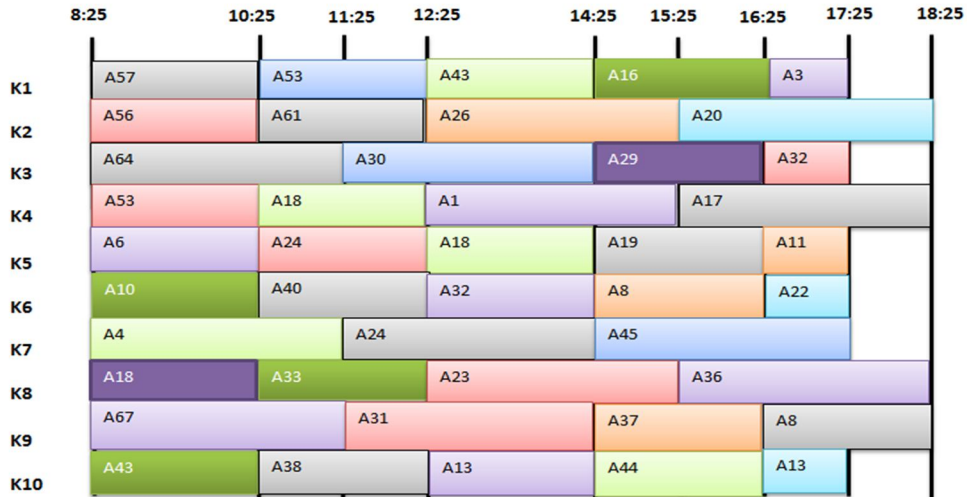
DOLULUK: 120 120 180 120 120 120 180 120 180 120

Sistem iki saat (en kısa doluluk süresi) sonra boşalan 7 kapıya yeniden atama yapacaktır. Buna göre atanan ilk araçlar veri tabanından çıkarılarak saat 10: 25'e kadar gelen araç listesi güncellenir. Bu kez 64 araç kapılara atanmak için beklemektedir. İstenen diğer veriler de girilerek program çalıştırıldığında Şekil 5.26 'daki grafik çıkmaktadır.



Şekil 5.26. Sonuç grafiği KAY

Yukarıda detaylı biçimde anlatılmaya çalışılan dinamik bir meta-sezgisel algoritmanın çalışma prensini göstermektedir. Sistem saat 17: 00'ye kadar çalıştırılmıştır. Buna göre hazırlanan çizelge Şekil 5. 27'de gösterilmiştir.

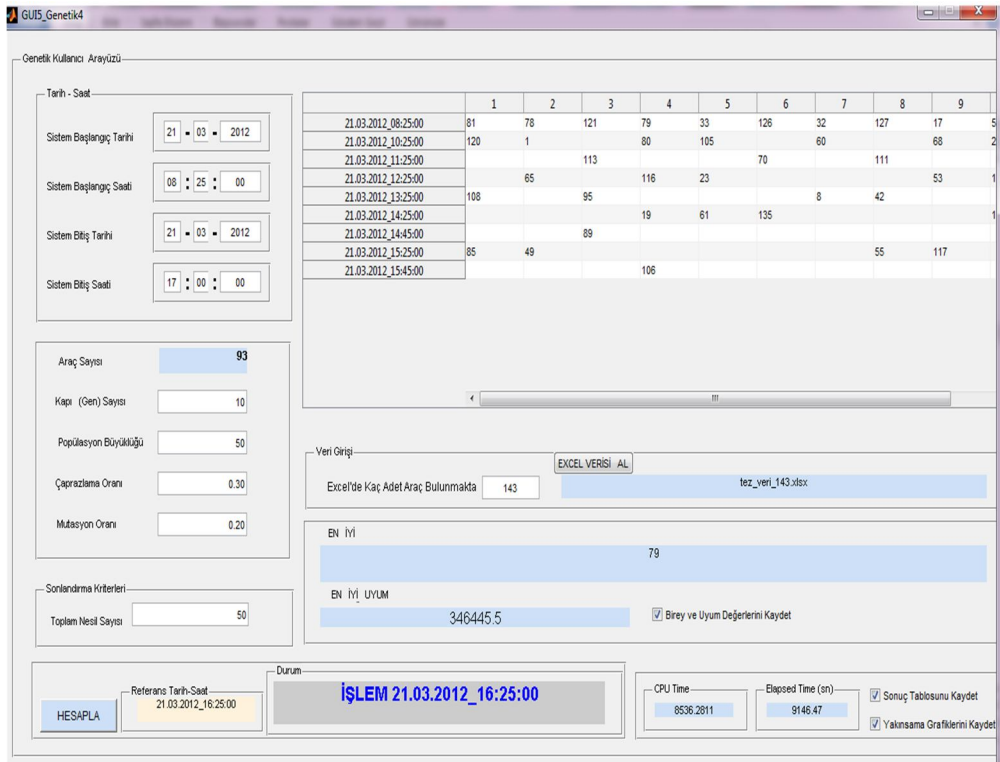


Şekil 5.27. Araç-kapı atama çizelgesi

Bu çizelge incelendiğinde hangi aracın saat kaçta hangi kapıda olduğu ve doluluk süreleri rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca gün boyunca kaç kapının kaç

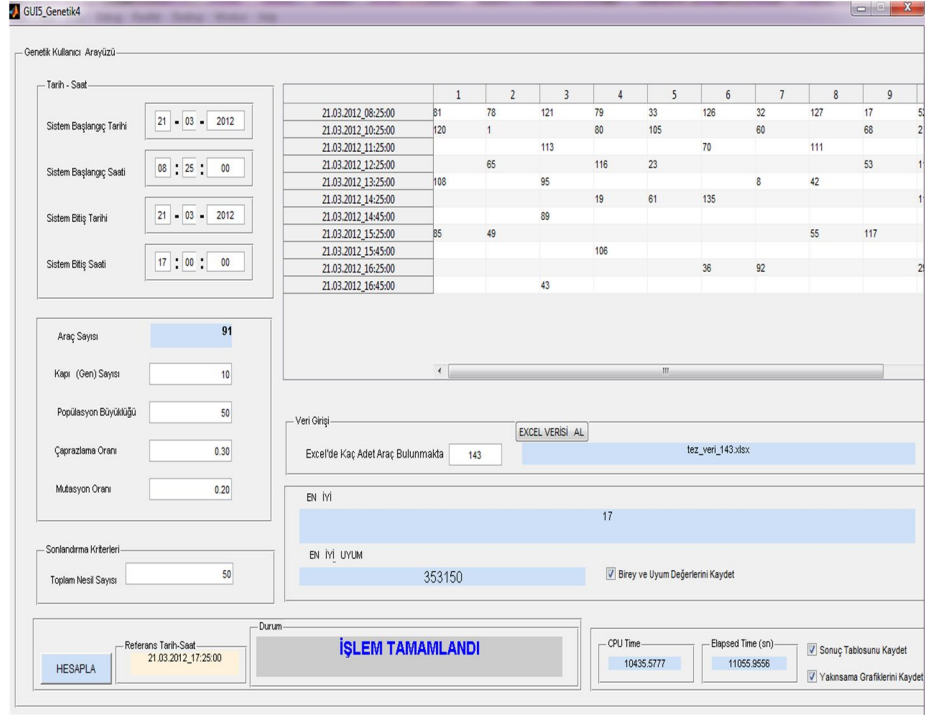
araca hizmet ettiği, hangi araçların hangi sırayla sisteme alındığı, yapılan işlemlerin gün sonundaki özet raporu olarak düşünülebilir.

Hazırlanan genetik algoritma programı bir tam günlük ya da belirlenen zaman periyodu için gelen, gelecek araçların dahil olduğu otomatik olarak veri güncelleyen bir çizelgeleme ve atama programı olarak geliştirilmiştir. Program hem atama hem de atanan araçların otomatik olarak en kısa boşalma sürelerine göre çizelgesini yapabilmektedir.



Şekil 5.28. Saat 16: 25 için hazırlanan çizelge

Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da saat 16: 25 ve 17: 25 için çıkan ara yüzde hangi araçlar hangi kapıda hangi sırayla atanmakta ve atanan araçların kapıları meşgul etme süreleri gözlemlenebilmektedir.

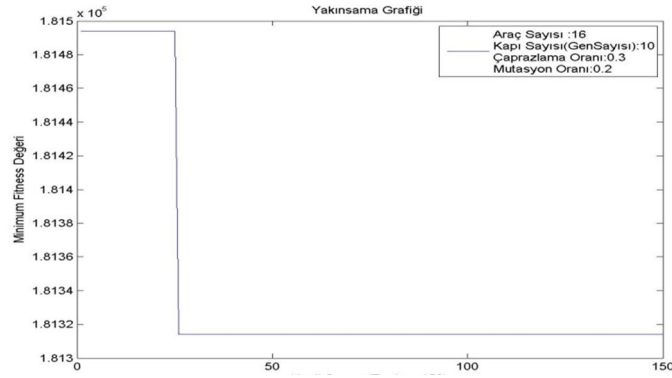


Şekil 5.29. Saat 17: 25 için hazırlanan çizelge

31 araçlık 2. veri seti sabah 08: 25-17: 00 arasında çalıştırıldığında her zaman dilimi için hangi aracın hangi kapıda işlem gördüğü Çizelge 5. 4'te sunulmuştur. Ayrıca her zaman dilimi için uygunluk değerleri ve ilk zaman dilimi için yakınsama grafiği Şekil 5. 30 'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. İkinci veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	30	24	15	7	16	4	12	26	28	11	181314
21.03.2012_10:25:00		2		6		19	21	22	27	9	52676,5
21.03.2012_11:25:00	10		18		23						30844,5

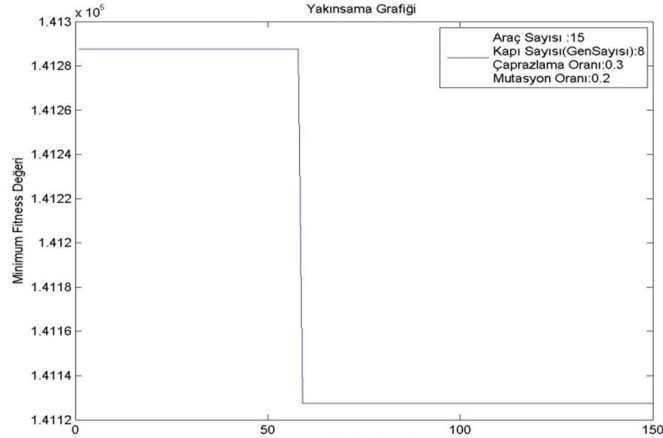


Şekil 5.30. İkinci veri seti yakınsama grafiği

37 araçlık 3. veri seti sabah 08: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 5 'te araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 31' de ikinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.5. Üçüncü veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	14	8	3	19	10	34	4	32	21	31	196665,5
21.03.2012_10:25:00	22	20	18			5	11	15	29	36	141127,5
21.03.2012_11:25:00				23	25						69272,5
21.03.2012_12:25:00	2					26	7	24	1		76747,5
21.03.2012_12:45:00				37	28						32812
21.03.2012_13:25:00		17	27							30	26209

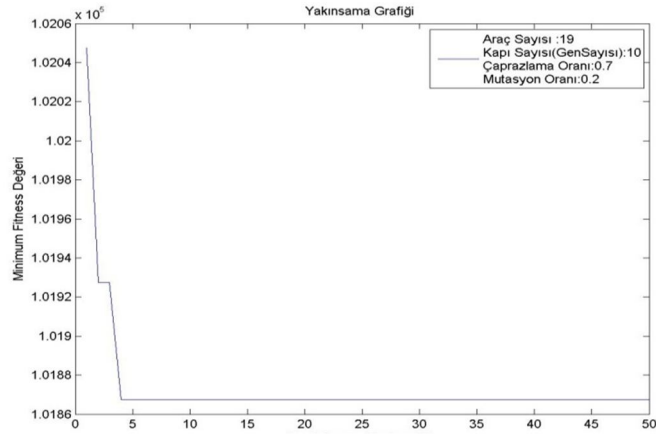


Şekil 5.31. Üçüncü veri seti yakınsama grafiği

40 araçlık 4. veri seti sabah 08: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 6'da araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 32'de ikinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.6. Dördüncü veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	14	8	3	19	10	34	4	32	21	31	196665,5
21.03.2012_10:25:00	22	20	18			5	11	15	29	36	141127,5
21.03.2012_11:25:00				23	25						69272,5
21.03.2012_12:25:00	2					26	7	24	1		76747,5
21.03.2012_12:45:00				37	28						32812
21.03.2012_13:25:00		17	27							30	26209

