

Depo İçi Operasyonların Yönetimi İçin Sezgisel Yöntemler

Proje No: 108M421

Doç. Dr. Osman KULAK
Arş. Gör. Yusuf ŞAHİN
Uzm. Mustafa Egemen TANER
Dilek EKEMEN

AĞUSTOS 2011
DENİZLİ

ÖNSÖZ

Müşteri ihtiyaçları doğrultusunda, sevk noktası ile talep noktası arasındaki malzemelerin akışı boyunca yer alan tüm faaliyetlerin ekonomik olarak yürütülmesi, günümüzde lojistik firmalarının en önemli hedefidir. Tedarik zincirinde depo operasyonlarının maliyeti önemli bir paya sahip olduğu için depo operasyonlarının etkin yönetimi son zamanlarda lojistik firmalarının önemli konularından birisi haline gelmiştir.

Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilen çalışmalar incelendiğinde, mevcut çalışmaların çoğunun klasik depo yerleşimine (tek bloklu) yönelik olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile hem klasik depo (tek bloklu) hem de çapraz geçitli depo (çok bloklu) sistemleri için sipariş gruplama ve sipariş toplama problemlerini birlikte çözen yeni yöntemler geliştirilmiştir. Sipariş gruplama problemini etkin ve hızlı çözmek için literatürde ilk defa yeni geliştirilen rota benzerlik esaslı (RS-RV) çekirdek algoritma, parametrik sezgisellerle (Genetik Algoritma ve Tabu Arama) bütünleştirilmiştir. Yine toplayıcı rotalama probleminin çözümü için Steiner gezgin satıcı problemine yönelik geliştirilen sezgisellerin alternatifi olarak klasik gezgin satıcı problemi için geliştirilen yapısal sezgiseller (En Yakın Komşu, Kazanç) ile geliştirme sezgisellerinin (2-opt ve or-opt) birlikte kullanıldığı yeni yöntemler önerilmektedir.

Bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenerek ülkemizin kaynaklarını kullandığı için önerilen yöntemlerin ülkemizin lojistik sektörü depo operasyonları yönetiminde katkılar sağlaması en büyük arzumdur. Proje boyunca yoğun emekler harcayan ve özveri ile çalışan Ar. Gör. Yusuf ŞAHİN'e, yüksek lisans öğrencilerim Uzm. Mustafa Egemen TANER ve Dilek EKEMEN'e teşekkür ederim. Değerli katkıları ile projenin olgunlaştırılmasına ve geliştirilmesine yardımcı olan değerli hakemlere ve yetkililere saygılarımı sunuyorum.

Benim bugünlere gelmemde büyük emekleri olan biricik anneme ve babama...

Doç. Dr. Osman KULAK

İçindekiler

ÖNSÖZ.....	2
İÇİNDEKİLER.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ŞEKİLLER.....	6
TABLolar.....	8
İNDİSLER, PARAMETRELER, KISALTMALAR	9
1. DEPO YÖNETİMİ.....	10
1.1 Sipariş toplama.....	12
1.2 Geçit Düzenlemesi Esasına Göre Depo Yerleşim Modelleri	15
1.3 Literatür Araştırması	17
1.3.1 Sipariş Gruplama ile İlgili Çalışmalar	17
1.3.2 Rotalama ile İlgili Çalışmalar.....	20
2. PROBLEMİN TANIMLANMASI.....	23
2.1 Problemin Matematiksel Modeli	23
2.2 Çözüm Yöntemi	25
2.3 Rota Benzerlik Esaslı Çekirdek Algoritma	25
2.4 Genetik Algoritma.....	27
2.4.1 Çözümün Kodlanması	27
2.4.2 İlk Nüfusun Oluşturulması	27
2.4.3 Uygunluk Fonksiyonu	27
2.4.4 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması.....	28
2.4.5 Çaprazlanacak Bireylerin Seçimi	29
2.4.6 Çaprazlama.....	31
2.4.7 Mutasyon.....	32
2.4.8 Elitizm	34
2.4.9 Tamir fonksiyonu	35
2.4.10 Sonlandırma Koşulu	36
2.5 Tabu Arama Algoritması.....	36
2.5.1 Çözümün kodlanması	38
2.5.2 Uygunluk Fonksiyonu	39
2.5.3 Komşuluk yapısı ve hareketleri	40
2.5.4 Tabu arama hafızası.....	40
2.5.5 Durdurma Kriteri.....	41
2.6 Rotalama Sezgiselleri.....	41
2.6.1 Kazanç Sezgiseli.....	41

2.6.2	En Yakın Komşu Sezgiseli.....	43
2.6.3	2-Opt Algoritması.....	43
2.6.4	Or-Opt Algoritması	44
3.	YÖNTEM YAZILIMLARININ GELİŞTİRİLMESİ.....	45
3.1	İş Analizi	45
3.2	İş Modellemesi	46
3.3	İşlevsellik Testleri, dokümantasyon, yazılımın hazırlanması ve gerçekleştirim	49
3.4	Yazılım Kullanımı için Tanıtım	49
3.4.1	Kullanıcı Girişi	49
3.4.2	Yazılımın ana sayfası	50
3.4.3	Siparişleri Planla Portleti.....	50
3.4.4	Yapılandır	52
3.4.5	Siparişlerin Planlanması	59
3.4.6	Depo ve Araç Bilgilerinin Tanımlandığı Portlet	60
3.4.7	Sipariş Portleti	61
3.4.8	Deney Sonuçları Portleti.....	62
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	65
4.1	Depo Yerleşim Özellikleri.....	65
4.2	Siparişler Listeleri ve Özellikleri.....	67
4.3	Genetik Algoritma Esaslı Yöntemlerin Analizi	68
4.3.1	GA için En İyi Parametrelerin Belirlenmesi.....	69
4.3.2	Normallik testi	70
4.3.3	F testi	71
4.3.4	Çoklu karşılaştırma testleri.....	71
4.3.5	GA Yöntemi Sonuçlarının Analizi	72
4.4	Tabu Arama Algoritması Esaslı Yöntemlerin Analizi	75
4.4.1	TA Algoritması için En İyi Parametrelerin Belirlenmesi	77
4.4.2	Normallik testi	78
4.4.3	F testi	78
4.4.4	Çoklu karşılaştırma testleri.....	79
4.4.5	TA Yöntemi Sonuçlarının Analizi.....	80
4.5	TA ve GA Yöntemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması	82
	SONUÇLAR	85
	KAYNAKLAR.....	87
	EKLER.....	91
	EK-1. 50'lik sipariş listesi	92
	EK-2. 100'lük Sipariş Listesi	93
	EK-3. 150'lik Sipariş Listesi	94
	EK-4. 200'lük sipariş listesi	96

EK-5. 250'lik sipariş listesi	98
EK-6 Klasik depo yerleşiminde 50 sipariş için GANN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı .	101
EK-7 Çapraz geçitli depo yerleşiminde 50 sipariş için GANN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı.....	102
EK-8 Çapraz geçitli depo yerleşiminde 100 sipariş için GAN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı.....	103
EK-9 Klasik depo yerleşiminde 100 sipariş için TANO yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı	104
EK-10 Çapraz geçitli depo yerleşiminde 100 sipariş için TANO yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı.....	105
EK-11. GA ve TA İçin Test Sipariş Listesi.....	106

ŞEKİLLER

Şekil 1 Tipik depo fonksiyonları ve akışları (Tompkins ve diğerleri 2003)	10
Şekil 2 Tek tek toplama	13
Şekil 3 Grup toplama.....	13
Şekil 4 Zig-zag Yöntemi (S-Shape).....	14
Şekil 5 En büyük boşluk (Largest Gap).....	14
Şekil 6 Geri Dönüşlü	15
Şekil 7 Orta Nokta	15
Şekil 8 Birleşik.....	15
Şekil 9 Optimal	15
Şekil 10 Klasik depo yerleşim düzeni (Tek bloklu)	16
Şekil 11 Çapraz geçitli depo yerleşimi.....	16
Şekil 12 Grup numarası gösterimine dayalı kromozom yapısı.....	27
Şekil 13 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması	29
Şekil 14 Rulet tekeri seçimi.....	30
Şekil 15 Uniform çaprazlama	31
Şekil 16 Gen yapısının değiştirilmesi.....	32
Şekil 17 Enjeksiyon çaprazlama	32
Şekil 18 İkili yer değiştirme yöntemi.....	33
Şekil 19 Yerine koyma yöntemi.....	33
Şekil 20 Sağa ve sola rotasyon yöntemleri	33
Şekil 21 Tersine çevirme yöntemi	33
Şekil 22 Yeni nesil seçimi.....	34
Şekil 23 Geliştirilen GA'nın Akışı.....	35
Şekil 24 Tamir stratejisi.....	36
Şekil 25 TA Algoritmalarının Akışı	37
Şekil 26 Çözüm Yapısı	39
Şekil 27 Takas operatörü	40
Şekil 28 Yer değiştirme operatörü.....	40
Şekil 29 Kazanç Sezgiseli ile kazanç hesaplaması.....	41
Şekil 30 2-opt algoritmasının gösterimi	43
Şekil 31 Or-opt algoritmasının gösterimi	44
Şekil 32 Kullanıcının ihtiyaç duyduğu kısımlar	46
Şekil 33 Depo, araç ve ürünle ilgili veri modeli	47

Şekil 34 Çözüm yöntemleri ile ilgili veri modeli.....	47
Şekil 35 Sipariş tanımlama ile veri modeli	47
Şekil 36 Depo, ürün ve araç tanımlama ile ilgili sınıflar	48
Şekil 37 GA ile ilgili sınıflar	48
Şekil 38 Kullanıcı giriş ekranı	49
Şekil 39 Yazılımın ana sayfası.....	50
Şekil 40 Sipariş Planlama Portleti-Deney Yapılırken.....	51
Şekil 41 Sipariş Planlama Portleti-Deney Tamamlanmış.....	51
Şekil 42 Parametre girişi için plan yapılandırma portletine geçiş.....	52
Şekil 43 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 1	53
Şekil 44 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 2	53
Şekil 45 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 3	54
Şekil 46 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 4	54
Şekil 47 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 4	55
Şekil 48 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 5	55
Şekil 49 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 6	56
Şekil 50 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 7	56
Şekil 51 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 8	57
Şekil 52 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 9	57
Şekil 53 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 9	58
Şekil 54 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 10.....	58
Şekil 55 Deneye ait bilgilerin girildiği planlama portleti	59
Şekil 56 Tabu arama kullanılması durumunda karşımıza çıkan planlama portleti	59
Şekil 57 Depo ve Araç Portleti	60
Şekil 58 Depo bilgilerinin girildiği portlet.....	60
Şekil 59 Araç kapasitesinin girilmesi.....	61
Şekil 60 Sipariş listesinin dışarıdan girilmesi.....	61
Şekil 61 Siparişlerin program tarafından üretilmesi	62
Şekil 62 Deney sonuçları ekranı.....	63
Şekil 63 Deney detayları.....	63
Şekil 64 Rota detayı.....	64
Şekil 65 Klasik depo yerleşim düzeni (Tek bloklu)	65
Şekil 66 Çapraz geçitli depo.....	66
Şekil 67 Yöntemlerin uygunluk değeri (a) ve Hesaplama Zamanı (b) Grafiği	83
Şekil 68 Yöntemlerin uygunluk değeri (a) ve Hesaplama Zamanı (b) Grafiği	83

TABLULAR

Tablo 1 Depo Tasarımı ve Depo Operasyonları Problemleri için Kararlar (Gu ve diğerleri,2007).....	11
Tablo 2 Gruplama için sipariş yakınlığı ölçümleri	17
Tablo 3 Türe göre sipariş gruplama sezgiselleri	18
Tablo 4 Seçim olasılığı ve uygunluk değeri	30
Tablo 5 Depo özelliklerini belirten parametreler	67
Tablo 6 Sipariş liselerine ait bilgiler	68
Tablo 7 Deneysel çalışmada kullanılan parametre değerleri.....	69
Tablo 8 ANOVA testi için seçilen parametre grupları.....	70
Tablo 9 Normallik testi sonuçları	70
Tablo 10 F-test istatistiği sonuçları.....	71
Tablo 11 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları	72
Tablo 12 Nihai GA parametreleri.....	72
Tablo 13 Klasik depo yerleşim düzeni için yöntemler ve çözüm değerleri.....	73
Tablo 14 Çapraz geçitli depo yerleşim düzeni için yöntemler ve çözüm değerleri	75
Tablo 15 Deneysel çalışmada kullanılan parametre değerleri.....	77
Tablo 16 ANOVA testi için seçilen parametre grupları	77
Tablo 17 Normallik testi sonuçları	78
Tablo 18 F-test istatistiği sonuçları.....	78
Tablo 19 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları	79
Tablo 20 Nihai TA parametre değerleri	79
Tablo 21 Klasik Depo Yerleşim sistemi için TA sonuçları	80