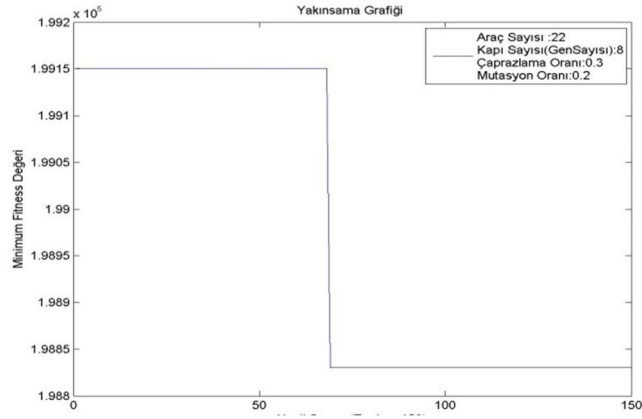


Şekil 5.32. Dördüncü veri seti yakınsama grafiği

54 araçlık 5. veri seti sabah 08: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 7 'de araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 33'te ikinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.7. Beşinci veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	19	43	29	22	31	24	51	35	32	5	269077,5
21.03.2012_10:25:00	6	49		11	20		14	42	1	27	198830,5
21.03.2012_11:25:00			44			46					112333,5
21.03.2012_12:25:00	53	26		45	15		16	4			112460
21.03.2012_13:25:00			37			10			7	9	87125
21.03.2012_14:25:00				8	25		47	39			86648,5
21.03.2012_14:45:00			28								54973,5
21.03.2012_15:25:00	2	12				50			3	41	53629
21.03.2012_15:45:00				38	52						18917

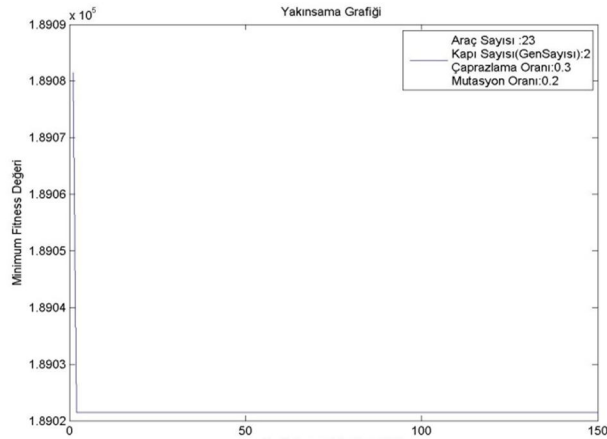


Şekil 5.33. Beşinci veri seti yakınsama grafiği

63 araçlık 6. veri seti sabah 09: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 8. 'da araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 34'te beşinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.8. Altıncı veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_09:25:00	50	57	61	15	32	9	3	24	23	47	370805
21.03.2012_11:25:00	56		39	37	54	39		33	19	26	330594,5
21.03.2012_12:35:00		1					27				251004,5
21.03.2012_13:25:00	53		11	5	4	12			40		242026,5
21.03.2012_14:35:00								20		51	189021,5
21.03.2012_15:25:00	17		42	62	21	29			16		195352
21.03.2012_15:45:00		64					30				153464
21.03.2012_16:35:00								59		25	138349,5
21.03.2012_15:45:00				38	52			0			18917

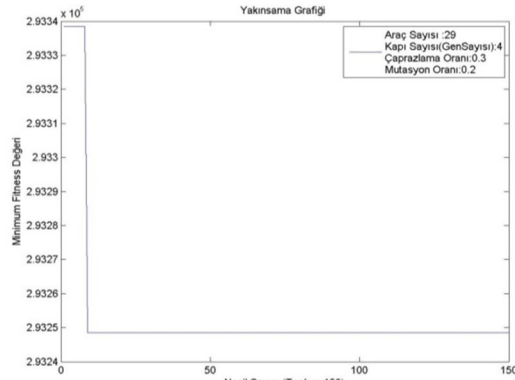


Şekil 5.34. Altıncı veri seti yakınsama grafiği

74 araçlık 7. veri seti sabah 08: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 9 'da araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 35'da beşinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.9. Yedinci veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	43	6	18	27	56	45	64	44	57	53	374816,5
21.03.2012_10:25:00	21	41	22	28	10	30		61	38	1	312858
21.03.2012_11:25:00							36				235232,5
21.03.2012_12:25:00	48	29	4	60	70			62			273916,5
21.03.2012_13:25:00						12			67	16	277828
21.03.2012_14:25:00	23			13	63		31	24			299946,5
21.03.2012_15:25:00		66	72			39				35	293248,5
21.03.2012_16:25:00	59			17	42			25	20		244617,5

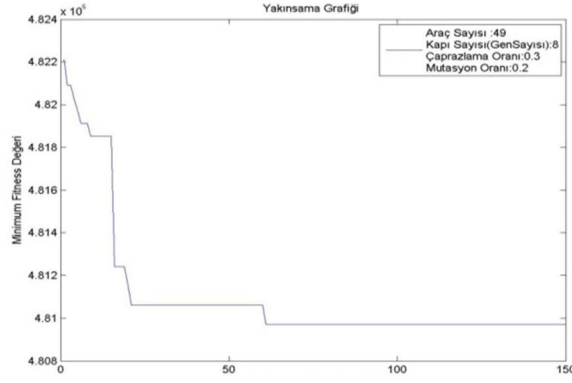


Şekil 5.35. Yedinci veri seti yakınsama grafiği

81 araçlık 8. veri seti sabah 10: 30-16: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 10 'de araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 36'da beşinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.10. Sekizinci veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_10:30:00	62	25	39	56	2	1	31	54	53	70	383862,5
21.03.2012_12:30:00		71	36	46		9					404220,5
21.03.2012_13:30:00	75				13		12	8	73	10	423821,5
21.03.2012_14:30:00				65		32					431425
21.03.2012_15:30:00	72	63	26		49		64	45	41	47	480971,5

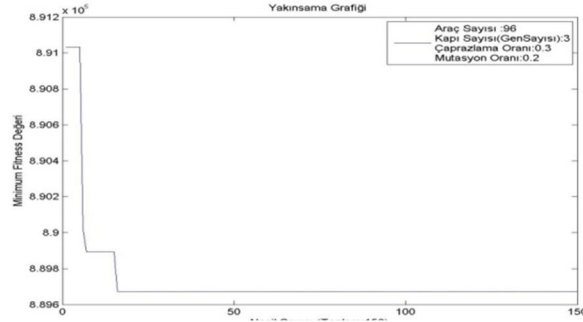


Şekil 5.36. Sekizinci veri seti yakınsama grafiği

141 araçlık 9. veri seti sabah 9: 30-16: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 11 'de araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 37'de yedinci zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.11. Dokuzuncu veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_09:30:00	121	78	42	79	81	120	102	55	105	2	818830
21.03.2012_11:30:00		112	113	125	40		11		68	65	907951,5
21.03.2012_12:30:00	44					109		135			888905,5
21.03.2012_13:30:00		108	136		19		101		50		894572
21.03.2012_14:30:00	89			52		85		26		106	885778
21.03.2012_14:50:00					88						858942,5
21.03.2012_15:30:00		43					23		82		889672,5

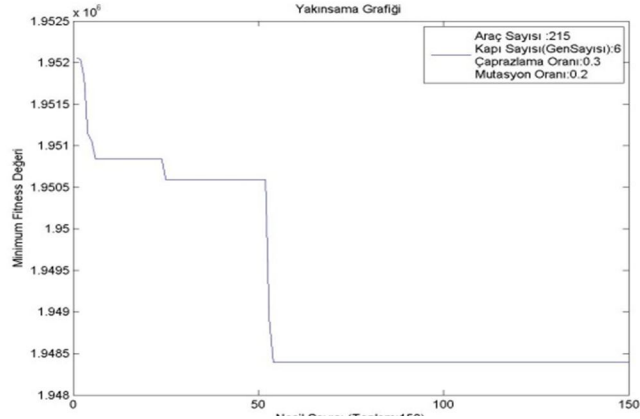


Şekil 5.37. Dokuzuncu veri seti yakınsama grafiği

302 araçlık 10. veri seti sabah 8: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Çizelge 5. 12 'de araç-kapı atamaları ve Şekil 5. 38'de altıncı zaman dilimi için yakınsama grafiği verilmiştir.

Çizelge 5.12. Onuncu veri seti sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	214	185	121	181	81	288	175	152	182	135	1174020,5
21.03.2012_10:25:00	284				105		275	120		113	1607283,5
21.03.2012_11:25:00		65	199	172		209			54		1719583
21.03.2012_12:25:00					276					142	1807948
21.03.2012_13:25:00	89						108	207			1880113
21.03.2012_14:25:00		43	243	235		252			82	232	1948397
21.03.2012_15:25:00	260				268		143				2049294
21.03.2012_16:25:00		106	85	212				151	167	283	2165491



Şekil 5.38. Onuncu veri seti yakınsama grafiği

320 araç 40 kapılık 11. veri seti sabah 8: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Ek 10'da, 400 araç 40 kapılık 12. veri seti sabah 8: 25-17: 30 arasında çıkan sonuçlar Ek 11'de, 120 araç 40 kapılık 13. veri seti sabah 8: 25-17: 00 arasında çıkan sonuçlar Ek 12'de sunulmuştur.

Çizelge 5.13. Değişen verilere göre CPU ve uygunluk değerleri

CPU	Kapı sayısı			
Araç Sayısı	10	20	30	40
50	179,0423	0,4992	0,468	0,3588
60	191,2884	0,5616	0,3432	0,3276
80	173,613	0,4836	0,4524	0,4056
120	531,23	529,2958	526,0978	522,3381
140	882,5445	726,8399	688,7444	672,5047
200	1162,5039	1081,1337	1048,4515	1026,4866
220	1365,82	1329,4249	1324,3237	1186,8712
300	1260,0513	1154,4074	1151,225	1139,9773
350	1529,2154	1480,8395	1395,9281	1267,1805
400	1954,3805	1940,6056	1854,1343	1585,5942

Çizelge 5.13 ve 5.14’te değişen araç ve kapı sayılarına göre çıkan CPU ve uygunluk değerleri tablolar halinde iki farklı zaman dilimi için verilmiştir

Çizelge 5.14. Değişen verilere göre CPU ve uygunluk değerleri

CPU	Kapı Sayısı			
Araç Sayısı	10	20	30	40
50	296,1835	292,2991	0,8736	0,7332
60	345,0898	1,5444	0,7176	0,702
80	401,765	391,2973	387,8653	1,326
120	913,9319	841,3446	790,2075	786,0734
140	1116,2964	1113,8339	1093,1302	1075,0809
200	1686,792	1584,2214	1552,5844	1540,7907
220	3266,8325	3031,6354	2559,9296	2512,7393
300	1883,6341	1857,2075	1843,4648	1813,1101
350	1987,2803	1921,5086	1884,2593	1861,1338
400	2118,8524	2116,3252	2101,2243	2074,2517

5.5.2. Sonuçların çözüm kalitesi yönüyle karşılaştırılması

İşletme deposuna gidilerek yarım / bir günlük veri seti gözlem yapılarak alınmıştır. Araçların kapılara depo yöneticileri tarafından nasıl atandığı izlenmiştir. Buna göre depo sorumlusu araç atamalarında şu yöntemi izlemektedir:

Depoda A tipi müşteri araçları en öncelikli araçlar olup, her zaman ataması yapılan araçlardır. Bu araçlar tüm kapılar dolu olsa bile içlerinde A sınıfında yer almayan her hangi araç kapıdan çıkartılarak yerine gelen yeni araç atanır. Bu işlemin ilk bakışta anlamlı olmadığı hatta aynı işlemin iki kez yapılması nedeniyle akılcı bir yöntem gibi gözükme de yapılan maliyet hesaplamalarında zaman zaman isabetli olduğu gözlenmektedir. Ancak bu yöntemin her zaman doğru göstermemektedir. Çünkü yükleme işlemine başlanmış bir aracın, yükleme yarıda bırakılıp kapıdan çıkartılması, ardından diğer aracın yükleme yapılması ve bu aracın yükleme bittikten sonra yarım kalan işlemin tamamlanması için aracın ikinci kez gelmesi hiç bilimsel, makul bir yol değildir. Tamamen zaman, işgücü ve enerji kaybıdır. Firma sırf prensip anlaşması gereği acil sınıfına koyduğu müşteri araçlarına öncelik vermektedir. Aslında bu durum maliyeti düşüreceği sanıldığından yapılmaktadır. Bu her zaman doğru değildir. Çünkü B sınıfında veya C sınıfındaki bir aracın maliyeti erken ya da geç teslim süresine göre fazla olabilmektedir. Bu çalışmanın en büyük faydalarından biri de işletmenin kazançlı sandığı o külfetli yolun her zaman kazanç sağlamadığı aksine kayıplara yol açtığı gösterilmesidir.

18 araç 10 kapı için çalışan sistemin verileri alınmıştır. Mevcut sistem ile geliştirilen yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu şekilde önerilen yöntemin işlerliği hakkında daha somut bir dayanak sağlanmıştır. Mevcut sisteme göre hangi araçların hangi kapılara ne zaman atandığı gözlenmiş, bu atamalara göre maliyet hesabı yapılmıştır. Aynı sistem genetik algoritmalar yöntemiyle de çözülmüştür. Meta-sezgisel bir yöntem olan genetik algoritmalarda seçilen araçlar rastgele ve amaca paralel olduğundan çıkan sonuçlar kıyaslanmıştır. Burada hatırlanması gereken meta-sezgisel yöntemlerin en iyiyi garanti etmemesi ancak optimuma yakın sonuçlar vermesidir.

Aşağıdaki Çizelge 5.15'te müşterilerle ilgili gerekli bazı bilgiler verilmiştir. Bu verilere dayanarak geliştirilen yöntemden sağlanan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.15. Örnek veri seti

No	Plaka	Araç tipi	İl	Müşteri Adı	Mesafe	Araçın fabrikaya geliş tarihi	Müşterinin istediği teslim tarihi	Yükleme işlemi süresi	Müşteri için gidilen yol süresi	Müşterinin sipariş verdiği Müşteri mesai (Müşteri tipi)	Müşteri mesai (Müşteri tipi)	
1	26EE997	TIR	SAKARYA	M1	174	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_11:00:00	180	03:00	19.03.2012_08:00:00	9	B
2	26EE997	TIR	İZMİR	M2	211	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_13:00:00	180	03:30	18.03.2012_08:00:00	9	A
3	26KU526	TIR	ŞANLIURFA	M3	1030	21.03.2012_08:30:00	22.03.2012_23:00:00	180	17:00	21.03.2012_08:00:00	24	A
4	26LD365	KAMYON	KOCAELİ	M4	211	21.03.2012_09:00:00	23.03.2012_05:00:00	120	03:30	18.03.2012_08:00:00	24	A
5	26NK207	KAMYON	AYDIN	M5	478	21.03.2012_08:10:00	23.03.2012_09:00:00	120	08:00	20.03.2012_08:00:00	13	C
6	26PH064	KAMYONET	İSTANBUL	M6	322	21.03.2012_08:20:00	25.03.2012_13:00:00	80	05:30	20.03.2012_08:20:00	13	C
7	26RT868	KAMYONET	ADANA	M7	688	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_13:00:00	80	11:40	16.03.2012_09:00:00	13	B
8	26RT882	KAMYON	İSTANBUL	M8	322	21.03.2012_08:15:00	22.03.2012_15:00:00	120	05:30	20.03.2012_09:25:00	9	B
9	26RY136	TIR	ANKARA	M9	233	21.03.2012_08:00:00	23.03.2012_11:00:00	180	03:50	21.03.2012_11:15:00	9	C
10	26RY136	TIR	TOKAT	M10	611	21.03.2012_08:30:00	24.03.2012_15:00:00	180	10:10	17.03.2012_09:00:00	24	B
11	26RY029	KAMYON	BALIKESİR	M11	300	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_11:55:00	120	05:00	18.03.2012_08:00:00	9	A
12	26SS875	KAMYONET	AYDIN	M12	478	21.03.2012_08:00:00	23.03.2012_09:00:00	80	08:00	16.03.2012_09:00:00	13	A
13	26TV121	KAMYONET	DENİZLİ	M13	355	21.03.2012_08:15:00	22.03.2012_16:00:00	80	06:00	18.03.2012_14:13:00	24	B
14	26UT075	KAMYON	VAN	M14	1454	21.03.2012_08:20:00	23.03.2012_19:00:00	120	00:00	17.03.2012_12:17:00	24	C
15	42CAF13	TIR	BURSA	M15	149	21.03.2012_08:00:00	24.03.2012_08:00:00	180	02:45	16.03.2012_08:30:00	9	B
16	68EE844	KAMYON	BURSA	M16	149	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_14:20:00	120	02:45	18.03.2012_10:00:00	13	C
17	26SC063	KAMYONET	ERZURUM	M17	1104	21.03.2012_08:00:00	22.03.2012_15:36:00	80	18:00	19.03.2012_18:00:00	13	C
18	26NF066	KAMYONET	SAMSUN	M18	647	21.03.2012_08:00:00	21.03.2012_22:55:00	80	11:00	19.03.2012_21:00:00	24	A

Çizelge 5.16, 5.17 ve 5.18, 5.19, 5.20'e göre çıkan uygunluk ve CPU değerleri her zaman aralığı için verilmiştir. Buna göre 18 araçtan hangilerinin hangi saat dilimine ve kapıya atanmak için seçildiği görülmektedir.

Çizelge 5.16. Programın ilk çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	15	6	5	12	2	16	9	13	14	17	63773,5	145,268
21.03.2012_09:45:00		3		8				11		10	32625	223,003
21.03.2012_10:25:00			4			7			18		12730	271,2233
21.03.2012_11:25:00	1										2855	271,3793

Çizelge 5.17. Programın ikinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	17	9	8	15	6	16	5	1	2	14	63773,5	145,175
21.03.2012_09:45:00	3				10						34925	221,911
21.03.2012_10:25:00			4			13	11			18	22075	222,052
21.03.2012_11:25:00		7		12							8790	222,208

Çizelge 5.18. Programın üçüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	14	9	15	17	6	2	5	16	1	12	63773,5	149,433
21.03.2012_09:45:00				8	3					11	33190	227,59
21.03.2012_10:25:00	4						18	7			22460	275,122
21.03.2012_11:25:00		13	10								12605	276,153

Çizelge 5.19. Programın dördüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	11	16	14	9	6	15	1	5	17	7	63773,5	145,003
21.03.2012_09:45:00					8				4	3	35660	222,707
21.03.2012_10:25:00	2	12	13					18			23020	270,822
21.03.2012_11:25:00				10							9065	270,974

Çizelge 5.20. Programın beşinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	6	5	13	15	9	1	11	16	17	14	63773,5	169,792
21.03.2012_09:45:00	3		2						10		35015	261,099
21.03.2012_10:25:00		8					7	4		18	18910	315,278
21.03.2012_11:25:00				12							5595	315,793

Programdan elde edilen veriler sunulduktan sonra depo sorumlusunun inisiyatifinde atanan araçlar için işletmede devam eden yöntemin sonuçları da Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Gerçek hayatta uygulanan yöntem sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	2	11	12	18	1	7	8	13	14	15	871405
21.03.2012_09:45:00			3	4		10		5			39769,5
21.03.2012_10:25:00		6					9		16		18640,5
21.03.2012_11:25:00					17						4412

Sistem bütünüyle değerlendirildiğinde GA sonuçlarının daha kazançlı olduğu gözlenmektedir.

Araçların fabrikaya geliş saatleri değiştirilerek mevcut yöntem ve GA yönteminin sonuçları yeniden karşılaştırılmıştır. Buna göre Çizelge 5.22, Çizelge 5.23, Çizelge 5.24, Çizelge 5.25, Çizelge 5.26’da GA’lara göre saat bazında atamalar gösterilmiş buna göre çıkan sonuçlar da tablolarda verilmiştir. Çizelge 5.27’de mevcut yönteme göre çıkan sonuçlar verilmiştir. Tablolar incelendiğinde mevcut yöntemle yapılan atamalarda ilk atamaların hep A ve B tipi öncelikli müşteriler olduğu gözlenmiştir. Uygunluk değerlerine bakıldığında bu durumun C tipi olarak nitelendirilen standart müşterilerin isteklerinin çok önemli görülmediğinden atamaları sonlara bırakılmış ve maliyeti artırmıştır. Çalışmayla doğru olduğu sanılan yöntemin çok da doğru olmadığı da ispatlanmaktadır. Buna göre GA ile bulunan sonuçların mevcut yöntemden daha iyi olduğu söylenebilir.

Ancak GA bir meta-sezgisel yöntem olduğundan en iyi bulma garantisi de yoktur. Bulunan sonuçlar en iyiye yakın sonuçlar olarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 5.22. Programın ilk çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	16	14	17	13	7	11	6	5	1	9	63773,5	152,928
21.03.2012_09:45:00			15	2	3		10				40255	240,92
21.03.2012_10:25:00	8	12				18		4			15735	241,38

Çizelge 5.23. Programın ikinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	14	5	9	8	7	6	15	11	17	16	63773,5	145,424
21.03.2012_09:45:00					2	3			1		34835	222,79
21.03.2012_10:25:00	12	13		18				4		10	25020	223,05

Çizelge 5.24. Programın üçüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	9	14	5	17	16	13	6	8	2	7	63773,5	154,535
21.03.2012_09:45:00				10		3	15			1	39660	249,992
21.03.2012_10:25:00		11	12		18			4			15380	250,506

Çizelge 5.25. Programın dördüncü çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	14	9	6	5	13	1	11	16	8	17	63773,5	150,026
21.03.2012_09:45:00			15		2					10	39890	226,73
21.03.2012_10:25:00	7			12			18	3	4		19875	227,169

Çizelge 5.26. Programın beşinci çalıştırma sonucu çıkan değerleri

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri	CPU
21.03.2012_08:25:00	16	11	6	14	15	9	17	5	8	7	63773,5	145,331
21.03.2012_09:45:00			2				10			1	34835	222,598
21.03.2012_10:25:00	12	13		18				3	4		20220	222,769

Çizelge 5.27. Gerçek hayatta uygulanan yöntem sonuçları

	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	2	3	4	11	12	18	7	8	10	13	89665
21.03.2012_09:45:00					1	15	5			6	40498
21.03.2012_10:25:00			9	14			16	17			14547

Ayrıca en iyi sonucu bilinen küçük bir problem için, GA ile sağlanan sonuç karşılaştırılarak en iyiye yakınlığı sorgulanmıştır. Beş araç üç kapı için verilen müşteri bilgileri doğrultusunda en iyi sonuç her saat başına bulunmuştur. Buna göre GA ile de aynı problem çözdürülmüştür ve çıkan sonuçlar

kıyaslanmıştır. Buna göre gerekli müşteri bilgileri aşağıdaki çizelgede sunulmaktadır.