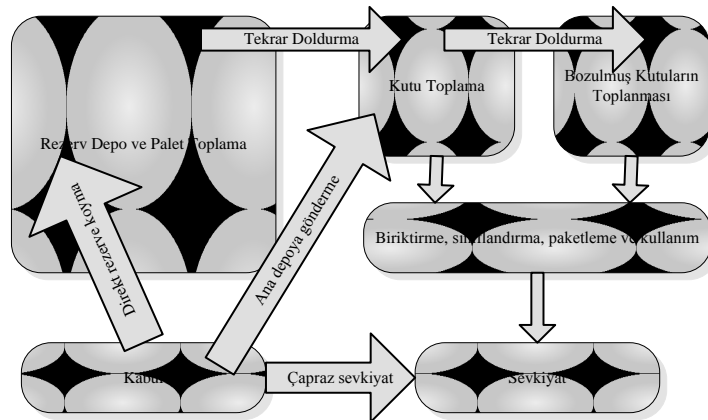
İNDİSLER, PARAMETRELER, KISALTMALAR

$b \in B$	Sipariş grupları
$k \in K$	Siparişler
$i, j \in V$	Lokasyonlar
$s \subset V$	Lokasyonların alt kümeleri
C	Toplama aracının kapasitesi
w_k	Sipariş k için ağırlık
d_{ij}	Lokasyon i ve j arasındaki mesafe
s_{ik}	=1, eğer k siparişindeki bir parça lokasyon i den alınırsa (=0, Eğer değilse)
d_{ij}^b	b sipariş grubunda i ve j lokasyonları arasındaki mesafe
n	Sipariş sayısı
NS_k	k siparişi içindeki alt siparişlerin sayısı
DI_k	Yoğunluk indeksi
S_k	Çekirdek Sipariş
p_k	k siparişinin seçilme olasılığı değeri
S_{km}	S_k çekirdek siparişine m siparişi eklendiğinde oluşan yeni benzerlik faktörü
D_k	Çekirdek sipariş (S_k) içerisindeki alt siparişlerin rota mesafesi
D_{yeni}	m siparişi k çekirdek siparişine atandıktan sonra oluşan yeni rota mesafesi
M	Ceza (Penaltı) Değeri
F_{br}	Popülasyondaki birey (br) için uygunluk değeri
σ	Nüfus içerisinde yer alan kromozomlara ait mesafelerin standart sapması
F_{yeni}	Yeni uygunluk değeri
F_{eski}	Eski uygunluk değeri
N_{iyi}	Eşleştirme havuzuna eşleştirilmek üzere seçilen kromozom sayısı
s	Bir kromozomun sıra numarası
p_s	Bir kromozomun seçim ihtimali
S	Başlangıç çözümü (Tabu Arama Algoritması)
S_{eniyi}	Çözümü tabu listesinde olmayan çözümlerin en iyisi
x_{0i}	Referans noktası ile i lokasyonu arasındaki mesafe
x_{0j}	Referans noktası ile j lokasyonu arasındaki mesafe
x_{ij}	i lokasyonu ile j lokasyonu arasındaki mesafe
L	Ortadaki geçidin alt ve üst taraftaki geçitlere uzaklığı (Çapraz geçitli sistemler için)
Z_v	v . parçanın geçit içerisindeki yeri
t	Koridor Numarası
D_u	Geçidin Uzunluğu

1. DEPO YÖNETİMİ

Müşteri ihtiyaçları doğrultusunda, sevk noktası ile talep noktası arasındaki malzemelerin akışı boyunca yer alan tüm faaliyetlerin ekonomik olarak yürütülmesi, günümüzde lojistik firmalarının en önemli hedefidir. Tedarik zincirinde depo operasyonlarının maliyeti önemli bir paya sahip olduğu için depo operasyonlarının etkin yönetimi son zamanlarda lojistik firmalarının önemli konularından birisi haline gelmiştir.

Depo içindeki fonksiyonel alanlar ve akışlar değerlendirildiğinde, depo operasyonları teslim alma, taşıma ve yerleştirme, sipariş toplama/seçme, sınıflandırma/biriktirme, çapraz sevkiyat ve sevkiyat gibi başlıklar altında sınıflandırılmaktadır. Şekil 1’de depo içerisindeki fonksiyonel alanlar ve akışlar gösterilmektedir. *Teslim alma işlemi* boyunca, depoya gelen ürün taşıma aracından indirilir, stok kayıtları güncellenir, kalite veya sayı olarak herhangi bir tutarsızlığın olup olmadığı kontrol edilir. Teslim alması gerçekleştirilen ürün daha sonra ilgili alana *taşıma* işlemi götürülür ve *yerleştirilir*. *Sipariş toplama/seçme*, depo operasyonları içinde ana faaliyetlerden birisi olup, müşteri siparişleri doğrultusunda istenilen ürünlerden istenilen miktarda hazırlamasını içermektedir. Sipariş toplama işlemi eğer gruplama yöntemi ile gerçekleştirilmişse toplanan siparişlerin bireysel müşteri siparişleri olarak düzenlenmesi *sınıflandırma/biriktirme* faaliyeti olarak tanımlanır. Sipariş toplama ve biriktirme faaliyetlerinden sonra tüm ürünler paketlenir ve sevkiyat için uygun yük birimine dönüştürülürler. Müşteriler için hazırlanmış ürünler *sevkiyat* işlemi ile ilgili sevkiyat noktasına gönderilmektedir. Çapraz sevkiyat işlemi ise, teslim alınan ürünlerin depoda bekletilmesini ya da çok az bekletilerek direkt sevkiyat noktasına gönderilmesini kapsamaktadır. Bu işlemde kısa bekleme veya servislere ihtiyaç duyulabilmesine rağmen sipariş toplama işlemi gerçekleştirilmez.



Şekil 1 Tipik depo fonksiyonları ve akışları (Tompkins ve diğerleri 2003)

Tedarik zincirinin önemli parçası olan depoların etkin yönetimi için yukarıda tanımlanan tüm faaliyetlerin bir bütünlük içinde incelenmesi gerekmektedir. Bu faaliyetlerin bütünlük içinde gerçekleştirilebilmesi için depo tasarımı ve depo operasyonları olarak sınıflandırılan problemlerin çözülmesi gerekmektedir. Depo tasarımı ve operasyonları ile ilgili problemler ve bu problemlere ait kararlar **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

Depo tasarımı, yerleşim düzenlemesi gibi daha çok fiziksel yapı ve donanım ile ilgili problemlere odaklanır. Bunun yanında, depo operasyonları ise depo operasyon maliyetlerini en az yapacak atama, gruplama, rotalama ve sıralama problemlerine odaklanmaktadır.

Tablo 1 Depo Tasarımı ve Depo Operasyonları Problemleri için Kararlar (Gu ve diğerleri,2007)

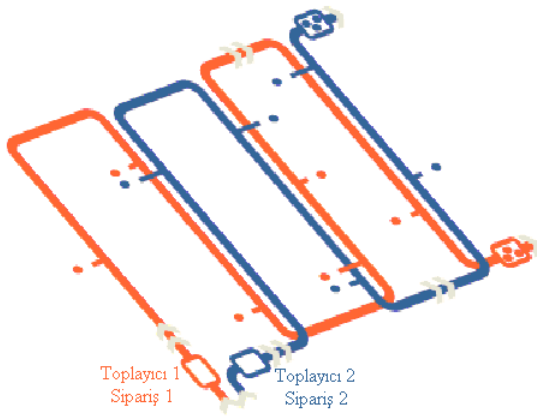
Tasarım ve Operasyon Problemleri		Kararlar	
Depo tasarımı	Genel yapı	<ul style="list-style-type: none"> Malzeme akışı Bölüm tanımlama Bölmelerin ilişki konumları 	
	Boyutlandırma ve Ölçülendirme	<ul style="list-style-type: none"> Deponun boyutları Bölmelerin boyutları ve ölçüleri 	
	Bölüm yerleşimi	<ul style="list-style-type: none"> Palet blok istifleme modeli (palet depolama için) Geçit yönlendirmeleri Geçitlerin sayısı, uzunluğu ve genişliği Kapı yerleri 	
	Ekipman seçimi	<ul style="list-style-type: none"> Otomasyon seviyesi Depolama ekipmanı seçimi Malzeme taşıma ekipmanı seçimi (sipariş toplama, sıralama) 	
	Operasyon yöntemi	<ul style="list-style-type: none"> Depolama stratejisi seçimi (Örneğin rastgele vs. adanmış) Sipariş toplama yöntemi seçimi 	
Depo operasyonu	Kabul ve sevkiyat	<ul style="list-style-type: none"> Kamyon-yük rampası ataması Sipariş-kamyon ataması Kamyon dağıtım çizelgesi 	
	Depolama	Stoklama Üniteleri-bölüm ataması	<ul style="list-style-type: none"> Farklı depo bölümlerine parçaların atanması Yer tahsisi
		Bölgelere ayırma	<ul style="list-style-type: none"> Stoklama Ünitelerinin bölgelere atanması Toplayıcıların bölgelere atanması
		Depolama yeri ataması	<ul style="list-style-type: none"> Depolama yeri ataması Depolama sınıflarının özellikleri (sınıf tabanlı depolama için)
	Sipariş Toplama	Gruplama	<ul style="list-style-type: none"> Grup büyüklüğü Sipariş-grup ataması
		Rotalama ve sıralama	<ul style="list-style-type: none"> Sipariş toplama turlarının rotalama ve sıralaması İkamet noktası seçimi (AS/RS için)
		Sıralama	<ul style="list-style-type: none"> Sipariş-şerit ataması

Her bir depo operasyonu için literatürde birçok çalışma olmakla birlikte, proje kapsamında sipariş toplama (hazırlama) operasyonlarına odaklanılmıştır. Özellikle dağıtım merkezlerinde büyük miktarlardaki birçok siparişin kısa zaman dilimlerinde toplanması (hazırlanması) tedarik zincirinin performansını etkilediği için bu alanda birçok yöntem geliştirilmiştir. Değişen müşteri isteklerine göre yeni ihtiyaçları dikkate alan yöntemlerin geliştirilmesine devam edilmektedir.

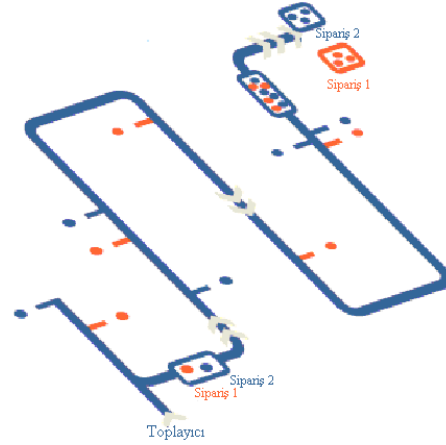
1.1 Sipariş toplama

Sipariş hazırlama faaliyeti, deponun giriş-çıkış noktasında hangi siparişlerin hangi sıra ile toplanacağını gösteren sipariş listesinin ulaştırılması ile başlar. Siparişlerin toplanması için yapıya bağlı olarak insan ya da otomatik makine sistemleri kullanılmakla birlikte, çoğunlukla insan kullanılmaktadır. İnsan esaslı toplama sistemleri genel olarak toplayıcının-parçalara (picker-to- parts) ve parçaların-toplayıcıya (parts-to-picker) hareket ettiği sistemler olarak sınıflandırılabilir. İlk sistem çok yaygın olup, toplayıcı parçalara ulaşmak için koridorlarda dolaşır ve raflardan istenilen parçaları toplar. Diğer sistemde ise parçaların depodaki konumlarına yerleştirilmesi ve geri alınması otomatik sistemlerle gerçekleştirilmektedir.

Özellikle insan esaslı toplama sistemlerinde toplayıcının performansını etkileyen sipariş toplama politikaları oldukça önemlidir. Eğer toplanan her sipariş miktar olarak oldukça fazla ise bu siparişler tek tek toplanabilir. Bu şekilde gerçekleşen toplama faaliyeti tek sipariş toplama politikası olarak adlandırılmaktadır. Eğer siparişler miktar olarak az ise siparişleri tek tek toplamak yerine birleştirilerek toplamak, toplama mesafesi olarak (toplama zamanı olarak da olabilir) toplayıcıya avantaj sağlıyorsa siparişler gruplanarak toplanabilir. Farklı siparişlerin bir araya getirilerek tek bir turda toplanması Sipariş gruplama politikası olarak tanımlanmaktadır. Choe ve Sharp (1991) siparişleri gruplama politikasının kullanımı için toplama noktalarının yakınlığı ve zaman pencereleri olmak üzere temel iki kriteri tanımlamıştır. [Şekil 2](#) ve [3](#) sırasıyla siparişlerin tek olarak ve grup halinde toplanması durumlarını göstermektedir. [Şekil 2](#)'de iki farklı siparişe ait parçalar farklı turlarda tek tek toplanırken, [Şekil 3](#)'te ise iki sipariş birleştirilip bu siparişlerdeki parçalar tek bir turda toplanmaktadır.



Şekil 2 Tek tek toplama



Şekil 3 Grup toplama

Sipariş hazırlama faaliyetinin diğer bileşeni ise toplayıcı rotasının belirlenmesi faaliyetidir. Rotanın belirlenmesindeki temel amaç, siparişlerin depo içerisinde toplanması sırasında kat edilen toplam mesafeyi en az yapmaktır. Toplayıcı rotalama problemi Gezgin Satıcı Probleminin (TSP) özel bir durumu olup, sipariş toplayıcı faaliyetine sipariş listesini aldığı giriş noktasından (ana şehir) başlar, tüm toplama noktalarını (şehirler) ziyaret eder ve sonunda giriş noktasına geri döner. Klasik depo yerleşim düzenlemeleri için Sipariş toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik birçok sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Sipariş toplayıcı rotalama problemi için geliştirilen en basit ve yaygın sezgisel yöntemlerden birisi zig-zag (s-shape) sezgiselidir (Bakınız Şekil 4). Toplayıcı sipariş listesindeki parçaları toplamak için, giriş noktasına en yakın koridordan başlayarak en uzak koridorda bulunan parçayı alana kadar zig-zag çizerek, toplama listesinde parça bulunan tüm koridorları dolaşır. Listede parçası olmayan koridorlar ziyaret edilmez, koridor içi geri dönüşlere izin verilmez.

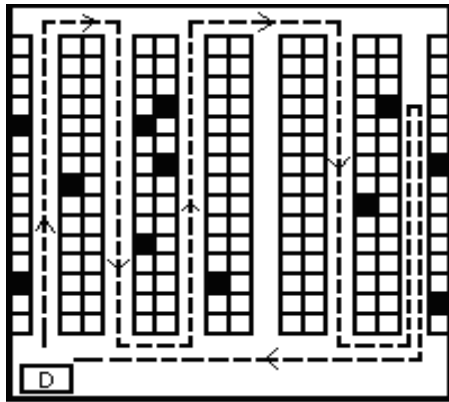
Literatürde yaygın olarak kullanılan diğer bir rotalama yöntemi de En büyük boşluk yöntemidir (Bakınız Şekil 5). Klasik depo yerleşim düzenlerinde; biri ön geçide yakın diğeri arka geçide yakın olan ve aynı koridorda yer alan iki parça arasında kalan mesafe boşluk olarak isimlendirilmektedir. En büyük boşluk iki bitişik parça arasındaysa, toplayıcı geri dönüş rotasını geçitlerin her ikisinden (ön ve arka) uygular. Aksi halde, ya ön ya da arka geçitten bir geri dönüş noktası belirlenir.

En büyük boşluk yöntemine benzeyen diğer bir yöntem de Orta Nokta yöntemidir (Bakınız Şekil7). Bu yöntemde depo iki bölüme ayrılır ve toplayıcı girdiği bir geçitten koridorun orta noktasına kadar ilerleyebilir ve parçayı aldıktan sonra geri dönerek aynı geçitten çıkar. Ön geçide yakın parçalara ön çapraz geçitten, arka geçide yakın parçalara da arka çapraz geçitten ulaşılmaktadır.

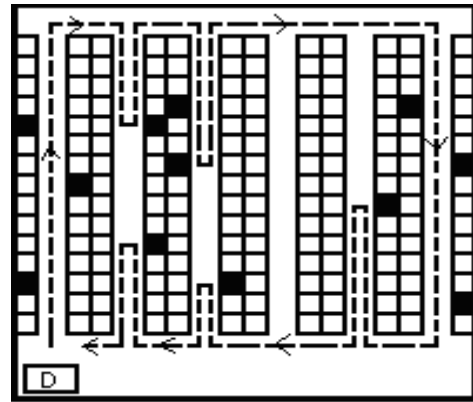
Yine toplayıcı rotasının belirlenmesi problemi için geliştirilen diğer bir yöntem Geri Dönüş yöntemi olup Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu yöntemde; sipariş listesinde bulunan parçaların toplanması için toplayıcı, her bir geçide aynı noktadan girer ve ilgili parçaları topladıktan sonra aynı geçitten çıkar. Sadece toplanması gereken parçalara sahip geçitlere (koridorlara) ulaşılır.

Birleşik sezgisel yöntem, yukarıda belirtilen birkaç sezgiselin bileşiminden oluşan bir yöntem olup Şekil 8'de gösterilmiştir. Burada; parça bulunan geçitlere zig-zag yönteminde olduğu gibi ya tamamen erişilebilir ya da geri dönüş yönteminde olduğu gibi aynı bir geçidin aynı ucundan giriş-çıkış yapılabilir. Bununla birlikte, her ziyaret edilen geçit için, dinamik programlama ile seçim yapılır. (Roodbergen ve De Koster, 2001a)

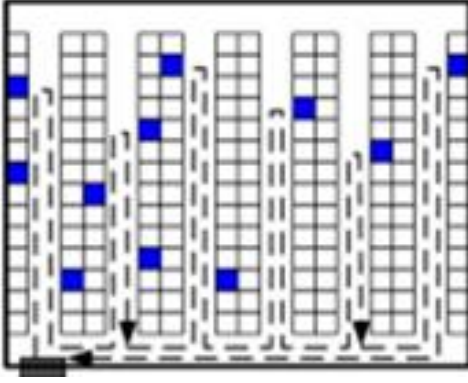
Bu bölümde sunulan tüm yöntemler tek bloklu (single-block) klasik depo yerleşim düzenlemesi olan depolar için geliştirilmiş rotalama yöntemleridir. Çapraz geçitli çok bloklu (multi-block) depo yerleşim düzenlemesi için düzenlenmiş versiyonları bulunmakla birlikte yeni depo düzenlemeleri için yeni rotalama yöntemlerine ihtiyaç vardır.



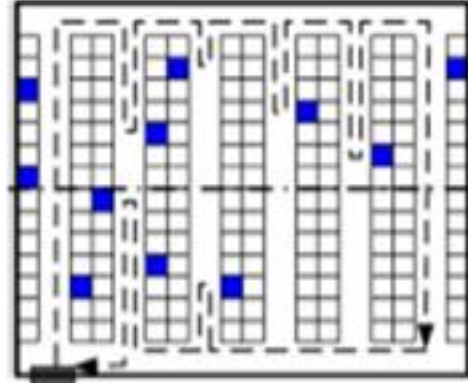
Şekil 4 Zig-zag Yöntemi (S-Shape)



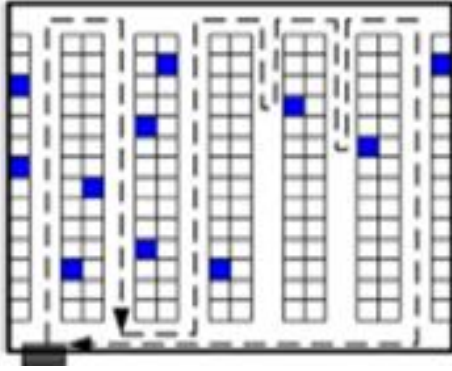
Şekil 5 En büyük boşluk (Largest Gap)



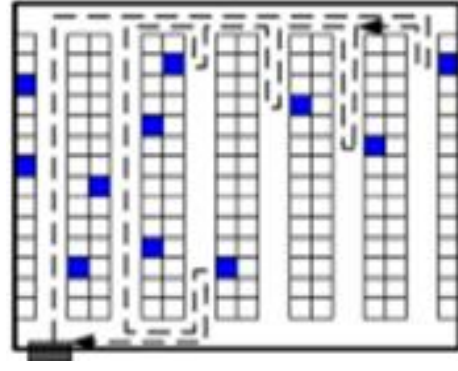
Şekil 6 Geri Dönüşlü



Şekil 7 Orta Nokta



Şekil 8 Birleşik

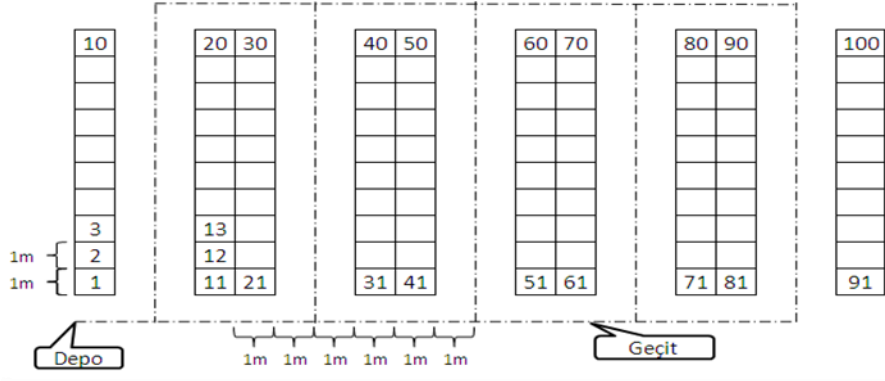


Şekil 9 Optimal

1.2 Geçit Düzenlemesi Esasına Göre Depo Yerleşim Modelleri

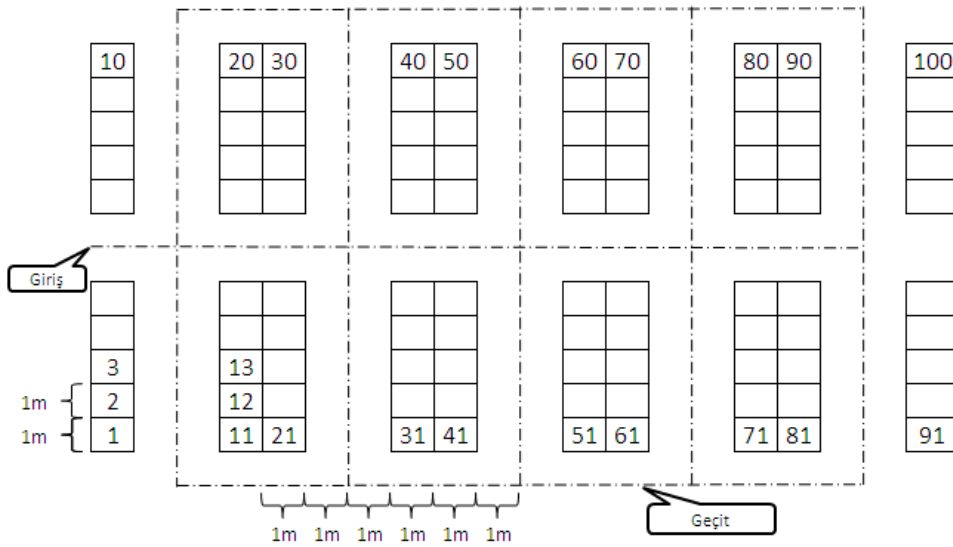
Depo operasyonlarının etkin yönetimi siparişlerin toplanması problemine bağlı olduğu kadar, depo yerleşim düzenlemesine de bağlıdır. Burada depo yerleşim düzenlemesi ile kabul etme, depolama, yükleme gibi bölümlerin konumunun belirlendiği depo yerleşimi düzenlemesi olmayıp geçit düzenlemesine yönelik depo yerleşimi ifade edilmektedir.

Standart bir depo, paralel geçitler, ön ve arka taraflarda konumlandırılmış çapraz geçitler ve faaliyetlerin gerçekleştirildiği merkezi bir giriş-çıkış noktasına sahiptir. Günümüze kadar yaygın olarak kullanılan bu depo yerleşim düzeni tek blokludur, klasik depo yerleşim düzeni olarak adlandırılır. Sipariş hazırlama problemine yönelik literatürde geliştirilen çalışmaların hemen hemen tamamı klasik depo yerleşim düzeni esas alınarak geliştirilmiştir. Şekil 10'da 2 boyutlu klasik depo sistemi gösterilmiştir.