Çizelge 5.28. Örnek veri seti

No	Plaka	Araç tipi	İl	Müşteri Ad	Mesafe	Tahmini yo	Araçın fabrikaya ge	Müşterinin istediği	Vükleme iş	Müşteri içi	Gidilen yol	Müşterinin sipariş verdiği	Müşteri mesai	Müşteri tipi
1	26RC093	TIR	İZMİR	M1	411 km.	06:35	21.03.2012_08:20:00	22.03.2012_16:00:00	180	06:35	395	20.03.2012_09:00:00	9	A
2	26RD029	TIR	AYDIN	M2	478 km.	07:40	21.03.2012_08:20:00	22.03.2012_14:00:00	180	07:40	460	20.03.2012_10:00:00	9	B
3	26RD029	KAMYONET	KONYA	M3	338 km.	05:05	21.03.2012_08:30:00	22.03.2012_15:00:00	80	05:05	305	20.03.2012_09:55:00	9	C
4	26RD029	KAMYON	SİVAS	M4	673 km.	10:20	21.03.2012_08:30:00	23.03.2012_18:00:00	120	10:20	620	20.03.2012_09:00:00	13	B
5	26RV011	KAMYON	ADANA	M5	688km.	10:35	21.03.2012_08:20:00	23.03.2012_18:00:00	120	10:35	635	20.03.2012_09:00:00	13	A

Saat 8: 25 itibariyle M1, M2, M5 araçları üç kapıya atanmaktadır. Saat 10: 25'te M5 aracı boşalarak yerine M4 aracı atanmaktadır. Diğer iki kapıdaki araçlar yükleme işlemine devam etmektedir. Saat 11: 25 itibariyle de M3 aracı atanmıştır. Araçların tamamı atanmıştır. Sistemin tek en iyi çözümü vardır. Buna göre elle çözülerek çıkan sonuçlar Çizelge 5.29'da sunulmaktadır ve saat 08: 25 için elle yapılan işlemler Ek 9'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.29. Problemin bilinen en iyi değerleri

	Kapı 1	Kapı 2	Kapı 3	Uygunluk Değeri
21.03.2012_08:25:00	M1	M2	M5	10680
21.03.2012_10:25:00			M4	7530
21.03.2012_11:25:00	M3			2040

GA kullanılarak aynı problem çözüldüğünde aynı saatte aynı araçlar atanmakta ve çıkan uygunluk değerleri de aynı olmaktadır. Ayrıca elde edilen CPU zamanları da 0.0312, 20.3737 ve 20.3893 olarak çıkmıştır. Bu sonuçlar en iyi sonucu bilinen bir problem için GA yönteminin de en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Ele alınan problemde araçların kapıya varış zamanları itibariyle en iyi tek durum söz konusudur. Bu sebeple bu problemin en iyi tek sonucu bilinmekte ve aynı performans GA'dan beklenmektedir. Elde edilen bu sonuçla birlikte geliştirilen GA yönteminin çözüm performansının iyi olduğu söylenebilmektedir. Şekil 5.39'da beş araç üç kapı için atama çizelgesi gösterilmektedir.

Genetik Kullanıcı Arayüzü

Tarih - Saat

Sistem Başlangıç Tarihi: 21 / 03 / 2012

Sistem Başlangıç Saati: 08 : 25 : 00

Sistem Bitiş Tarihi: 21 / 03 / 2012

Sistem Bitiş Saati: 17 : 00 : 00

Araç Sayısı: 1

Kapı (Gen) Sayısı: 3

Popülasyon Büyüklüğü: 50

Çaprazlama Oranı: 0.30

Mutasyon Oranı: 0.20

Sonlandırma Kriterleri

Toplam Nesil Sayısı: 50

	1	2	3
21.03.2012_08:25:00	1	2	5
21.03.2012_10:25:00			4
21.03.2012_11:25:00	3	0	

Veri Orijini: EXCEL VERİSİ AL

Excel'de Kaç Adet Araç Bulunmaktadır: 7

Sarac_OPTIMUMA YAKINLIK.xlsx

EN İyisi: 1

EN İYİ UYUM: 2040

☒ Birey ve Uyum Değerlerini Kaydet

HESAPLA

Referans Tarih-Saat: 21.03.2012_11:25:00

Durum: İŞLEM TAMAMLANDI

CPU Time: 20.3893

Elapsed Time (sn): 29.6924

☒ Sonuç Tablosunu Kaydet

☒ Yakınsama Grafiklerini Kaydet

Şekil 5.39. Saat 11: 25 için beş araç üç kapı sisteminin ataması

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Depo yönetim sistemine sahip işletmelerde gözlenen, araç ataması problemi bu çalışmada ele alınan amaçlar çerçevesinde hedefine ulaşmıştır ve elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Hangi aracın hangi kapıya ne zaman atanacağı sorusunun yanıtı yapılan çalışmayla karşılanmaktadır. Sürekli gelen ve giden araçların olduğu ve akan zamanın dikkate alındığı bu dinamik sistem, gerçek hayat verileriyle de sınanarak işletmenin mevcut uygulanan yöntemi ve çalışmayla geliştirilen meta-sezgisel yöntemin karşılaştırılması yapıldığında geliştirilen yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.
2. Çalışmada *sanal kapı yaklaşımı* kullanılarak daha objektif bir maliyet hesabı yapılmıştır. Bu yaklaşımla sadece atanan araçların maliyetlerinin hesabının yanıltıcı olacağı gösterilmiştir. Çünkü o saat dilimi için atanamamış araçların da o zaman diliminde atanamamaktan ötürü gecikme maliyetleri oluşacaktır. Bu durum sistemi bir bütün olarak ele almanın sonucudur.
3. Çalışmada meta-sezgisel bir yöntem olan genetik algoritmalar kullanılarak çözüm bulunmuştur. Araçların kapılara atanma olasılıkları kombinasyon hesabıyla bulunmaktadır. Buna göre araç ve kapı sayısı boyutuna göre hangi aracın hangi kapıya atanacağını hesabı büyümektedir. Böyle bir hesabın elle bulunması, bulunan sonucun ise optimuma yakın olabilmesi neredeyse mümkün değildir. Bu noktada genetik algoritmalar kullanılarak uygunluk fonksiyonunu yani amaç fonksiyonunu dikkate alarak en küçük maliyetle atamalar sağlanmaktadır. Bu şekilde en küçük maliyetle en öncelikli olan müşterinin talebi karşılanmıştır. Ayrıca işletmede verilen anlık-sezgisel kararlarla yapılan atama kararlarında kendilerine en az maliyetli olarak düşündükleri müşterilerin, sayısal hesaplamalar yapıldığında öyle olmadığı, diğer seçeneklerin daha isabetli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu açıdan işletmenin doğru karar verecek bir karar mekanizması olan matematiksel model ve çözüm yöntemine sahip olması sağlanmıştır.

4. Çalışmada genetik algoritmalar yöntemi ile yazılan programın çözüm kalitesinin değerlendirilmesi sonucunda, çözüm yönteminin ele alınan küçük boyutlu problemler için optimum sonuca çok yakın değerler verdiği gözlenmiştir. Farklı boyutlu problemler düşünüldüğünde elde edilen bu sonuçların daha büyük boyutlu problemlerde de aynı kalitede olmasa bile optimuma yakın sonuçlar vereceği kararına varılmıştır.
5. Yapılan çalışma ile yanlış atamalar sonucunda şirketlerin hem mali olarak olumsuz etkilenmesi hem de müşteri taleplerinin karşılanmaması sonucu ortaya çıkabilecek mağduriyetlerin önüne geçilmesi, çalışmanın en iyiye yakın sonuçlar vermesiyle sağlanmıştır.
6. Literatür incelendiğinde ele alınan probleme en yakın çalışmaların hava alanı kapı atama problemleri ve çapraz sevkiyat sistemlerindeki araçların çizelgelenmesi olduğu görülmektedir. Çalışmaya doğrudan benzeyen çalışma bulunamamıştır. Bu açıdan çalışma depo yükleme noktaları için araç ataması yapan bir dinamik bir sistem olup, geliştirilen yöntemin o işletmenin kendi kısıtları göz önüne alınarak bir yöntem geliştirilmesi bakımından diğer çalışmalardan ayrılmakta ve bu açıdan literatüre katkı sağlamaktadır.
7. İncelenen hava alanı kapı atama problemlerinin ana amacı, uygun kapı-uçuş atamasını sağlayacak en uygun inme/binme operasyonlarını, hava alanının işletim etkinliğini artıracak biçimde, örneğin aktarma uçuşu yapacak yolcuların sayısını artırmak gibi operasyonları sağlamaktır. Hava alanındaki sıkışıklığı hafifletmek için etkili atamalar şu faktörler dikkate alınarak sağlanmaktadır: Transfer ve ayrılan yolcular için yürüme mesafesi, kapısız olay sayısı, kapılarda boşa geçen süre, bagaj alma mesafesinin en küçüklenmesi, uçuş çizelgeleri için zaman planları, uçak-kapı büyüklüğü uyumluluğu şeklinde sıralanmaktadır. Çalışmada ele alınan problemde ise amaç, müşterinin istediği teslim zamanlarından sapmaları en küçükleyecek biçimde en küçük maliyetle araçların kapılara atanmasını sağlamaktır. Ayrıca çözüm yöntemlerinden %50'ye yakını sezgisel yöntemler kullanmıştır. Kalan %50'lik kısımda ise kesin sonuç veren algoritmalar ile simülasyon ve kural tabanlı uzman sistemler

kullanılmıştır. Problem bu açıdan değerlendirildiğinde kombinatorik en iyileme problem sınıfında olan araç-kapı atama problemlerinin NP-zor olmasıdır.

8. Problemin çözüm süresi problemin büyüklüğüne bağlı olarak değiştiğinden orta büyüklükteki problemler için bulunan CPU zamanları makul büyüklükte çıkmıştır.
9. Daha önce belirtildiği gibi literatürde bu çalışmaya çok benzeyen bir çalışma bulunamadığından, çözüm süresi, çözüm kalitesi ve sonuçlar açısından kıyaslama yapılacak problem türü sağlanamamıştır. Dolayısıyla ele alınan problem kendi içinde değerlendirilmiş, küçük bir örnek için matematiksel modelin çözümü büyük örnekler için de genetik algoritmalar kullanılmıştır.
10. İleride bu problem türü daha da geniş biçimde ele alınarak farklı kısıtlar eklenerek ihtiyaca göre modelin yapısı değiştirilebilir. Çözüm yöntemi olarak başka bir sezgisel yaklaşım kullanılabilir. Ayrıca problem daha da genişletilerek bir araçta yer alan farklı illerdeki müşteri talepleri için araçların atanması ve buna göre bir rota planının çıkarılması sağlanabilir. Bu açıdan problem hem araç rotalama hem araç atama hem de bir çizelgeleme problemi olacaktır.

KAYNAKLAR

- Arabani A.R.B., ve S. G. (2011), "Metaheuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage", *Expert Systems with Applications*, 1964-1979.
- Acar, M. K., 2004, *Robust dock assignments at less- than-truckload terminals*, Yüksek Lisans Tezi, University of South Florida.
- Angelina, P. J. (1995), "Evolution revolution: An introduction to the special track on genetic and evolutionary programming", *IEEE Expert Intelligent Systems and their Applications 10*, 6-10.
- Ayyüce, A., (2012), *Sezgisel Yöntemler*.
<http://www.baskent.edu.tr/~ayyuce/END407Ders1.pdf>.
- Vahdania B., ve M. Z. (2010), "Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust meta-heuristics", *Computers and Industrial Engineering*, 12-24.
- Babic, O., ve D. T. (1984), "Aircraft stand assignment to minimize walking", *Journal of Transportation Engineering*, 55-66.
- Bakır, M. A., ve Altunkaynak, B. (2003), *Tamsayılı Programlama: Teori, Modeller ve Algoritmalar*, Nobel Yayın Dağıtım.
- Baklavacioğlu, T. (2010), *Uçak Performan Modellenmesi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Baron, P. (1969), "A simulation analysis of airport terminal operations ", *Transportation Research*, 481-491.
- Bermudez, R., ve Cole, M. H. (2000), "A genetic algortihm approach to ltl breakbulk terminal door assignment", *Proceedings of the 2000 Industrial Engineering Research Conference*, Cleveland, Ohio.
- Bihr, R. (1990), "A conceptual solution to the aircraft gate assignment problem using 0,1 linear programming", *Computers and Industrial Engineering*, 280-284.
- Bolat, A. (2000) ," Procedures for providing robust gate assignments for arriving aircrafts", *European Journal of Operational Research*, Volume 120(Issue 1), 63-80.