Şekil 10 Klasik depo yerleşim düzeni (Tek bloklu)

Değişen müşteri ihtiyaçları daha büyük depoları ve dolayısıyla da depo yerleşim düzenlerini değiştirmiştir. Günümüzde kullanılan modern depo sistemleri incelendiğinde artık tek bloklu klasik depo yerleşimlerinden ziyade, çapraz geçitlerin bulunduğu çok bloklu depo sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda; depo sistemlerinde çoklu blokların diğer bir deyişle çoklu çapraz geçitlerin bulunması, sipariş toplama etkinliğini artırdığı tespit edilmiştir. Özellikle büyük depolarda tek bloklu depo yerleşimi yerine çok bloklu (çoklu çapraz geçit) Şekil 11'de çoklu çapraz geçide sahip iki boyutlu bir depo yerleşim düzeni gösterilmektedir. Vaughan ve Petersen (1999) çapraz geçit ilavesinin sipariş toplama mesafesine etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışma neticesinde ideal çapraz geçit sayısının 3 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 11 Çapraz geçitli depo yerleşimi

1.3 Literatür Araştırması

Depo operasyonlarının yönetimi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, tüm çalışmalar sipariş toplama, depo yerleşim düzenlemesi, ürünlerin depo konumlarına atanması, depoyu bölgelere ayırma, siparişleri gruplama, toplayıcı rotalama ve sipariş biriktirme/ayırma başlıkları altında sınıflandırılabilir. Projede ile önerilen yöntem sipariş hazırlama problemine yönelik çözüm sunduğu için, sipariş hazırlama kapsamındaki sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerine yönelik çalışmalar bu bölümde incelenmiştir.

1.3.1 Sipariş Gruplama ile İlgili Çalışmalar

Sipariş gruplama problemi; siparişlerin birleştirilmesi ile toplam taşıma mesafesini en az yapmayı amaçlayan sipariş toplama politikasını içermektedir. Sipariş gruplama problemi NP-zor bir problem olduğu için bu problemin çözümüne yönelik literatürde birçok sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

Sipariş gruplama problemi için literatürde geliştirilen ilk sezgisel yöntemler Çekirdek ve Kazanç algoritmaları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çekirdek algoritmalarında, öncelikle grup için bir çekirdek sipariş seçilir, daha sonra da araç kapasitesi dikkate alınarak diğer siparişler bu gruba atanır. Bu algoritmaların gruplama performansı sipariş yakınlığı kurallarına bağlı olup, literatürdeki yakınlık kuralları [Tablo 2](#)'de gösterilmiştir. Ayrıca son olarak; Ho ve Tseng,2006 yaptıkları çalışmada çekirdek sipariş belirleme için 9 adet ve siparişlerin gruba atanması ile ilgili 10 adet kriterleri tanımlamış ve bunları karşılaştırmıştır.

Tablo 2 Gruplama için sipariş yakınlığı ölçümleri

Sıra	Yakınlık ölçütü	Çalışmalar
1	İki sipariş arasındaki ortak konum sayısı	Elsayed (1981)
2	İki siparişin toplam konum sayısı	Elsayed ve Stern (1983)
3	Bir siparişin her konumu ve diğer siparişin en yakın konumu arasındaki toplam mesafe	Elsayed ve Stern (1983)
4	Boşluk doldurma eğrileri esaslı tanımlanmış iki siparişin sipariş-teta değerlerinin farkı	Gibson ve Sharp (1992)
5	İki sipariş birleştirildiğinde uğranılacak ek geçitlerin sayısı	Rosenwein (1996)
6	İki sipariş birleştirildiğinde elde edilecek seyahat kazancı	Elsayed ve Ünal (1989)
7	Ağırlık merkezi ölçüsü	Rosenwein (1996)

Kazanç algoritmaları Clarke ve Wright (1964)'ın araç rotalama problemi için geliştirdikleri algoritmaya dayanır. Bu algoritma her siparişi ayrı bir gruba atayarak başlar, daha sonra seyahat mesafesi ile ilgili kazançları dikkate alarak siparişleri birleştirir. Sipariş

grupları oluşturulurken toplama aracı kapasitesi dikkate alınır. [Tablo3](#)'de çekirdek ve kazanç algoritmalarını kullanan çalışmalar ve sipariş yakınlık kuralları gösterilmektedir.

Tablo 3 Türe göre sipariş gruplama sezgiselleri

Çekirdek Algoritma		Kazanç Algoritması	
Çalışmalar	Yakınlık Ölçütü	Çalışmalar	Yakınlık Ölçütü
Elsayed (1981)	(1)	Rosenwein (1996)	(5), (7)
Elsayed ve Stern (1983)	(1),(2),(3)	Elsayed ve Ünal (1989)	(6)
Elsayed ve Ünal (1989)	(6)	De Koster ve diğ. (1999)	(6)
Gibson ve Sharp (1992)	(3), (4)		
Pan ve Liu (1995)	(1), (3), (4), (6)		
De Koster ve diğ.(1999)	(3), (5), (6), (7)		

De Koster ve diğerleri (1999b) yukarıda bahsedilen çok geçitli toplayıcının parçalara (picker-to-parts) hareket ettiği sistemler için çekirdek ve kazanç algoritmaları üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır. Algoritmaların performansları iki farklı rotalama sezgiseli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; kazanç algoritmalarının en büyük boşluk rotalama yöntemi ile çekirdek algoritmalarının ise zig-zag rotalama yöntemi ile daha iyi performans gösterdikleri tespit edilmiştir.

Literatürde zaman pencereli gruplama yöntemini kullanan çalışmalar da mevcuttur. Bu yöntemde, aynı zaman aralığında gerçekleşen sipariş gelişleri bir zaman penceresi olarak adlandırılır ve tüm siparişler zaman pencereleri esas alınarak gruplandırılır. Tang ve Chew (1997), Chew ve Tang (1999) ve Le-Duc ve De Koster (2003, 2007) çalışmalarında toplayıcının parçalara (picker-to-parts) hareket ettiği toplama sistemleri için değişken zaman pencereli sipariş gruplama yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmalarda problem grup esaslı servis sistemi olarak modellenmiş ve sipariş gelişleri stokastik olarak belirlenmiştir. Grup büyüklüğünü sabitlemek için bir olasılık modeli ve gelen siparişlerin toplanmadan önce kuyruğa alınması ve gruplanması için de ayrı bir kuyruk modeli geliştirilmiştir. Önerilen yöntemler simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların yüksek seviyede tutarlılık gösterdiği saptanmıştır.

Yakınlık Esaslı Gruplama yöntemi, bir siparişin bir gruba atanması sırasında siparişin depodaki konumunun diğer siparişlerin depodaki konumlarına olan yakınlığını esas almaktadır. Bu yöntemde en önemli konu siparişler arasındaki yakınlığın nasıl ölçüleceği konusudur. Chen ve Wu (2005) siparişlerin yakınlığını, siparişler arasındaki benzerlik esaslı

ilişki düzeyini hesaplayarak ölçmüştür. Diğer bir deyişle benzer parçaları fazla olan siparişler yüksek ilişkili olarak değerlendirilmiş ve bunlardan grup oluşturulmuştur. Grupların toplam benzerlik ilişkilerini maksimize edebilmek için, tam sayılı programlama tabanlı bir kümeleme modeli geliştirilmiştir. Bu yöntemde siparişlerin veri tabanında müşterilerle ilişkilendirilmesini kolaylaştırması için veri madenciliğinden yararlanılmıştır. Yine Gademann ve Van de Valde (2005) sipariş toplama probleminin çözümü için toplam seyahat süresini minimize eden bir yöntem önermiştir. Her grup için sipariş sayısı ikiden fazla olduğunda, problemin NP-Zor olduğunu gösterilmiştir. Yeterli büyüklükteki örneklerin optimum çözümü için bir algoritma tanımlanmıştır. Daha büyük problemlerin çözümüne yönelik tekrarlı iniş yakınlık algoritması geliştirilmiştir. Burada da depo konumlarını esas alan yakınlık ölçütüne göre siparişler gruplanmaktadır.

Sipariş gruplama NP-zor bir problem ve modellenmesi karmaşık olduğu için matematiksel programlama esaslı yöntemlerinin uygulanması çok pratik olmamıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcut olup, bu çalışmalar sadece küçük sipariş kümeleri için geliştirilmiştir. Vinod (1969) sipariş gruplama amacı ile bir tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Bu model ile 14 siparişin 7 gruba dönüştürüldüğü bir örnek gösterilmiştir. Yine Kusiak et al. 1986 tarafından geliştirilen kuadratik tamsayılı programlama yöntemi ile 8 siparişin gruplaması gösterilmiştir. Son olarak, (Bozer ve Kile, 2008) tarafından sipariş gruplama problemine yönelik alt ve üst sınırları tanımlamak için karma-tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model ile farklı problemler için alt ve üst sınırlar tanımlanmış ve literatürde bulunan iki sezgisel ile karşılaştırılmıştır.

Daha önce belirtilen tüm çalışmalarda sipariş teslim zamanı ve teslim zamanındaki gecikme dikkate alınmamıştır. Elsayed ve diğerleri (1993) ve Elsayed ve Lee (1996) çalışmalarında; tek geçitli depo sistemleri için sipariş gruplama problemini çözmek için sipariş gecikmesini ve gecikmeye bağlı cezayı en az yapmayı amaçlayan yöntemler önermişlerdir. Önerdikleri yöntemlerde önce sipariş grupları kurulmakta, daha sonra ise grupların serbest kalma zamanları belirlenmektedir. Won ve Olafsson (2005) çalışmasında sipariş gruplama ve toplama rotasının belirlenmesine yönelik iki sezgisel yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen ilk sezgisel sipariş gruplama problemini çözmek için sipariş yanıt süresini en az yapmaya çalışmaktadır. Önerilen diğer sezgisel ise yine aynı kriteri esas alarak sipariş gruplarının toplanmasını sağlamaktadır. Nieuwenhuysen ve De Koster, (2009)

yaptıkları çalışmada; değişken zaman pencereli ve sabit zaman pencereli gruplama yöntemini kullanarak beklenen sistem çıkış zamanını tahmin eden analitik bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada; beklenen müşteri sipariş çıkış zamanını en az yapmak için optimum sayıdaki müşteri sayısı yada optimum zaman penceresi gibi optimum gruplama politikaları üretilmektedir.

Son yıllarda sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik olarak meta-sezgisel yöntemler de geliştirilmiştir. İlk olarak Hsu ve diğerleri (2005), genetik algoritma ve S-Shape rotalama sezgiselinin birleşiminden oluşan GABM isimli bir algoritma geliştirmiştir. Bu yöntemde ilk olarak sipariş grupları Genetik Algoritma ile oluşturulmakta ve daha sonra da S-Shape sezgiseli kullanarak sipariş toplayıcının rotası belirlenmektedir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar Gipson ve Sharp (1992)'nin geliştirdiği GSBM yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Yine Tsai ve diğerleri (2008), sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik GA esaslı bir yöntem önermiştir. Sipariş grupları ve bu gruplara ait depo içi rotaların belirlenmesi için birbiri ile ilişkili iki farklı GA geliştirilmiştir. GA ile elde edilen sipariş gruplarına ait rotalar yine diğer bir GA ile bulunmaya çalışılmaktadır. İç içe kullanılan GA uygulaması nedeniyle zaman performansı düşük çözümler elde edilmiştir. Bunu ortadan kaldırmak için büyük boyutlu problem kümelerinde dahi popülasyon büyüklüğü 20 kromozom olarak belirlenmiştir. Zaman performansındaki düşüşü azaltmak isterken uygunluk değeri düşük çözümler elde edilmiştir.

1.3.2 Rotalama ile İlgili Çalışmalar

Toplayıcı rotalama problemi; depo içerisindeki toplam dolaşım mesafesini en az yapmak için sipariş gruplama ile oluşturulan toplama listesindeki parçaların toplama sırasının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Sipariş gruplama problemi Kümelenendirilmiş Gezgin satıcı (Chisman 1975) ya da Kapasite Kısıtlı Araç rotalama (Laporte,1992) problemlerinin özel bir halidir. Klasik depo sistemleri (tek bloklu yerleşim düzeni) için toplayıcının rotalanması problemi klasik gezgin satıcı probleminden farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, depo sistemlerindeki sipariş toplama problemi Steiner Gezgin Satıcı problemi olarak sınıflandırılmaktadır (De Koster ve diğ.,2007). Steiner Gezgin Satıcı probleminin çözülmesi için literatürde ilk defa Ratliff ve Rosenthal (1983) tarafından bir algoritma geliştirilmiştir. Ratliff ve Rosenthal(1983) tarafından geliştirilen algoritma Cornuejols (1985) tarafından klasik depo düzenlemesi için, yine aynı algoritma Roodbergen ve De Koster (2001) tarafından farklı depo düzenlemeleri için uyarlanmıştır. Son çalışmada sipariş toplama turlarının toplam

mesafesini en az yapmak için dinamik programlama yöntemi geliştirilmiştir. Farklı depo sistemlerinin performansı sipariş toplamaya etki eden parametreler değiştirilerek incelenmiştir.

Sipariş toplayıcının rotalaması ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; özellikle klasik depo sistemleri (tek bloklu paralel geçitli) için yaygın olarak zig-zag, geri dönüş, en fazla boşluk, orta nokta, birleşik ve optimum rotalama yöntemleri kullanılmaktadır. Sipariş toplama bölümünde detaylı olarak açıklanan bu yöntemlerin birbiri ile karşılaştırılması amacıyla Hall(1993), Petersen (1997) ve Theys ve diğerleri (2010) tarafından çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hall (1993), yaptığı çalışmada en büyük boşluk sezgiselini orta nokta sezgiseli ile karşılaştırmış ve en az orta nokta kadar iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Petersen (1997), yaptığı çalışmada zig-zag, geri dönüş, en büyük boşluk, orta nokta, birleşik ve rastgele sezgisellerini karşılaştırmıştır.

Makris ve Giakoumakis (2003) yine klasik depo sistemlerinde toplayıcı rotalama için k-opt (Lin ve Kernighan, 1973) yöntemini kullanılarak bir rota geliştirme yöntemi sunmuştur. Bu çalışmada önerilen yöntem literatürde yaygın olarak kullanılan zig-zag yöntemi ile karşılaştırmış ve deney örneklerin çoğunda önerdikleri yöntemin daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Theys ve diğerleri (2010) klasik depo sistemleri için yaptıkları çalışmada LKH (Lin-Kernighan-Helsgaun) (Helsgaun, 2000) sezgiselini zig-zag, en büyük boşluk, birleşik ve koridordan koridora gibi yapısal sezgiseller ile karşılaştırmıştır. Klasik Gezgin satıcı problemi için geliştirilen LKH sezgiselinin Stenier Gezgin satıcı problemi için geliştirilen yapısal sezgisellerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Ho ve Tseng, (2006) çekirdek sipariş seçim kuralları ve sipariş atama kurallarını analiz ettikleri çalışmada toplayıcı rotalama için En büyük boşluk sezgiseli ve En büyük boşluk sezgiseli ile Benzetimli tavlama sezgiseli birleşimi olan yeni bir rotalama sezgiselini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda yeni önerilen sezgiselin daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Hsu ve diğerleri (2005), klasik depo sistemlerinde gruplama için Genetik algoritma ve toplayıcı rotalama için S-Shape rotalama sezgiselini kullandıkları bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar Gipson ve Sharp (1992)'nin geliştirdiği GSBM yöntemi ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Yine Tsai ve diğerleri (2008) tarafından hem sipariş gruplama hem de toplayıcı rotalama problemleri için iç içe Genetik algoritma yöntemi geliştirilmiştir. Rotalama için

önerilen GA Permutasyon sıralama kod yapısına sahip olup, iç içe yapısından dolayı performansı düşük bir algoritma olmuştur.

Yukarıda belirtilen rotalama yöntemleri klasik depo (tek bloklu) sistemleri için geliştirilmiştir. Günümüzde çapraz geçitli (çok bloklu) depo sistemleri yaygın olarak kullanılmaya başladığı için bu depo sistemlerine yönelik sipariş rotalama algoritmaları da geliştirilmeye başlanmıştır. Roodbergen (2001) tarafından zig-zag ve en büyük boşluk sezgiselleri ilk defa çapraz geçitli depo sistemleri için uyarlanmıştır. Yine çapraz geçitli depo sistemlerinde toplayıcı rotalama problemini çözmek için Roodbergen (2001) tarafından uyarlanan birleşik sezgiseli ve Vaughan ve Petersen (1999) tarafından önerilen geçitten geçide sezgiseli dinamik programlama algoritması ile birlikte kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler en az mesafeli turların birleşimi ile oluşturulan turları içermektedir.

Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin çözümü için geliştirilen çalışmalar incelendiğinde, mevcut çalışmaların çoğunun klasik depo yerleşimine (tek bloklu) yönelik olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile hem klasik depo (tek bloklu) hem de çapraz geçitli depo (çok bloklu) sistemleri için sipariş gruplama ve sipariş toplama problemlerini birlikte çözen yeni yöntemler geliştirilmiştir. Sipariş gruplama problemini etkin ve hızlı çözmek için literatürde ilk defa parametrik sezgisellerle (Genetik Algoritma ve Tabu Arama) rota benzerlik esaslı Çekirdek algoritmanın birlikte kullanıldığı yeni yöntemler sunulmaktadır. Yine toplayıcı rotalama probleminin çözümü için Steiner gezgin satıcı problemi için geliştirilen sezgisellerin alternatifi olarak klasik gezgin satıcı problemi için geliştirilen yapısal sezgiseller (En Yakın Komşu, Kazanç) ile geliştirme sezgiselleri (2-opt ve or-opt) birleştirilerek oluşturulan yeni yöntemler önerilmektedir. Bu çalışma ile belirtilen şu araştırma sorularının cevapları aranmaktadır: İlk olarak; Çekirdek algoritma ile başlangıç çözüme başlayan yeni parametrik yöntemlerle literatürdeki rastsal başlangıç çözüm üreten parametrik sezgiseller karşılaştırılıp sonuçlar yorumlanmaktadır. Daha sonra rotalama problemi için önerilen yeni yöntemlerin parametrik sezgisellerle birlikte kullanıldığında elde edilen performans sonuçları karşılaştırılmaktadır. Rotalama sezgisellerinin karşılatılması sırasında literatürde yaygın olarak kullanılan ve parametrik sezgisellerle birleştirilmiş zig-zag sezgiseli sonuçları da analiz edilmektedir.

2. PROBLEMİN TANIMLANMASI

Depo operasyonları yönetimi için literatürde bir çok problem ve bunlara ait karar çalışmaları olmakla birlikte, önerilen proje ile sipariş toplama (hazırlama) probleminin çözümü için yeni yöntemler önerilmektedir (Bakınız Tablo1, Bölüm 1.1). Sipariş toplama problemi önceki bölümlerde detaylı olarak sunulan sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerini kapsamaktadır.

Farklı siparişlerin bir araya getirilerek tek bir turda toplanması Sipariş gruplama politikası olarak tanımlanmaktadır. Sipariş gruplama, bir çeşit toplama politikası olup özellikle çeşidi fazla, miktarı az olan siparişlerin çok olduğu durumlarda toplama zamanını azaltan önemli bir avantaj sağlamaktadır. Toplayıcı rotalama problemi ise; depo içerisindeki toplam dolaşım mesafesini en az yapmak için sipariş gruplama ile oluşturulan toplama listesindeki parçaların toplama sırasının belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır.

2.1 Problemin Matematiksel Modeli

Bu bölümün amacı, yukarıda bahsedilen bütünleşik sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin matematiksel modelinin oluşturulmasıdır. Won ve Olafsson (2005)'a göre, kapasiteyi aşmayacak şekilde siparişlerin gruplara atanması problemi kutu paketleme (bin packing) problemi ile eşdeğerken, gruplarda yer alan parçaların toplama sırasının belirlenmesi Gezgin Satıcı Problemi (TSP) ile eşdeğerdir. Bu nedenle, kutu paketleme ve gezgin satıcı problemleri ile benzerlik dikkate alınarak, belirtilen probleme yönelik karma-tam sayılı matematiksel model aşağıda gösterildiği gibi formüle edilmiştir.

İndisler ve kümeler:

$b \in B$ Sipariş grupları

$k \in K$ Siparişler

$i, j \in V$ Lokasyonlar

$s \subset V$ Lokasyonların alt kümeleri

Parametreler:

C Toplama aracının kapasitesi

w_k Sipariş k için ağırlık

d_{ij} Lokasyon i ve j arasındaki mesafe

s_{ik} =1, eğer k siparişindeki bir parça lokasyon i den alınırsa (=0, Eğer değilse)

Karar Değişkenleri:

X_k^b =1, eğer Sipariş k Sipariş Grubu b 'ye atanırsa (=0, eğer atanmazsa)

Y_{ij}^b =1, eğer lokasyon i sipariş grubu b 'de lokasyon j 'den sonra direk ziyaret edilirse (=0, eğer edilmezse)

Z_i^b =1, eğer lokasyon i sipariş grubu b 'de ziyaret edilirse (=0, eğer edilmezse)

Model formülasyonu:

$$\min Z = \sum_{b \in B} \sum_{i \neq j \in V} d_{ij} \cdot Y_{ij}^b \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j \in V, j \neq i} Y_{ij}^b = Z_i^b \quad \forall b \in B, i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} Y_{ij}^b = Z_j^b \quad \forall b \in B, j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in V \setminus S} Y_{ij}^b \geq Z_i^b \quad \forall b \in B, S \subset V \quad (4)$$

$$Z_i^b \geq s_{ik} \cdot X_k^b \quad \forall b \in B, i \in V, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{b \in B} X_k^b = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} w_k \cdot X_k^b \leq C \quad \forall b \in B \quad (7)$$

$$X_k^b, Y_{ij}^b, Z_i^b \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, b \in B, k \in K \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu (1) siparişlerin toplanması için depo içerisinde alınan toplam dolaşım mesafesinin en az olmasını ifade etmektedir. (2) ve (3) numaralı kısıtlar bir turdaki lokasyonun ziyaret edilmesini sağlamak için lokasyona yönelik sadece bir geliş ve bir çıkış olduğunu göstermektedir. (4) numaralı kısıt ise TSP için alt tur eleme kısıtı olup, sipariş grubundaki lokasyonları birleştiren tek bir turun olduğunu garanti etmektedir. (5) numaralı kısıt ile bir gruba atanan sipariş ve parçalara bağlı olarak tur boyunca ziyaret edilecek lokasyonların, gruba atanan siparişler ve siparişlerdeki parçalarla tutarlılığını garanti etmektedir. Her siparişin sadece bir gruba atanması (6) numaralı kısıt ile sağlanmaktadır. (7)

numaralı kısıt toplama aracının kapasite kısıdını ifade etmektedir. Nihai olarak (8) numaralı kısıt ile tüm karar değişkenlerinin 0 ya da 1 tamsayı değeri alacağı garanti edilmektedir.

2.2 Çözüm Yöntemi

Daha önce tanımlanan problemin çözümüne yönelik geliştirilen yöntemler bu bölümde sunulmaktadır. İlk olarak sipariş gruplama problemi için önerilen parametrik sezgiseller (Genetik Algoritma ve Tabu Arama) ile yeni çekirdek algoritmanın birlikte kullanıldığı yöntemler sunulmaktadır. Daha sonra toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik önerilen yapısal sezgiseller (En yakın komşu ve Kazanç sezgiselleri) ile geliştirme sezgisellerinden (or-opt ve 2-opt) oluşan yöntemler gösterilmektedir. Hem sipariş gruplama hem de toplayıcı rotalama problemlerinin birlikte kullanımı için toplayıcı rotalama sezgiselleri sipariş gruplama için geliştirilen yöntemlere entegre edilmektedir.

Yöntemlerle ilgili detaylı açıklama aşağıda sunulmuştur:

2.3 Rota Benzerlik Esaslı Çekirdek Algoritma

Sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik birçok çekirdek algoritması geliştirilmiştir. Çekirdek algoritmaları gruplama algoritmaları olup çekirdek siparişin belirlenmesi ve siparişlerin çekirdeklere atanması ile ilgili birçok kural bu yöntemlerin temelini oluşturur. Bu algoritmalar arasında siparişlerin benzerliğini esas alan gruplama yöntemleri mevcut olup, iki sipariş arasındaki ortak parça yapısı benzerliği göstermektedir (Bakınız Hwang,2005). Ancak çalışmalarda parça benzerliği tek başına yeterli bir ölçüt değildir. Çünkü depodaki konumları itibari ile birbirine yakın parçaları içeren iki sipariş aynı parçalara sahip olmasa da toplama sırasında aynı rotayı kullanabilmektedir.

Bu nedenle rota benzerliğini ve pişmanlık kriterini esas alan yeni bir yöntem bu proje ile önerilmektedir. Çekirdek sipariş çiftlerinin oluşturulması rota benzerlik kriterine göre sağlanırken diğer siparişlerin çekirdek siparişlere atanması pişmanlık kriterine göre yapılmaktadır. Bu yöntem ürettiği sonuç Genetik Algoritma ve Tabu Arama yöntemleri için başlangıç popülasyonu ve çözümü oluşturmaktadır. Böylece daha iyi başlangıç çözümlerle başlayan parametrik sezgisellerin daha hızlı ve etkin çözümler sağlaması beklenmektedir. Önerilen kümeleme metodunun adımları şu şekildedir;

Adım 1: Her bir sipariş (O_k) için En Yakın Komşu Algoritmasını kullanarak alt siparişlerin rotasını (R_k) belirle.