- Braaksma, J., ve Shortreed, J. (1971), "Improving airport gate usage with critical path method", *Transportation Engineering Journal of ASCE*, 187-203.
- Burkard, R. E., ve Cela, E. (1999), Linear Assignment Problems and Extensions. P. Pardalos, ve D. Du, *Handbook of Combinatorial Optimization* (s. 75-149), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chang, C., (1984), *Flight sequencing and gate assignment in airport hubs*, Doktora Tezi, University of Maryland, ABD.
- Cheng, Y. (1998), "A knowledge-based airport gate assignment system integrated with mathematical programming", *Computers & Industrial Engineering*, 837-852.
- Cheng, Y. (1998), "A rule-based reactive model for the simulation of aircraft on airport gates", *Knowledge-Based Systems*, 225-236.
- Curtis, H. (1975), *Biology*, C.2, Newyork: Worth publisher.
- Çunkaş, M. (2008), *Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları Ders Notları*.
- Çunkaş, M., ve Akkaya, R. (2002), İkili ve Gerçek Kodlu Genetik Algoritmaların Karşılaştırılması, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, C.17(S.2), 11-18.
- David E., G. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, MA: Addison-Wesley.
- Deb, K. (2001), *Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, John Wiley and Sons.
- Ding, H., A. Lim, B. R., ve Zhu, Y. (2004), "The over-constrained airport gate assignment problem", *Computers and Operations Research*, 1867-1868.
- Ding, H., Lim, A., Rodrigues, B., ve Zhu, Y. (2004), "New heuristics for the over-constrained airport gate assignment problem", *Journal of the Operational Research Society*, 760-768.
- Dorndorf, U., Jaehn, F., Lin, C., Ma, H., ve Persch, E. (2007), "Distribution management in flight gate scheduling", *Statistica Neerlandica*, 61(1), 92-114.
- Drexler, A., ve Nikulin, Y. (2008), "Multicriteria airport gate assignment and Pareto simulated annealing", *IIE Transactions*, 40, 385-397.

- Emel, G., ve Taşkın, Ç. (2002), Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*(XXI), 129-152.
- Gaspero, L. D., *Local search techniques for scheduling problems: algorithms and software tools*, Doktora Tezi, University of Udine, Italy, 2002.
- Gen, M., ve Cheng, R. (1997), *Genetic Algorithms and Engineering Design*, Japan: John Wiley and Sons.
- Genç H. M., Erol, O. K., Eksin, İ., Berber, M. F., ve Güleriyüz, B. O. (2012), "A stochastic neighborhood search approach for airport gate assignment problem", *Expert Systems with Applications*, 316–327.
- Golberg, D. E. (1993), Making genetic algorithms fly: A lesson from the Wright brothers, 1-8.
- Goldberg, D. E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Newyork: Addison Wesley.
- Gosling, G. D. (1990)," Design of An Expert Sytem for Aircarft Gate Assignment", *Transporartion Research A*, 1(24), 59-69.
- Gu, G., ve Chung, C. (1999), "Genetic Algorithm Approach to Aircraft Gate Reassignment Problem", *ASCE Journal of Transportation Engineering* 125, 384–389.
- Gue, K. R. (1999), "The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals", *Transportation Science*, 419-428.
- Gue, K. R., ve J.J.Bartholdi. (2000), "Reducing labor costs in an ltl crossdocking terminal",*Operations Research*, 823-832.
- Haghani, A., ve Chen, M.-C. (1998), "Optimizing gate assignments at airport terminals", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 437-454.
- Haghani, A., ve Min-Cheng, C. (2001), "Optimizing gate assignments at airport terminals", *Transportation Research A*, 6(32), 437-454.
- Haupt, L. R., ve Haupt, E. S. (1998), *Practical Genetic Algorithms*. USA: A Willey Interscience Publication.

- Holland, J. H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor: The University of Michigan.
- Jaehn, F. (2010), "Solving the flight gate assignment problem using dynamic programming", *Zeitschrift Für Betriebswirtschaft*, 1027-1039.
- Kalaycı, T. E., (2006), *Yapay zeka teknikleri kullanan üç boyutlu grafik yazılımları için x3d ile bir altyapı oluşturulması ve gerçekleştirimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Koopmans, T. C., ve Berkmann, M. J. (1957), "Assignment problems and the location of economic activities", *Econometrica*, 25, 53-76.
- Lee, C. Y., ve Kim, S. J. (1995), "Parallel genetic algorithm for the earliness-tardiness job scheduling problem with general penalty weights", *Computers and Industrial Engineering*, 28(2).
- Lim, A., ve Wang, F. (2005), "Robust airport gate assignment", Tools with Artificial Intelligence, 2005, ICTAI 05. 17th IEEE International Conference on (s. 8-81).
- Maharjan, B., ve Matis, T. I. (2011), "An optimization model for gate reassignment in response to flight delays", *Journal of Air Transport Management*, 256-261.
- Miao, Z., Lim, A., ve Ma, H. (2009), "Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks", *European Journal of Operational Research*, 105–115.
- Michalewicz, C., (1994), *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs* (Cilt 2), Newyork: Springer-Verlag.
- Murty, K. G., Liu, J., Wan, Y-W. ve Linn, R., (2005), "A decision support system in a container terminal", *Decision Support Systems*, 39: 309-332.
- Nemhauser, G. L., ve Wolsey, L. A. (1988), *Integer and Combinatorial Optimization*, John Wiley and Sons Inc.
- Obitko, M. (1998), *Genetic Algorithms*.
- <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/>

- Papadimitriou, C. H., ve Steglitz, K. (1982), *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, New Jersey, Prentice- Hal, Englewood Cliffs
- Pardalas, P. M., Rendl, F., ve Wolkowicz, H. (1994), "The quadratic assignment problem: a survey and recent developments", *DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, 1-42.
- Mangoubi, R.S., ve D. M. (1985), "Optimizing gate assignments at airport terminals", *Transportation Science*, 173-188.
- Miao, Z.ve A. L. (2009), "Truck dock assignment with operational time constraint within crossdocks", *European Journal of Operational Research*, 105-115.
- Oh, Y., ve H. H. (2006), "A dock-door assignment problem for the Korean mail distribution center", *Computers & Industrial Engineering*, 288-296.
- Reeves, C. R. (1993), *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, John Wiley and Sons.
- Reeves, C. R., ve Jonathan, E. R. (2003), *Genetic algorithms- principles and perspectives*, Kluwer Academic Publishers.
- Siyah, B. ,(2012), Yapay zeka.
http://www.bulentsiyah.com/bolum/yapayzeka/genetik_algoritma/.
- Srihari, K., ve Muthukrishnan, R. (1991), "An expert system methodology for an aircraft gate assignment", *Computers and Industrial Engineering*, 1-4(21), 101-105.
- Steuart, N.ve G., M. I. (1993), "Demand for aircraft gates", *Transportation Research record*(1423), 26-33.
- Su, Y., ve Srihari, K. (1993), "A knowledge based aircraft-gate assignment advisor", *Computers & Industrial Engineering*, 123–126.
- Şeker, M., ve Noyan, N. (2012), "Stochastic optimization models for the airport gate assignment problem", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 438–459.
- Şen, Z. (2004), *Genetik Algoritmalar ve En İyi Yönetim Yöntemleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

- Tabak, Ö. (2008), *Genetik algoritma ile kapasiteli servis güzergahı belirlenmesi ve bir uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Tsui, L. Y., ve Chang, C. H. (1992), "Optimal solution to a dock door assignment problem", *Computer and Industrial Engineering*, 283-286.
- Xu, J., ve G., B. (2001), "The airport gate assignment problem: mathematical model and a tabu search algorithm", *System Sciences*, Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on.
- Yan, S., ve Huo, C.-M. (2001), "Optimization of multiple objective gate assignments", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 413–432.
- Yan, S., ve Tang, ve C.-H. (2007), "A heuristic approach for airport gate assignments for stochastic flight delays", *European Journal of Operational Research*, 547-567.

EK-1 KABAKOD (PSEUDO CODE)

Veri tabanından verileri oku

Sistemin başlangıç zamanını belirle

Kapıda bekleyen araç sayısı kapı sayısından az ise programı sonlandır

Popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, toplam nesil sayısı değerlerini ata

Başlangıç neslini (popülasyonunu) nesil (popülasyon) büyüklüğüne göre rastgele oluştur ve uyum değerlerini hesapla

DÖNGÜ nesil 1'den toplam nesil sayısına kadar

Nesildeki uyum değerlerini büyükten küçüğe doğru sırala

Uyum değerlerinden en büyüğe olasılık değişkeni 1 vermek kaydıyla her uyum değeri azaldıkça değeri 2 kat artır

Her bir bireyin seçilme olasılığını olasılık değeri/toplam olasılık değeri şeklinde hesapla

Kümülatif seçilme olasılıklarını belirle

Nesil büyüklüğü kadar Rulet tekerini döndür

Seçilen rastgele bireyleri belirle

Yaklaşık seçilen bireyler x çaprazlama oranı kadar rastgele birey seç

Eğer seçilen bireyler tek ise rasgele bir azalt ya da bir artır (Bir birey daha seç artırmada)

Seçilen bireyleri rastgele çiftler olarak belirle

Çiftlerde uygulanacak çaprazlama işlemi için rastgele çaprazlama noktasını belirle

Çiftlere çaprazlama işlemi uygula

Çaprazlamadan oluşan çocuklarla ebeveynlerini yer değiştir

Eğer en son nesil değilse

Yaklaşık (birey sayısı x bir bireydeki toplam gen sayısı (kapı sayısı)) x mutasyon oranı kadar geni rastgele seç

Mutasyon için seçilen her bir geni rastgele olarak toplam araç sayısından herhangi biriyle değiştir (mutasyonun sonu)

Oluşan nesilde bir bireydeki her bir genin birbirinden farklı olmasını sağla (Bir araç aynı anda iki kapıya gitmemeli)

Oluşan neslin uyum değerlerini hesapla

Eğer ilk nesil değilse

Uyum değeri en kötü birey yerine bir önceki neslin en iyi bireyini yerleştir (ELİTİZM)

DÖNGÜ SONU - Bir neslin tamamlanması

En iyi bireyi ekrana yazdır

En iyi uyum değerini ekrana yazdır

Yakınsama grafiğini çiz

Değerleri dosyaya kaydet

Programı sonlandır.

EK-2 İLLER ARASI MESAFE (KGM)

Eskişehir	Adana	Adıyaman	Afyon	Ağrı	Amasya	Ankara
	688	977	144	1285	567	233
Eskişehir	Antalya	Artvin	Aydın	Balıkesir	Bilecik	Bingöl
	424	1213	478	300	80	1121
Eskişehir	Bitlis	Bolu	Burdur	Bursa	Çanakkale	Çankırı
	1314	288	302	149	420	364
Eskişehir	Çorum	Denizli	Diyarbakır	Edirne	Elazığ	Erzincan
	475	355	1132	552	979	915
Eskişehir	Erzurum	Eskişehir	Gaziantep	Giresun	Gümüşhane	Hakkari
	1104		893	843	985	1588
Eskişehir	Hatay	Isparta	İçel	İstanbul	İzmir	Kars
	879	301	680	322	411	1304
Eskişehir	Kastamonu	Kayseri	Kırklareli	Kırşehir	Kocaeli	Konya
	478	540	533	406	211	338
Eskişehir	Kütahya	Malatya	Manisa	Kahramanmaraş	Mardin	Muğla
	78	881	395	813	1218	500
Eskişehir	Muş	Nevşehir	Niğde	Ordu	Rize	Sakarya
	1231	497	566	799	1054	174
Eskişehir	Samsun	Siirt	Sinop	Sivas	Tekirdağ	Tokat
	647	1319	647	673	454	611
Eskişehir	Trabzon	Tunceli	Şanlıurfa	Uşak	Van	Yozgat
	980	1045	1030	217	1454	449
Eskişehir	Zonguldak	Aksaray	Bayburt	Karaman	Kırıkkale	Batman
	357	443	1007	451	308	1232
Eskişehir	Şırnak	Bartın	Ardahan	Iğdır	Yalova	Karabük
	1399	446	1322	1395	209	422
Eskişehir	Kilis	Osmaniye	Düzce			
	930	773	243			