Adım 2: Her bir sipariş (O_k) için rota mesafesini (D_k) hesapla.

Adım 3: Her bir sipariş (O_k) için yoğunluk indeksi (DI_k)'yi belirle.

$NS_k=k$ siparişi içindeki alt siparişlerin sayısı

$$DI_k = \left[\frac{D_k}{NS_k} \right] \quad (9)$$

Adım 4: Artan değere göre yoğunluk indeksi değerlerini (DI_k) sırala.

Adım 5: İlk olarak yoğunluk indeks değeri küçük olanlardan başlamak üzere aday çekirdek siparişleri (S_k) belirle. Diğer siparişleri tek tek her bir aday çekirdeğe ata ve aşağıdaki eşitliğe göre rota benzerlik faktörünü hesapla.

$$S_{km} = \left[\frac{D_k}{D_{yeni}} \right] \quad (10)$$

S_{km} : S_k çekirdek siparişine m siparişi eklendiğinde oluşan yeni benzerlik faktörü.

D_k : Çekirdek sipariş (S_k) içerisindeki alt siparişlerin rota mesafesi,

D_{yeni} : m siparişi k çekirdek siparişine atandıktan sonra oluşan yeni rota mesafesi,

Adım 6: S_{km} değerlerini azalan sıraya göre sırala ve Benzerlik değerleri yüksek olanlardan araç kapasitesini aşmayan O_k - O_m çiftleri oluştur.

Adım 7: O_k - O_m çiftleri için yoğunluk indeksini tekrar hesapla. Küçük yoğunluk indeksine sahip siparişlerin daha yüksek seçim şansı bulacağı şekilde seçim olasılığı değerlerini (p_k) belirle.

Adım 8: O_k - O_m çiftlerini grup sayısı kadar rastgele seç.

Adım 9: Bütün siparişleri, araç kapasitesi ve pişmanlık değerlerine göre en yakın çekirdek çiftlerine (küme merkezlerine) ata. Atanacak bir sipariş için pişmanlık değeri, 8. adımda tanımlanan küme merkezlerinden sipariş için kendisine en benzer olan küme merkezi ile ikinci en benzer küme merkezi arasındaki farkı ifade etmektedir. Bu pişmanlık değeri en yüksek olan sipariş ilk küme merkezine atanır.

Çekirdek algoritma olarak geliştirilen bu yöntem Genetik Algoritma için başlangıç popülasyonun oluşturulmasında kullanılırken, Tabu Arama yönteminde başlangıç çözümün üretilmesinde kullanılmaktadır.

2.4 Genetik Algoritma

2.4.1 Çözümün Kodlanması

Kodlama GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması çok önemlidir. Sipariş gruplama ve araç rotalama problemlerini birlikte çözmek için, grup numarası esasına dayanan bir kromozom yapısı oluşturulmuştur. Her genin pozisyonu bir siparişe karşılık gelirken, genin içerisinde yer alan numara, grup numarasını ifade etmektedir. Burada grup numarası, ilgili gruba karşılık gelen siparişleri bir araya getirmek için kullanılmıştır. Bu çalışma ile önerilen grup numarası bazlı kromozom gösterimi Şekil 12'de gösterilmektedir. Bu örnekte kromozom 3 grup ve 10 sipariştten oluşmaktadır. {2, 4, 7, 9} numaralı siparişler 1 numaralı gruba, {3, 6, 8} numaralı siparişler 2 numaralı gruba ve {1, 5, 10} numaralı siparişler 3 numaralı gruba atanmıştır.

Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grup No	3	1	2	1	3	2	1	2	1	3

Şekil 12 Grup numarası gösterimine dayalı kromozom yapısı

2.4.2 İlk Nüfusun Oluşturulması

Genetik algoritma kullanılarak yapılan çalışmalarda, başlangıç topluluğu olarak bilinen ve rastsal olarak belirlenmiş büyük bir kromozom kümesi ile çözüme başlanır (Gen ve Cheng, 1997). Başlangıç çözümü, genetik algoritmanın çözüme ulaşmasında çok önemli bir etkidir. Bu nedenle probleme uygun bir "başlangıç nüfusu oluşturma yöntemi" seçilmelidir. Çok iyi uygunluk değerine sahip bir kromozomun başlangıç çözümünde üretilmesi rastsallıktan dolayı oldukça zordur. Bu yüzden, başlangıç nüfusunun ¼'lük kısmı Rota Benzerlik esaslı çekirdek algoritma ile oluşturulurken geri kalan kısmı rastgele olarak oluşturulmuştur.

2.4.3 Uygunluk Fonksiyonu

Her nesil için topluluktaki tüm kromozomlar uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilirler. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomlar yeni çocukları oluşturmak için eşleştirme havuzuna seçilirler. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomların eşleştirilmesi GA'nın çözüme daha kısa zamanda ulaşmasını sağlamaktadır. Geliştirilen GA'da uygunluk

fonksiyonu oluşturulan gruplara ait rotaların toplam mesafesi olarak belirlenmiştir. Tüm kromozomlar içerisinde rotaların toplam mesafesini en az yapan kromozom en iyi çözüm olarak değerlendirilir. Her bir sipariş grubuna ait rota kısa sürede çözüm veren Kazanç ve En Yakın Komşu sezgiselleri ile belirlenmiştir. Ayrıca gruba atanan siparişlerin hazırlık süreleri toplamı aracın hazırlanması için önceden tanımlanmış süreden fazla ise ceza uygulaması yapılmaktadır. Buna göre geliştirilen çözüm yöntemi için uygunluk fonksiyonu Denklem 11'de gösterilmektedir.

$$F_{br} = \sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij}^b Y_{ij}^b + M \quad (11)$$

$$Y_{ij}^b = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } b \text{ grubunda } i \text{ konumu } j \text{ konumundan hemen sonra ziyaret edilirse,} \\ 0, & \text{Aksi takdirde,} \end{cases}$$

d_{ij}^b : b grubunda j ve i lokasyonları arasındaki mesafe

M : Ceza (Penalty) Değeri

F_{br} : Popülasyondaki birey (br) için uygunluk değeri

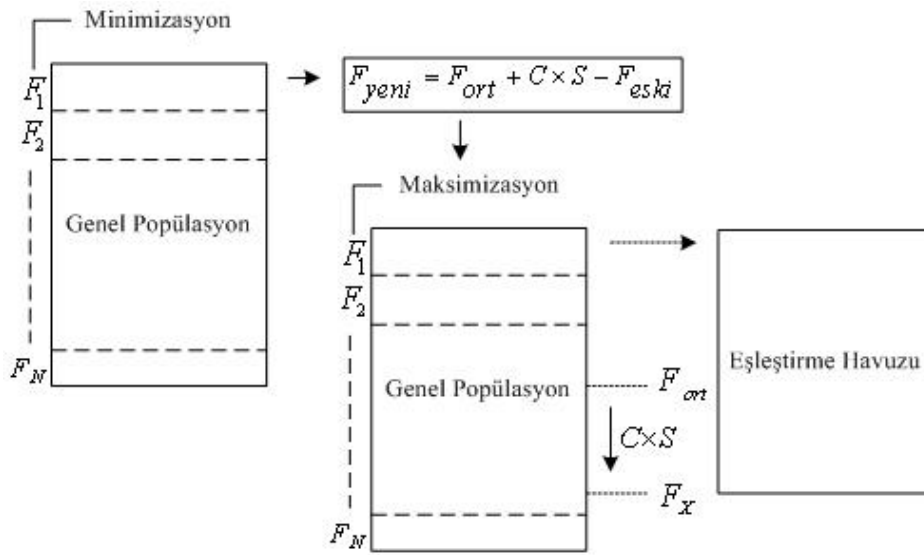
2.4.4 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması

Eşleştirme süreci ile seçilmiş aile kromozomlarından bir ya da daha fazla çocuk üretilmesi amaçlanmaktadır. Her nesil için eşleştirme havuzu oluşturulmadan belirtilen süreç gerçekleştirilemez. Topluluk içinden eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi de GA'nın iyi performans vermesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, eşleştirme havuzuna seçilecek kromozomların belirlenmesi için σ -truncation olarak adlandırılan uygunluk derecelendirme tekniği (fitness scaling technique) kullanılmıştır (Goldberg 1989). σ , nüfus içerisinde yer alan kromozomlara ait mesafelerin standart sapmasını ifade etmektedir ve yeniden derecelendirilmiş uygunluk fonksiyonu Denklem 12'de gösterilmiştir.

$$Uygunluk_{yeni} = (Uygunluk_{ort} + C \times S \text{ standart}) - Uygunluk_{eski} \quad (12)$$

$$F_{yeni} = (\bar{F} + C \cdot \sigma) - F_{eski}$$

Şekil 13'te kromozomların eşleştirme havuzuna alınmadan önce gerçekleştirilen yeniden derecelendirme işlemi gösterilmektedir. Uygunluk değerleri yeniden derecelendirilen genel nüfusta, hangi bireylerin eşleştirme havuzuna alınacağı noktasında nüfus ortalamasının ne kadar altına inileceği c katsayısı ile belirlenir. Bu formülasyon sayesinde, belirlenen sınırın altında kalan çözümlerin yeni uygunluk değerleri sıfırın altında olacağı için bu çözümler, çözüm kümesi dışında bırakılmaktadır. Sadece eşleştirme havuzuna alınan bireylere çaprazlama uygulanır. Buradaki amaç, iyi çözümlerin birbirleri ile eşleştirilmesini sağlamaktır.



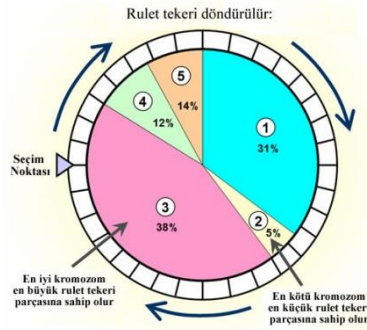
Şekil 13 Kromozomların eşleştirme havuzuna alınması

2.4.5 Çaprazlanacak Bireylerin Seçimi

Yine çaprazlama operatörü uygulaması için eşleştirme havuzundan aile kromozom çiftlerinin belirlenmesi gerekir. Bu noktada kullanılan yöntemler, rulet tekeri, sıra esaslı ağırlıklandırma ve turnuva metotlarıdır.

2.4.5.1 Rulet tekeri

Rulet seçiminde kromozomlar uyumluluk fonksiyonuna göre bir rulet etrafına gruplanır. Uygunluk fonksiyonu herhangi bir ölçüte uyan bireylerin seçilmesi için kullanılır. Bu rulet üzerinden rastgele bir birey seçilir. Daha büyük alana sahip bireyin seçilme şansı daha fazla olacaktır.



Şekil 14 Rulet tekeri seçimi

Tablo 4'te 11 adet kromozomun uygunluk fonksiyonları ve seçim olasılıklarını göstermektedir. 1 numaralı kromozom en yüksek uygunluk değerine sahip olduğu için rulet tekeri üzerinde en büyük alanı kaplayacaktır. 11 numaralı kromozomun seçim şansı bulunmamaktadır.

Tablo 4 Seçim olasılığı ve uygunluk değeri

Kromozom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Uygunluk	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
Seçim	0.18	0.16	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.02	0.0

2.4.5.2 Sıralama seçimi

Rulet tekeri basit bir yöntem olmasına karşın, eğer bireylerin uygunluk değerleri arasındaki fark çok fazla ise kötü çözümlere çok az bir seçim şansı tanımaktadır. Sıra esaslı seçim yönteminde ise en kötü çözüme 1 numaralı sıra verilerek en iyi çözüme kadar her bir çözüme 1 arttırarak N_{iyi} 'ye kadar sıra numarası verilmektedir. Burada N_{iyi} eşleştirme havuzuna eşleştirilmek üzere seçilen kromozom sayısını ifade etmektedir. s ise bir kromozomun sıra numarasına karşılık gelmektedir. Tüm bu durumlar dikkate alındığında bir kromozomun seçim ihtimali (p_s) Denklem 13'deki eşitlik ile hesaplanır.

$$p_s = \frac{N_{iyi} - s + 1}{\sum_{s=1}^{N_{iyi}} s} \quad (13)$$

2.4.5.3 Turnuva seçimi

Topluluktaki bireyler arasından rastgele belirli miktarda bireyler seçilerek aralarındaki uygunluk fonksiyonu yüksek olan birey tutulur geriye kalanlar atılır. Yeni topluluk bireyleri belli sayıdaki bireyler arasında yapılan yarışma sonucu oluşturulur. Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işlem devam eder. Bu yöntemin avantajı herhangi bir kromozomun süreç sırasında kaybedilme olasılığı rulet tekeri seçim tekniğine göre daha azdır.

2.4.6 Çaprazlama

Önerilen Genetik algoritma esaslı sipariş gruplama yaklaşımında, üniform ve geliştirilmiş enjeksiyon çaprazlama yöntemleri kullanılmıştır.

2.4.6.1 Üniform çaprazlama

Üniform çaprazlama yönteminde, her bir gen için 0 veya 1 sayısından oluşan bir sayı üretilir. Üretilen rakam 1 ise, oluşturulacak gen için özellik birinci kromozomdan aksi takdirde ikinci kromozomdan alınacaktır. Üniform çaprazlama operatörünün ufak çaplı bir gösterimi Şekil 15’te gösterilmektedir.

	Rastgele Sayı	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Ebeveyn 1	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	3	1	2	2	3	3	1	2	1	3
Ebeveyn 2	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	1	2	1	3	2	1	3	1	2	2
Oğul	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	1	1	2	3	2	3	3	2	1	2

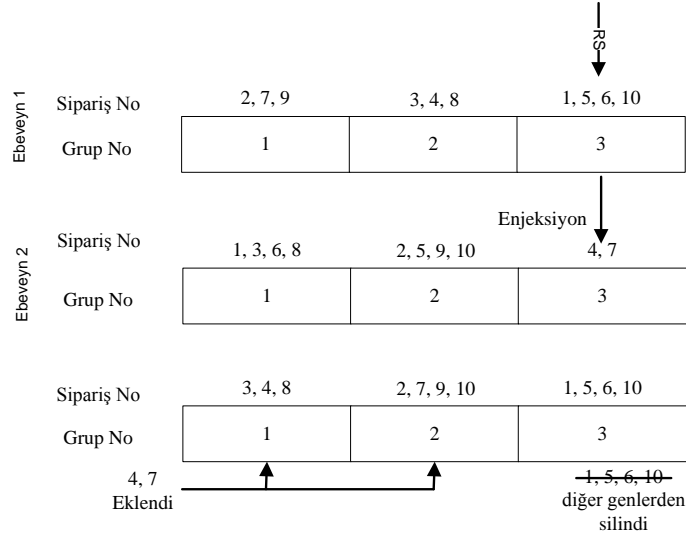
Şekil 15 Üniform çaprazlama

2.4.6.2 Enjeksiyon çaprazlama

Çalışmada kullanılan diğer bir çaprazlama yöntemi ise enjeksiyon çaprazlamadır. Bu yöntemde ilk olarak, Şekil 16’da gösterildiği üzere genin sipariş-numarası – grup numarası esaslı yapısı değişikliğe uğratılır. Daha sonra 1 numaralı ebeveynin rasgele seçilen geni diğer ebeveynin aynı numaralı geni içerisine Şekil 17’de gösterildiği gibi kopyalanır.

Ebeveyn 1	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	3	1	2	2	3	3	1	2	1	3
Dönüşüm	Sipariş No	2, 7, 9			3, 4, 8			1, 5, 6, 10			
	Grup No	1			2			3			
Ebeveyn 2	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	1	2	1	3	2	1	3	1	2	2
Dönüşüm	Sipariş No	1, 3, 6, 8			2, 5, 9, 10			4, 7			
	Grup No	1			2			3			

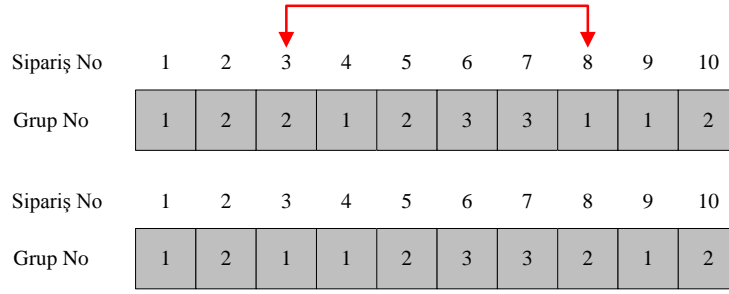
Şekil 16 Gen yapısının değiştirilmesi



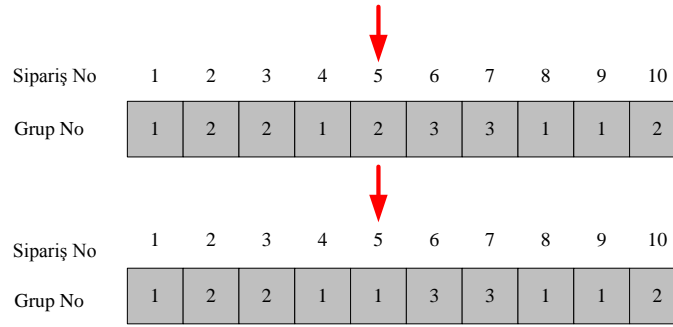
Şekil 17 Enjeksiyon çaprazlama

2.4.7 Mutasyon

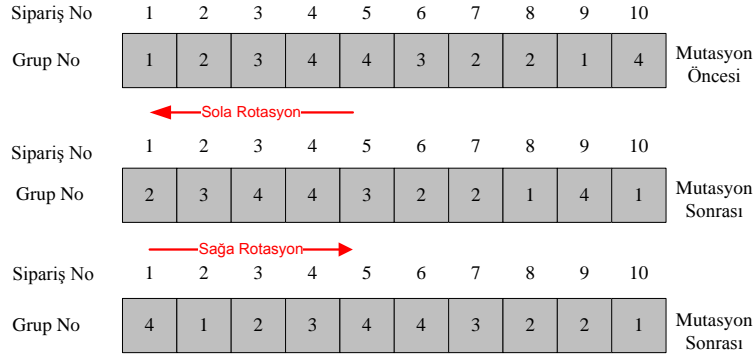
Seçim aşamasında veya çaprazlamadan sonra kullanılabilen mutasyon operatörü bu çalışmada çaprazlama işleminden sonra uygulanmıştır. Mutasyon ile bireyler rastsal olarak değiştirilirler. Bu değişimler (mutasyon adımları) genellikle küçüktür. Bireylerin değişkenlerine küçük bir olasılıkla (mutasyon olasılığı) uygulanırlar. Mutasyon operatörü olarak, ikili yer değiştirme (swap), yer değiştirme (replacement), sağa rotasyon (right rotation) ve sola rotasyon (left rotation) yöntemleri çalışmada kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan mutasyon yöntemlerinin probleme uygulanışı sırasıyla [Şekil 18](#), [Şekil 19](#), [Şekil 20](#) ve [Şekil 21](#)'de gösterilmiştir.



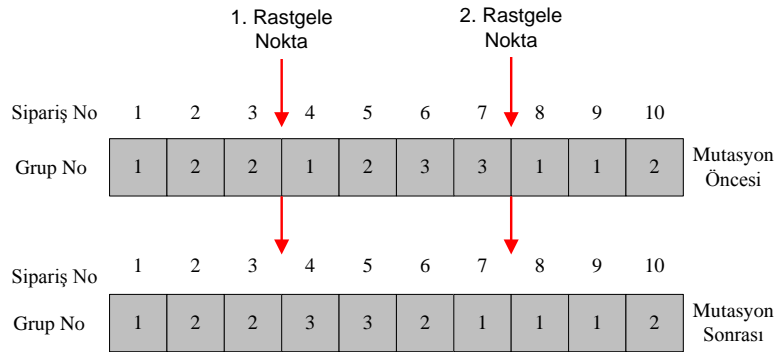
Şekil 18 İkili yer değiştirme yöntemi



Şekil 19 Yerine koyma yöntemi



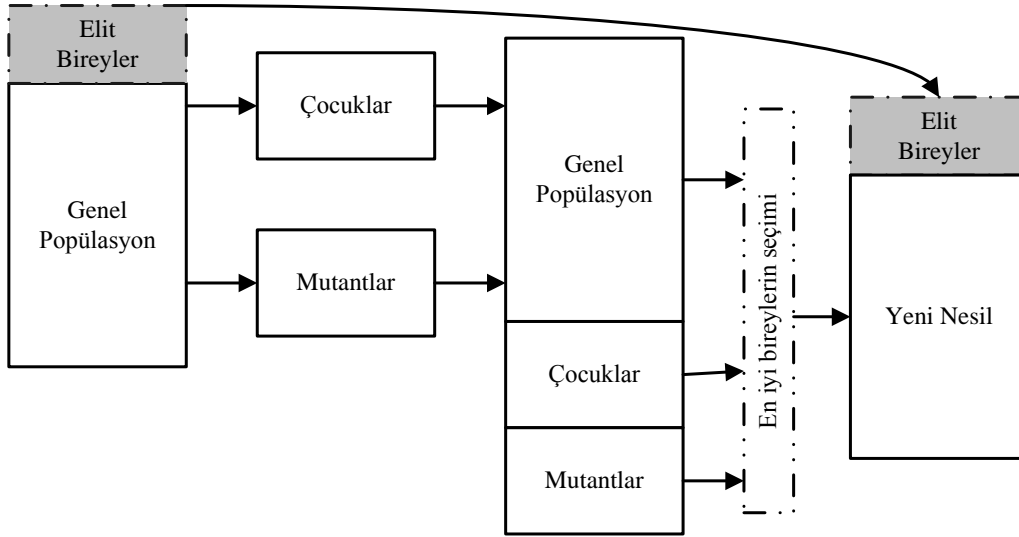
Şekil 20 Sağa ve sola rotasyon yöntemleri



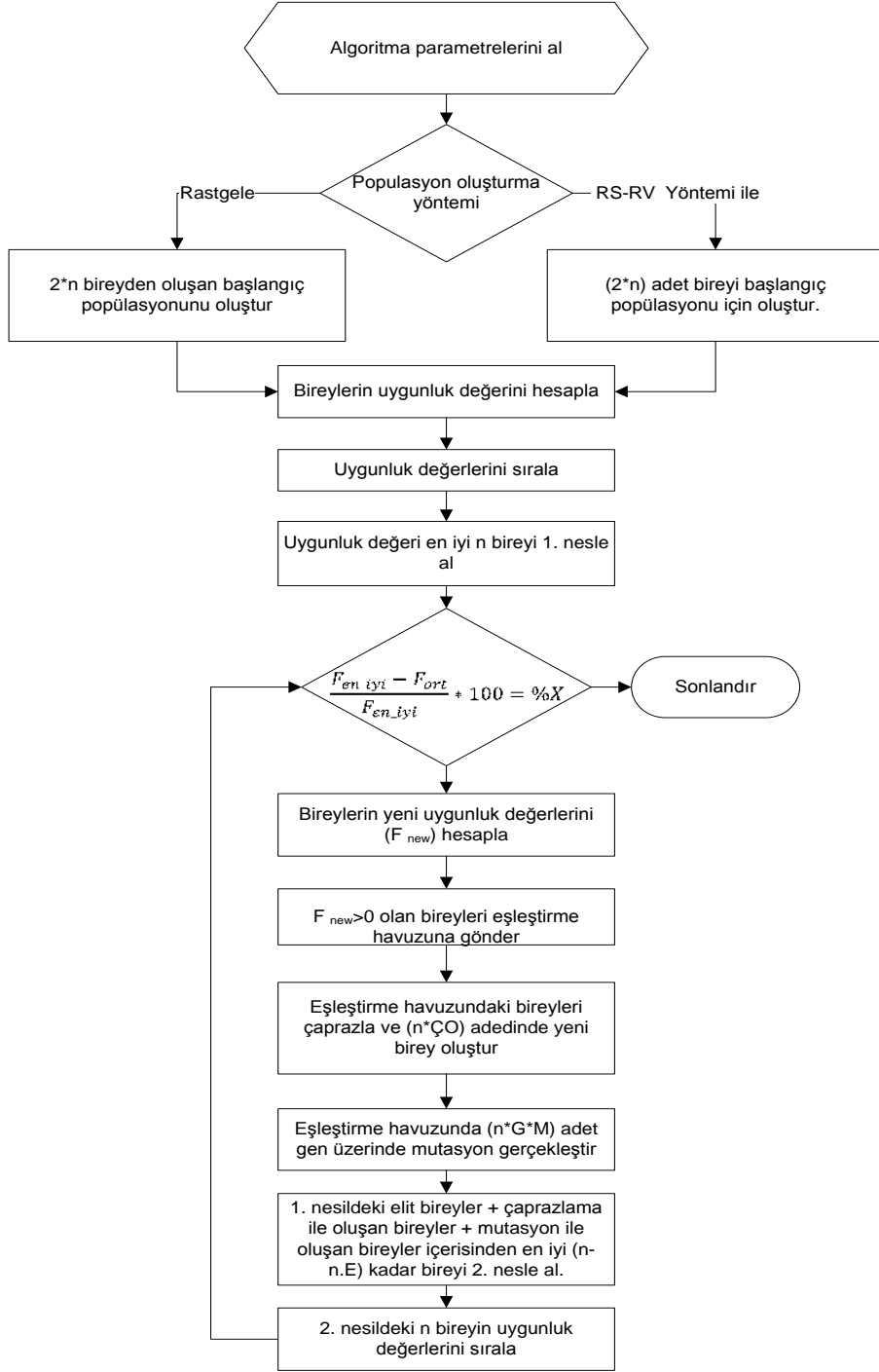
Şekil 21 Tersine çevirme yöntemi

2.4.8 Elitizm

Çalışma kapsamında, yeni nüfusun oluşturulmasında Elitizm işlemi de uygulanmıştır. Elitizm, en iyi bir ya da daha fazla iyi çözümü yeni nesile kopyalama işlemi ifade eder. İyi çözümlerin kaybedilmesini önleyerek GA'nın hızlı çözüm vermesini sağlayan önemli bir yöntemdir. Elitler haricinde kalan nüfus çaprazlama ve mutasyon ile elde edilen oğul bireylerden uygunluk değerlerine göre seçilirler. En iyi kromozomların seçimi her nesilde bu şekilde devam eder. Yeni neslin seçimi [Şekil 22](#)'de gösterilmiştir.