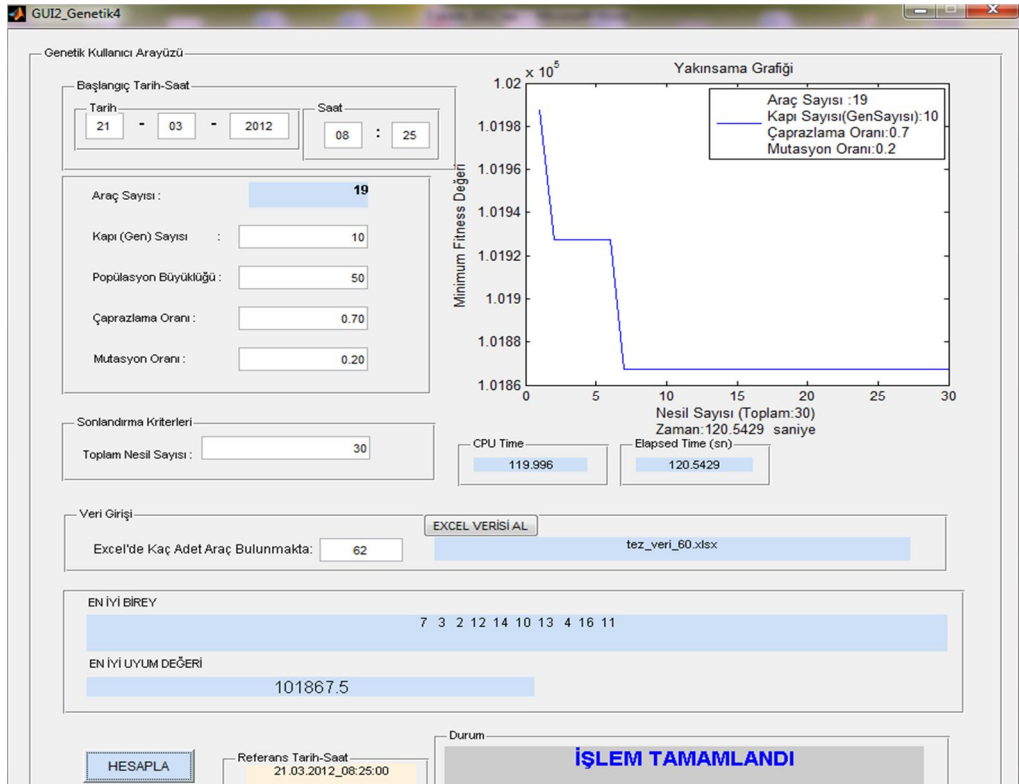
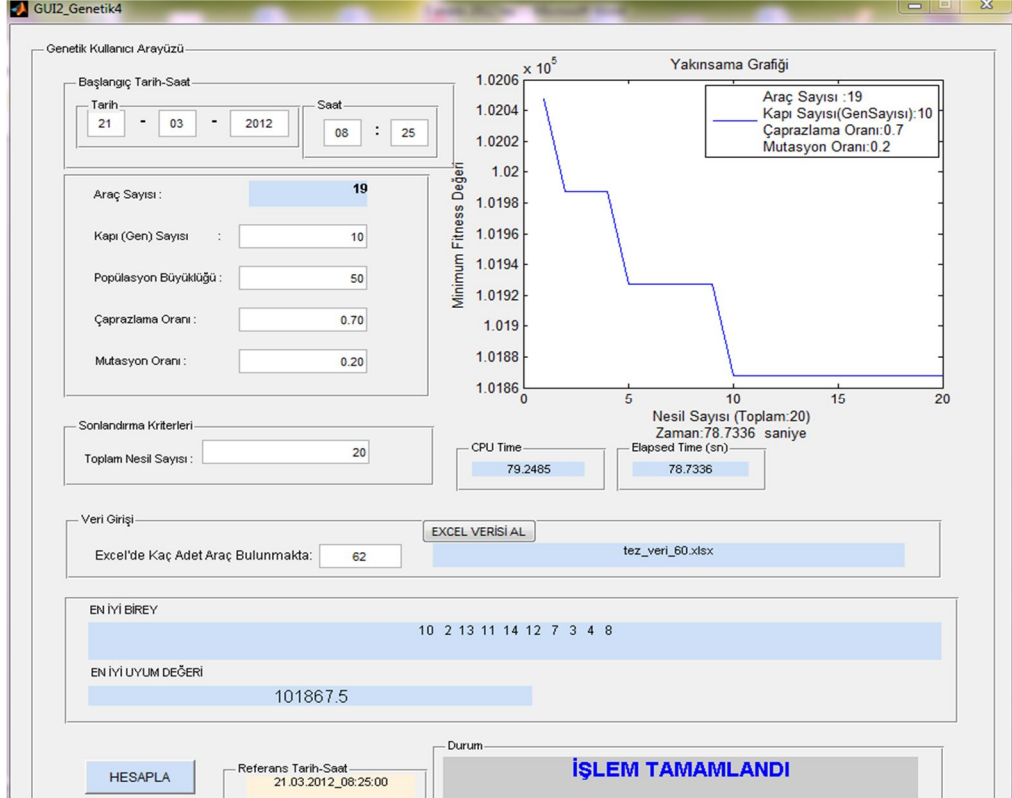
EK-3 ÖRNEK VERİ SETİ

Araç no	Araç tipi	İl	Müşteri adı	Müşteri tipi
1	KAMYONET	SAKARYA	M1	B
2	KAMYONET	İZMIT	M2	B
3	KAMYON	ŞANLIURFA	M3	B
4	KAMYON	KOCAELİ	M4	A
5	KAMYON	AYDIN	M5	C
6	KAMYONET	İSTANBUL	M6	C
7	KAMYON	ADANA	M7	B
8	TIR	İSTANBUL	M8	B
9	KAMYON	ANKARA	M9	A
10	KAMYON	TOKAT	M10	C
11	KAMYON	ESKİŞEHİR	M11	A
12	KAMYON	AYDIN	M12	B
13	KAMYONET	DENİZLİ	M13	B
14	TIR	VAN	M14	B
15	TIR	BURSA	M15	C
16	TIR	BURSA	M16	A
17	KAMYON	ESKİŞEHİR	M17	C
18	KAMYONET	BURSA	M18	C
19	KAMYONET	ANKARA	M19	A
20	KAMYONET	BURSA	M20	C
21	KAMYONET	BURSA	M21	B
22	KAMYONET	BURSA	M22	A
23	KAMYON	ZONGULDAK	M23	B
24	KAMYON	BALIKESİR	M24	C
25	KAMYON	ERZURUM	M25	A
26	KAMYON	KASTAMONU	M26	A
27	KAMYONET	BALIKESİR	M27	A
28	KAMYON	MUGLA	M28	A
29	KAMYON	MUGLA	M29	B
30	TIR	DENİZLİ	M30	B
31	TIR	TRABZON	M31	A

Müşteri mesai tipi (b)	Gidilen yol süresi (dk)	Aracın fabrikaya geliş tarihi (a)
24	150	21.03.2012_15:00:00
24	181	21.03.2012_08:00:00
24	883	21.03.2012_19:00:00
24	181	21.03.2012_07:00:00
24	410	21.03.2012_12:00:00
13	276	21.03.2012_08:20:00
24	590	21.03.2012_08:00:00
24	276	21.03.2012_20:00:00
13	200	21.03.2012_10:00:00
24	524	21.03.2012_11:00:00
9	20	21.03.2012_08:15:00
24	410	21.03.2012_08:00:00
13	305	21.03.2012_16:00:00
24	1247	21.03.2012_23:00:00
24	128	21.03.2012_08:00:00
24	128	21.03.2012_08:00:00
13	8	21.03.2012_14:00:00
24	128	21.03.2012_11:00:00
9	200	21.03.2012_08:00:00
13	128	21.03.2012_12:00:00
13	128	21.03.2012_08:00:00
9	128	21.03.2012_08:00:00
24	306	21.03.2012_11:00:00
24	260	21.03.2012_08:00:00
24	947	21.03.2012_13:00:00
13	410	21.03.2012_08:00:00
13	260	21.03.2012_08:00:00
24	430	21.03.2012_08:00:00
24	430	21.03.2012_17:00:00
24	305	21.03.2012_08:00:00
24	840	21.03.2012_16:00:00

Müş. istediği teslim tarihi (fj)	Yükleme işlem süresi (sj)	Müş. sipariş ver. tarih (hj)
22.03.2012_11:00:00	80	19.03.2012_08:00:00
22.03.2012_13:00:00	80	18.03.2012_08:00:00
22.03.2012_23:00:00	120	21.03.2012_08:00:00
25.03.2012_05:00:00	120	18.03.2012_08:00:00
23.03.2012_07:00:00	120	20.03.2012_08:00:00
25.03.2012_13:00:00	80	20.03.2012_08:20:00
22.03.2012_13:00:00	120	16.03.2012_09:00:00
22.03.2012_15:00:00	180	20.03.2012_09:25:00
23.03.2012_11:00:00	120	21.03.2012_11:15:00
24.03.2012_15:00:00	120	17.03.2012_09:00:00
25.03.2012_10:00:00	120	20.03.2012_08:30:00
23.03.2012_09:00:00	120	16.03.2012_09:00:00
22.03.2012_16:00:00	80	18.03.2012_14:13:00
23.03.2012_19:00:00	180	17.03.2012_12:17:00
24.03.2012_08:00:00	180	16.03.2012_08:30:00
22.03.2012_11:10:00	180	18.03.2012_10:00:00
25.03.2012_08:30:00	120	19.03.2012_08:00:00
21.03.2012_23:55:00	80	19.03.2012_21:00:00
22.03.2012_19:35:00	80	20.03.2012_08:30:00
22.03.2012_20:50:00	80	20.03.2012_10:00:00
22.03.2012_16:35:00	80	20.03.2012_09:55:00
22.03.2012_14:35:00	80	19.03.2012_15:36:00
22.03.2012_10:52:00	120	19.03.2012_21:00:00
22.03.2012_11:55:00	120	18.03.2012_08:00:00
22.03.2012_13:36:00	120	19.03.2012_18:00:00
23.03.2012_10:52:00	120	21.03.2012_11:10:00
22.03.2012_14:35:00	80	21.03.2012_10:52:00
23.03.2012_10:52:00	120	19.03.2012_08:00:00
22.03.2012_14:36:00	120	18.03.2012_09:13:00
22.03.2012_12:55:00	180	20.03.2012_22:00:00
23.03.2012_15:36:00	180	20.03.2012_08:00:00

EK-4 ÖRNEK YAKINSAMA GRAFİKLERİ VE KAY



EK-5 AMAÇ FONKSİYONUNA GÖRE SINIFLANDIRMA

Amaç-Yolcu yürüme mesafesinin en küçüklenmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Braaksma	Mevcut havaalanlarında yürüme mesafesinin düşürülmesi	1977
Babic ve ark.	Yürüme mesafesini en küçüklemek için uçak stand ataması	1984
Mangoubi ve ark.	Havaalanı terminallerinde kapı atamalarının optimizasyonu	1985
Bihr	0-1 doğrusal programlama kullanarak uçak-kapı atama problemi için bir kavramsal çözüm	1990
Chang	Havaalanlarında uçuş sıralama ve kapı ataması	1994
Hanghani ve ark.	Havaalanı terminallerinde kapı atamalarının optimizasyonu	1998
Xu ve ark.	Havaalanı kapı atama problemi: Matematiksel model ve yasak arama algoritması	2001
Drexl ve ark.	Çok kriterli havaalanı kapı atanması ve pareto tavlama benzetimi	2008
Binod ve ark.	Uçuş ertelemelerine karşılık yeniden kapı atama için bir optimizasyon modeli	2011
Ding ve ark.	Çok kısıtlı uçuş-kapı atamaları için yeni sezgiseller	2004
Ding ve ark.	Havaalanlarında uçak ve kapı çizelgeleme optimizasyonu	2004
Yan S. ve ark.	Çok amaçlı kapı atamalarının optimizasyonu	1999

Amaç- Yolcu aktarma süresi en küçüklenmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Chang	Havaalanlarında uçuş sıralama ve kapı ataması	1994
Hanghani ve ark.	Havaalanı terminallerinde kapı atamalarının optimizasyonu	1998
Braaksma	Mevcut havaalanlarında yürüme mesafesinin düşürülmesi	1977
Xu ve Bailey	Havaalanı kapı atama problemi: Matematiksel model ve yasak arama algoritması	2001
Ding ve ark.	Havaalanlarında uçak ve kapı çizelgeleme optimizasyonu	2004
Drexl ve ark.	Çok kriterli havaalanı kapı atanması ve pareto tavlama benzetimi	2008
Babic ve ark.	Yürüme mesafesini en küçüklemek için uçak stand ataması	1984
Mangoubi ve ark..	Havaalanı terminallerinde kapı atamalarının optimizasyonu	1985
Bihr	0-1 doğrusal programlama kullanarak uçak-kapı atama problemi için bir kavramsal çözüm	1990
Binod ve ark.	Uçuş ertelemelerine karşılık yeniden kapı atama için bir optimizasyon modeli	2011
Ding ve ark.	Çok kısıtlı uçuş-kapı atamaları için yeni sezgiseller	2004
Dondorf	Uçuş-kapı çizelgelemesinde aksaklık yönetimi (disruption management)	2007 b

Amaç-Kapılara atanamamış uçuş sayısının en küçüklenmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Ding ve ark.	Çok kısıtlı uçuş-kapı atamaları için yeni sezgiseller	2004
Ding ve ark.	Havaalanlarında uçak ve kapı çizelgeleme optimizasyonu	2004
Yan ve ark.	Çok amaçlı kapı atamalarının optimizasyonu	2001
Dondorf ve ark.	Parçacık bölünme problemi olarak gurbüz uçuş-kapı çizelgeleme modellemesi	2008
Drex1 ve ark.	Çok kriterli havaalanı kapı atanması ve pareto tavlama benzetimi	2008
Tang	Geçici kapı eksiklikleri ve uçuş ertelemeleri altında Tayvan Havaalanı için bir kapı yeniden atama modeli	2010
Nikulin ve Drex1.	Çok kriterli uçuş kapı çizelgelemesi teorik yaklaşımlar: Deterministik ve bulanık modeller	2010
Cheng	Havaalanı kapılarında uçakların benzetimi için bir kural tabanlı etkileşimli model	1998

Amaç- Towing sayısının en küçüklenmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Chang	Havaalanlarında uçuş sıralama ve kapı ataması	1994
Dondorf	Uçuş-kapı çizelgelemesinde aksaklık yönetimi (disruption management)	2007 b
Nikulin ve Drex1	Çok kriterli uçuş kapı çizelgelemesi teorik yaklaşımlar: Deterministik ve bulanık modeller	2010

Amaç-Aylak süre, tampon süresinin en küçüklenmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Bolat	Gelen uçak için gurbüz kapı atamalarını sağlayan süreçler	2000
Bolat	Statik uçak-kapı atama problemi için modeller ve genetik algoritma	2001
Şeker ve Noyan	Havaalanı kapı atama problemi için stokastik optimizasyon modelleri	2011

Amaç- Uçuş ertelemelerinin en küçüklenmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Cheng	Matematiksel programlamayla bürünleşik bilgi tabanlı uçak-kapı atama sistemi	1998
Gu ve Chung	Uçak-kapı yeniden atama problemi için genetik algoritma yaklaşımı	1999
Lim ve Wang	Gurbüz (robust) uçak-kapı ataması	2005
Yan ve Tang	Stokastik uçuş ertelemeleri için kapı atamalarına sezgisel bir yaklaşım	2007
Tang	Geçici kapı eksiklikleri ve uçuş ertelemeleri altında Tayvan Havaalanı için bir kapı yeniden atama modeli	2010

EK-6 ÇÖZÜM YÖNTEMİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

Çözüm Yöntemi-Genetik algoritmalar

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Gu ve Chung	Uçak-kapı yeniden atama problemi için genetik algoritma yaklaşımı	1999
Bolat	Statik uçak-kapı atama problemi için modeller ve genetik algoritma	2000a

Çözüm Yöntemi- Dal sınır algoritması

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Babic ve ark	Yürüme mesafesini en küçüklemek için uçak stand ataması	1984
Dondorf	Uçuş-kapı çizelgelemede aksaklık yönetimi (disruption management)	2007 b
Bolat	Havaalanına gelen uçakların mevcut kapılara atanması	1999
Yan ve Huo	Çok amaçlı kapı atamalarının optimizasyonu	2001
Genç ve ark	Havaalanı kapı atama problemi için bir stokastik komşuluk arama yaklaşımı	2011
Bolat	Gelen uçak için gürbüz kapı atamalarını sağlayan süreçler	2000b
Yan ve Huo	Çok amaçlı kapı atamalarının optimizasyonu	1999

Çözüm Yöntemi- Aç gözlü algoritma

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Mangoubi ve ark	Havaalanı terminallerinde kapı atamalarının optimizasyonu	1985
Ding vd.	Çok kısıtlı uçuş-kapı atamaları için yeni sezgiseller	2004

Çözüm Yöntemi-Yasak arama metodu

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Xu ve Bailey	Havaalanı kapı atama problemi: Matematiksel model ve yasak arama algoritması	2001
Ding ve ark	Çok kısıtlı uçuş-kapı atamaları için yeni sezgiseller	2004
Ding ve ark	Havaalanlarında uçak ve kapı çizelgeleme optimizasyonu	2004
Lim ve Wang	Gürbüz (robust) uçak-kapı ataması	2005
Şeker ve Noyan	Havaalanı kapı atama problemi için stokastik optimizasyon modelleri	2011

Çözüm Yöntemi- Büyük patlama büyük çöküş

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Genç ve ark	Havaalanı kapı atama problemi için bir stokastik komşuluk arama yaklaşımı	2011

Çözüm Yöntemi- Tavlama benzetimi vb.

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Ding ve ark.	Havaalanlarında uçak ve kapı çizelgeleme optimizasyonu	2004
Drex1 ve Nikulin	Çok kriterli havaalanı kapı atanması ve pareto tavlama benzetimi	2008
Nikulin ve Drex1	Çok kriterli uçuş kapı çizelgeleme teorik yaklaşımlar: Deterministik ve bulanık modeller	2010

Çözüm Yöntemi- Benzetim ve uzman sistem

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Hamzawi	Havaalanı kapı kapasitesinin yönetimi ve planlanması: Mikro-bilgisayar tabanlı kapı atama benzetim modeli	1986
Cheng	Havaalanı terminallerindeki kapılarda şebeke tabanlı uçak benzetimi	1998a
Cheng	Havaalanı kapılarında uçakların benzetim için bir kural tabanlı etkileşimli model	1998
Gosling	Uçak kapı atanması için uzman sistem tasarımı	1990
Su ve Srihari	Bilgi tabanlı bir uçak- kapı atama yaklaşımı	1993
Cheng	Matematiksel programlamayla bütünlük bilgisi tabanlı uçak-kapı atama sistemi	1997

Çözüm Yöntemi- Komşuluk arama

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Dondorf	Uçuş-kapı çizelgelemesinde aksaklık yönetimi (disruption management)	2007 b

Çözüm Yöntemi-Parçacık bölümlleme

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Dondorf	Parçacık bölümlleme problemi olarak gürbüz uçuş-kapı çizelgeleme modellemesi	2008

Çözüm Yöntemi- Dinamik programlama

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Jaehn	Dinamik programlama kullanarak uçuş-kapı atama problemi çözümü	2010

Çözüm Yöntemi- Lagrange gevşetmesi

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Yan ve Chang	Kapı-ataması için bir şebeke modeli	1998

Çözüm Yöntemi- Diğer**

Yazar	Çalışmanın Adı	Yılı
Braaksma	Mevcut havaalanlarında yürüme mesafesinin düşürülmesi	1977
Bihr	0-1 doğrusal programlama kullanarak uçak-kapı atama problemi için bir kavramsal çözüm	1990
Dondorf	Uçuş-kapı çizelgeleme: Son gelişmeler	2007 a
Mahaajan ve Matis	Uçuş ertelemelerine karşılık yeniden kapı atama için bir optimizasyon modeli	2011

EK-7 ÜÇ FAKTÖR ÜÇ SEVİYE DENEY SONUÇLARI

Çaprazlama Oranı	Mutasyon Oranı	Nesil Sayısı	SONUC
1	1	1	645492
1	1	2	645492
1	1	3	645492
1	2	1	645552
1	2	2	645612
1	2	3	645552
1	3	1	645792
1	3	2	645792
1	3	3	645912
2	1	1	645492
2	1	2	645552
2	1	3	645492
2	2	1	645672
2	2	2	645672
2	2	3	645612
2	3	1	645792
2	3	2	645732
2	3	3	645792
3	1	1	645612
3	1	2	645492
3	1	3	645492
3	2	1	645732
3	2	2	645732
3	2	3	645672
3	3	1	645792
3	3	2	645732
3	3	3	645792
1	1	1	645492
1	1	2	645492
1	1	3	645492
1	2	1	645672
1	2	2	645612
1	2	3	645552
1	3	1	645852
1	3	2	645792
1	3	3	645672
2	1	1	645552
2	1	2	645552
2	1	3	645492
2	2	1	645732
2	2	2	645672
2	2	3	645612
2	3	1	645852
2	3	2	645792
2	3	3	645852
3	1	1	645552
3	1	2	645492
3	1	3	645492
3	2	1	645732
3	2	2	645672
3	2	3	645672
3	3	1	645792
3	3	2	645792
3	3	3	645852

EK-8 GA VE EL İLE BULUNAN HESAP KONTROLÜ

No	Plaka	Araç tipi	İl	Müşteri Ad	Mesafe	Tahmini yo	Araçın fabrikaya ge	Müşterinin istediği	Yükleme iş	Müşteri içi	Gidilen yol	Müşterinin sipariş verdiği	Müşteri mesai t	Müşteri tipi
1	26RC093	TIR	İZMİR	M1	411 km.	06:35	21.03.2012_08:20:00	22.03.2012_16:00:00	180	06:35	395	20.03.2012_09:00:00	9	A
2	26RD029	TIR	AYDIN	M2	478 km.	07:40	21.03.2012_08:20:00	22.03.2012_14:00:00	180	07:40	460	20.03.2012_10:00:00	9	B
3	26RD029	KAMYONET	KONYA	M3	338 km.	05:05	21.03.2012_08:30:00	22.03.2012_15:00:00	80	05:05	305	20.03.2012_09:55:00	9	C
4	26RD029	KAMYON	SİVAS	M4	673 km.	10:20	21.03.2012_08:30:00	23.03.2012_18:00:00	120	10:20	620	20.03.2012_09:00:00	13	B
5	26RV011	KAMYON	ADANA	M5	688km.	10:35	21.03.2012_08:20:00	23.03.2012_18:00:00	120	10:35	635	20.03.2012_09:00:00	13	A

Gerekli bilgilerin yukarıdaki tabloda olduğu, 5 aracın 3 kapıya atanması örneğinin ele alınışı şöyledir:

08: 25 itibariyle atanan araçlar M1, M2, M5 olacaktır.

Hesaplamalarda atanan ve atanmayana araçlar için durumlar ele alınmaktadır.08: 25 itibariyle atanabilecek araçlar varken atanmayan araçların hesabı yapılmayacaktır. Çünkü diğer iki araç saat 08: 30'da gelmiştir. Atanamayan araçların hesaba katılabilmesi için onlarında 08: 25'e kadar fabrikaya gelmiş olmaları gerekmektedir. Buna göre hesaplamalar şöyle gerçekleşmektedir:

M5

tj: aracın kapıya yanaşma zamanı:21.03.2012_08: 25

aj: aracın fabrikaya gelişi: 21.03.2012_08: 20

sj: yükleme: 120

mj: yol: 635

hj: sipariş tarihi:20.03.2012_09: 00

A tipi, 13 sa.

$$Lt_j = (t_j - a_j + s_j + m_j) + a_j - h_j$$

$$Lt_j: (21.03.2012_08: 25 - 21.03.2012_08: 20 + 120 + 635) + 21.03.2012_08: 20 - 20.03.2012_09: 00$$

$$= 5 + 120 + 635 + 1400 = \mathbf{2160}$$

Aracın varış zamanı:

$$A_t = h_j + Lt_j$$

$$=20.03.2012_09: 00+2160= \mathbf{21.03.2012_21:00:00}$$

ERKEN-GEÇ VARİŞ HESABI

$$\begin{array}{l} \text{At:}21.03.2012_21:00:00 \\ \text{itt:}23.03.2012_18:00:00 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{At:}21.03.2012_21:00:00 \\ \text{itt:}23.03.2012_18:00:00 \end{array}} \right\} \mathbf{2700 \text{ DAK. ERKEN VARİŞ}}$$

$$\mathbf{CEZA:2700*2=5400}$$

UYUM DEĞERİ-MALİYET HESABI

$$\text{FitFuncA} = \text{Lt}_j - \text{abs}(h_j - a_j) + \text{ceza}$$

$$\mathbf{\text{FitFuncA}=2160-1400+5400=\mathbf{6160}}$$

M1

tj: aracın kapıya yanaşma zamanı:21.03.2012_08: 25

aj: aracın fabrikaya gelişi: 21.03.2012_08: 20

sj: yükleme: 180

mj: yol: 395

hj: sipariş tarihi:20.03.2012_09: 00

A tipi, 9sa.

$$\text{Lt}_j = (t_j - a_j + s_j + m_j) + a_j - h_j$$

$$\mathbf{\text{Lt}_j:(21.03.2012_08: 25-21.03.2012_08: 20+180+395)+ 21.03.2012_08: 20-20.03.2012_09: 00}$$

$$=5+180+395+1400=\mathbf{1980}$$

Aracın varış zamanı:

$$A_t = h_j + \text{Lt}_j$$

$$=20.03.2012_09: 00+1980= \mathbf{21.03.2012_18:00:00}$$

MESAI KONTROL

9 saatlik zaman diliminde olduğu için akşam 17: 00'ye kadar gelen araçları kabul etmektedir. Ertesi gün 08: 00'e kadar beklemek zorundadır.

$$\mathbf{\text{BEKLEME: } 22.03.2012_08:00:00-21.03.2012_18:00:00=\mathbf{840}}$$

At=Varış zamanı: 22.03.2012_08:00:00

ERKEN-GEÇ VARİŞ HESABI

At: 22.03.2012_08:00:00
itt:22.03.2012_16:00:00
CEZA:480*2=960



480 DAK. ERKEN VARİŞ

UYUM DEĞERİ-MALİYET HESABI

$\text{FitFuncA} = \text{Lt}_j - \text{abs}(h_j - a_j) + \text{ceza} + \text{BEKLEME}$

FitFuncA=1980-1400+960+840=2380

M2

tj: aracın kapıya yanaşma zamanı:21.03.2012_08: 25

aj: aracın fabrikaya gelişi: 21.03.2012_08: 20

sj: yükleme: 180

mj: yol: 460

hj: sipariş tarihi:20.03.2012_10: 00

B tipi, 9sa.

$\text{Lt}_j = (t_j - a_j + s_j + m_j) + a_j - h_j$

Ltj:(21.03.2012_08: 25-21.03.2012_08: 20+180+460)+ 21.03.2012_08: 20-20.03.2012_10: 00

=5+180+460+1340=1985

Aracın varış zamanı:

$A_t = h_j + \text{Lt}_j$

=20.03.2012_10: 00+1985= 21.03.2012_19:05:00

MESAI KONTROL

9 saatlik zaman diliminde olduğu için akşam 17: 00'ye kadar gelen araçları kabul etmektedir. Ertesi gün 08: 00'e kadar beklemek zorundadır

BEKLEME: 22.03.2012_08:00:00-21.03.2012_19:05:00=775

At=Varış zamanı: 22.03.2012_08:00:00

ERKEN-GEÇ VARİŞ HESABI

At: 22.03.2012_08:00:00
itt:22.03.2012_14:00:00

} 360 DAK. ERKEN VARİŞ

CEZA:360*2=720

UYUM DEĞERİ-MALİYET HESABI

$\text{FitFuncA} = \text{Lt}_j - \text{abs}(h_j - a_j) + \text{ceza} + \text{BEKLEME}$

$\text{FitFuncA} = 1985 - 1340 + 720 + 775 = 2140$

TOPLAM LEAD TIME:M5+M1+M2

$\text{TopLt} = 6160 + 2380 + 2140 = 10680$

EK-9 ONBİRİNCİ VERİ SETİ SONUÇLARI

21.03.2012_08:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	254	295	288	33	293	126	96	50	179	232	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	78	70	311	275	201	79	43	257	184	237	1036004,5
21.03.2012_09:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	207	214	175	307	224	198	75	152	64	157	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	17	81	131	185	80	181	57	301	18	203	
21.03.2012_10:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	68			284			125	8	300	105	1269752
21.03.2012_11:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	267	265					268	277			
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	176	283	158		44						
21.03.2012_11:45:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	294	55	103		60	316					
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	117	304	209					116			1343369,5
21.03.2012_12:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	151			19	54	40			299		
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
				161		53	173	112		11	
21.03.2012_12:45:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	142					182			199	219	1176102,5
21.03.2012_13:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	276	42						172		245	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	135				222						
21.03.2012_14:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	142					182					1189652
21.03.2012_14:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	276	42						172			
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	135				222						
21.03.2012_15:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	89		108	252			313	9	83		1313920,5
21.03.2012_15:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	82					133	274				
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	266	210					109	166		159	
21.03.2012_16:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	235	85			106	134				26	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	84		253	90							1292802
21.03.2012_16:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	249		110	61				25			
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
				255		136					
21.03.2012_17:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
					260			167	264		1233831
21.03.2012_17:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
										244	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_18:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	310	233		282	212	10	137		262	102	1340427
21.03.2012_18:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	242			231			34		36		
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	35	258					177	52	246		
21.03.2012_19:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
		208	100					202			1236163
21.03.2012_19:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	
	74	239		141		317					
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
				298	271	286	221				

EK-10 ONİKİNCİ VERİ SETİ SONUÇLARI

21.03.2012_08:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	203	202	116	281	182	127	378	151	113	213	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	252	316	8	285	197	11	249	336	173	214	
21.03.2012_10:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	1479862,5
	102	78	288	232	80	57	61	350	314	70	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	319	28	109	185	303	81	121	152	175	64	
21.03.2012_11:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
			207				371	284	301		
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	174	275		105	323	19	209	120	331	324	
21.03.2012_11:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	1881768
	174	275		105	323						
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
			184			172		311	370		
21.03.2012_12:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	161	49		199	103	149				372	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	111	65	32	181				40			
21.03.2012_13:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	1989244
			17			305	332	294	135	3	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	277	96		176	257		2			265	
21.03.2012_14:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	161	49		199	103	149				372	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	111	65	32	181				40			
21.03.2012_14:45:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	1826293,5
			17			305	332	294	135	3	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	277	96		176	257		2			265	
21.03.2012_15:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	276			142							
21.03.2012_16:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	1914979
	276			142							
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_17:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	276			142							
21.03.2012_18:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	2081346,5
	276			142							
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_19:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	276			142							
21.03.2012_20:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	2060976
	276			142							
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_21:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	276			142							
21.03.2012_22:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	2205517
	276			142							
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_23:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	276			142							
21.03.2012_24:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	2243765,5
	276			142							
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_25:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Degeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	276			142							
21.03.2012_26:25:00	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	2133489
	276			142							
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	

EK-11 ONÜÇÜNCÜ VERİ SETİ SONUÇLARI

21.03.2012_08:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
	140	130	152	127	101	126	185	136	151	113	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	135	112	198	202	121	165	182	122	181	176	
	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	514750,5
21.03.2012_09:45:00	98	131	195	99	109	93	197	173	138	187	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	157	175	87	96	107	102	179	116	184	178	
	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
21.03.2012_10:25:00						125		150			
	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	248735
			158			111					
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
	120		105						174		
21.03.2012_11:25:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
		148	190		155				191	90	
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
	139	172								144	
	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	273683,5
21.03.2012_11:45:00	189	123		146	149		199	95		85	
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
		167		129	196	193	88	137		171	
	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
	161			141		92	117	100			
21.03.2012_11:45:00	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
			89	118	128		103		133		
	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	145884
									180		
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
21.03.2012_11:45:00	Kapı1	Kapı2	Kapı3	Kapı4	Kapı5	Kapı6	Kapı7	Kapı8	Kapı9	Kapı10	Uygunluk Değeri
									91		
	Kapı11	Kapı12	Kapı13	Kapı14	Kapı15	Kapı16	Kapı17	Kapı18	Kapı19	Kapı20	
										94	
	Kapı21	Kapı22	Kapı23	Kapı24	Kapı25	Kapı26	Kapı27	Kapı28	Kapı29	Kapı30	38405
21.03.2012_11:45:00		163				201		156			
	Kapı31	Kapı32	Kapı33	Kapı34	Kapı35	Kapı36	Kapı37	Kapı38	Kapı39	Kapı40	
			159		192						

EK-12 GTT VE İTT'NE GÖRE SAPMALAR

Müşteri	İstenen Teslim Tarihi	Gerçekleşen Teslim Tarihi	Sapma
M1	22.03.2012_15:00:00	21.03.2012_08:00:00	Erken Teslim
M2	22.03.2012_12:00:00	21.03.2012_09:00:00	Erken Teslim
M3	23.03.2012_11:00:00	24.03.2012_13:00:00	Geç Teslim
M4	24.03.2012_08:00:00	25.03.2012_23:27:00	Geç Teslim
M5	22.03.2012_11:10:00	22.03.2012_19:10:00	Geç Teslim
M6	22.03.2012_16:35:00	23.03.2012_19:10:00	Geç Teslim
M7	25.03.2012_08:30:00	23.03.2012_10:00:00	Erken Teslim
M8	22.03.2012_16:35:00	24.03.2012_10:16:00	Geç Teslim
M9	23.03.2012_08:30:00	22.03.2012_08:30:00	Erken Teslim
M10	23.03.2012_11:00:00	23.03.2012_11:00:00	Tam
M11	22.03.2012_09:55:00	22.03.2012_09:23:00	Erken Teslim
M12	21.03.2012_09:36:00	21.03.2012_18:49:00	Geç Teslim
M13	21.03.2012_16:52:00	21.03.2012_17:22:00	Geç Teslim
M14	23.03.2012_09:50:00	21.03.2012_08:00:00	Erken Teslim
M15	21.03.2012_21:52:00	23.03.2012_16:09:00	Geç Teslim
M16	22.03.2012_16:52:00	19.03.2012_08:00:00	Erken Teslim
M17	23.03.2012_09:50:00	23.03.2012_12:00:00	Geç Teslim
M18	24.03.2012_10:00:00	24.03.2012_17:00:00	Geç Teslim
M19	22.03.2012_10:52:00	21.03.2012_02:29:00	Erken Teslim
M20	22.03.2012_11:55:00	23.03.2012_01:15:00	Geç Teslim
M21	22.03.2012_13:36:00	21.03.2012_09:44:00	Erken Teslim
M22	22.03.2012_09:36:00	23.03.2012_20:45:00	Geç Teslim
M23	23.03.2012_13:36:00	23.03.2012_19:00:00	Geç Teslim
M24	21.03.2012_19:36:00	22.03.2012_20:30:00	Geç Teslim
M25	21.03.2012_22:52:00	20.03.2012_20:35:00	Erken Teslim
M26	22.03.2012_10:00:00	22.03.2012_20:00:00	Geç Teslim
M27	22.03.2012_08:36:00	22.03.2012_08:00:00	Erken Teslim
M28	22.03.2012_10:45:00	22.03.2012_15:00:00	Geç Teslim
M29	22.03.2012_12:55:00	23.03.2012_08:00:00	Geç Teslim
M30	23.03.2012_10:52:00	21.03.2012_11:00:00	Erken Teslim
M31	22.03.2012_15:36:00	23.03.2012_09:00:00	Geç Teslim
M32	21.03.2012_16:50:00	19.03.2012_01:20:00	Erken Teslim
M33	23.03.2012_13:00:00	23.03.2012_13:00:00	Tam
M34	23.03.2012_09:50:00	21.03.2012_08:00:00	Erken Teslim
M35	22.03.2012_16:52:00	23.03.2012_14:25:00	Geç Teslim