Şekil 22 Yeni nesil seçimi



Şekil 23 Geliştirilen GA'nın Akışı

2.4.9 Tamir fonksiyonu

Yeni oluşturulan kromozomlar, bazı durumlarda dağıtım aracı kapasite ve/veya hazırlık süresi kısıdını karşılayamaz. Özellikle çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullandıktan sonra bu şekilde çeşitli kısıtları karşılayamayan kromozomlar ortaya çıkmaktadır. Her

kromozomun oluşturulmasından sonra bu kısıdı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Şekil 24’te belirtilen durumlar için tamir stratejisini gösteren bir örnek sunulmuştur. 2 ve 7 numaralı siparişlerin 1 ve 2 numaralı gruplara atanması durumunda araç kapasitesi aşılmakta ve çözüm uygunsuz olmaktadır. Bu şekildeki kromozomların uygunsuzluğunu ortadan kaldırmak için tamir stratejisi uygulanır.

Uygun Olmayan Kromozom	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	3	2	2	1	3	2	1	2	1	3
			Rasgele 2 veya 3				Rasgele 1 veya 3				
Tamir Edilmiş Kromozom	Sipariş No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Grup No	3	2	2	1	3	2	3	2	1	3

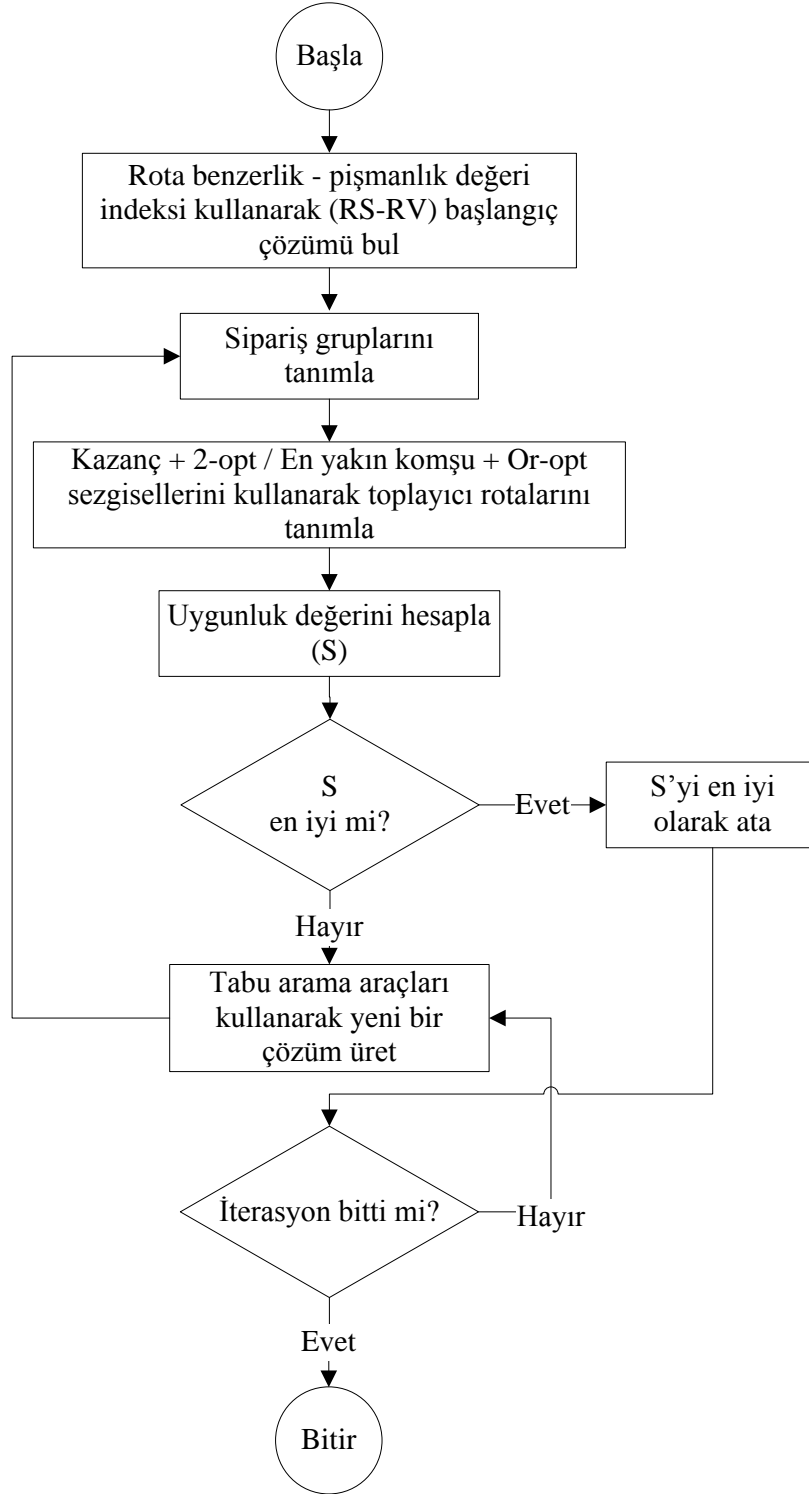
Şekil 24 Tamir stratejisi

2.4.10 Sonlandırma Koşulu

GA iterasyonlarını sonlandırmak için uygunluk fonksiyonu değeri ve üst zaman sınırı olmak üzere eş zamanlı iki sonlandırma koşulu kullanılmaktadır (Kulak, 2007, 2008). Eğer mevcut topluluktaki ortalama ve en iyi uygunluk fonksiyonu değerleri bir sonraki topluluktaki ilgili değerlere belirli bir iterasyon sayısı süresince eşit kalıyorsa GA arama süreci sonlandırılır. Ayrıca her bir deneyin gerçekleşme süresini kontrol altında tutmak için üst zaman sınırı da belirlenmektedir. Geliştirilen GA ile ilgili akış Şekil 23’te sunulmaktadır.

2.5 Tabu Arama Algoritması

Tabu Arama algoritması (Glover, 1989) çözüm uzayında yerel optimumu araştıran bir sezgisel yöntemdir. Bu özelliğinden dolayı literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Tabu Arama yönteminin belirtilen birleşik probleme uyarlanması mevcut değildir. Tabu arama yönteminin etkinliğini artırmak ve hızlı çözümler üretirmek için RS-RV çekirdek algoritması Tabu Arama algoritması ile entegre edilmektedir. RS-RV çekirdek algoritması Tabu arama algoritması için başlangıç çözüm üretmektedir. Yine Tabu arama yöntemi için başlangıç çözüm üreten diğer bir yöntem olan eşik değeri kabulü yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 25 TA Algoritmalarının Akışı

RS_RV sezgiseli ile bütünleştirilen Tabu Arama algoritması sipariş gruplama problemlerinin çözümüne yönelik etkin ve hızlı çözümler üretebilmektedir. Şekil 25’de akışı sunulan algoritmanın temel işlem basamakları aşağıda verilmektedir;

Adım 1: İterasyon sayacını 0 olarak ayarla ($k=0$) ve RS-RV algoritmasını kullanarak bir başlangıç çözümü ($S_{\text{başlangıç}}$). Bu çözümü mevcut ve en iyi çözüm olarak al. ($S_{\text{başlangıç}}=S_{\text{mevcut}}=S_{\text{en_ iyi}}$)

Adım 2: Mevcut çözümün komşuluğunda rastgele deneme çözümleri (S) oluştur ve S kümesinin elemanlarını dolaşım mesafesinin artan sırasına göre sırala (minimizasyon problemi). S 'yi sıralanan deneme çözümleri setinde j . eleman olarak belirle ($1 \leq j \leq n$). Burada S^1 seyahat mesafesi anlamında en iyi çözümü ifade etmektedir.

Adım 3: $j=1$ olarak ayarla. Eğer $S^j > S_{\text{en_ iyi}}$ ise Adım 4'e git.

Adım 4: S^j 'nin tabu durumunu kontrol et. Eğer tabu listesinde değilse tabu listesine ekle, $S_{\text{mevcut}}=S^j$ olarak ayarla ve Adım 7'ye git. Eğer tabu listesinde ise Adım 5'e git.

Adım 5: S^j 'nin aspirasyon kriterini kontrol et. Eğer karşılanıyorsa tabu kısıtlamasını kaldır, $S_{\text{mevcut}}=S^j$ olarak ayarla ve Adım 7'ye git. Eğer ölçüt sağlanmıyorsa $j=j+1$ olarak ayarla ve Adım 6'ya git.

Adım 6: Eğer $j>n$ ise Adım 7'ye git. Aksi takdirde Adım4'e dön.

Adım 7: Durdurma kriterini kontrol et. Eğer herhangi birisi sağlanıyorsa dur. Aksi takdirde iterasyon sayacını $k=k+1$ olarak düzenle ve Adım 2'ye geri dön.

2.5.1 Çözümün kodlanması

Problemin yapısına uygun olarak çözüm yapısının kodlanması en zor kısım olup segment esaslı çözüm yapısı tanımlanmıştır. Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin çözümü için grup esaslı bir çözüm yapısı kullanılmıştır. Her bir segmentin pozisyonu bir siparişi ifade ederken değeri ise grup numarasını ifade etmektedir. Grup numarası ilgili grupta yer alacak siparişlerin birleştirilmesi için kullanılır. 3 grup ve 10 sipariştten oluşan grup numarası esaslı çözüm yapısı Şekil 26'da gösterilmektedir. Bu örnekte, {2, 5, 6, 8}, {3, 4, 9}, ve {1, 7, 10} numaralı siparişler sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı grupta yer almaktadır.

Order Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Batch Number	3	1	2	2	1	1	3	1	2	3

Şekil 26 Çözüm Yapısı

2.5.2 Uygunluk Fonksiyonu

Önerilen TA algoritmasının uygunluk fonksiyonu oluşturulan gruplara ait dolaşım mesafelerinin toplamı şeklinde ifade edilmektedir. En iyi çözüm, bütün iterasyonlar içerisinde en kısa mesafeyi veren çözümdür. Son iterasyonda elde edilen uygunluk değeri problemin en iyi çözümüdür. Bu durumda, çözüm yöntemlerinin uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$F_i = \sum_{j=1}^k D_j$$

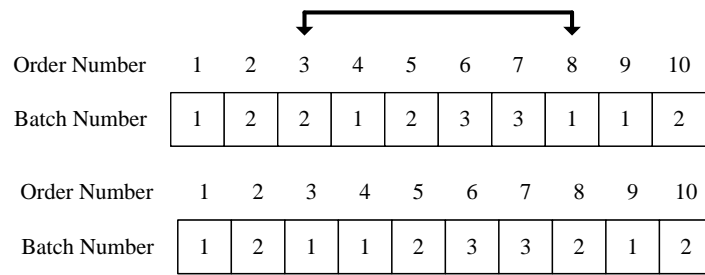
F_i : i çözümünün uygunluk fonksiyonu

D_j : Oluşturulan sipariş grupları için topla dolaşım mesafesi ($j=1,2,3,\dots,k$)

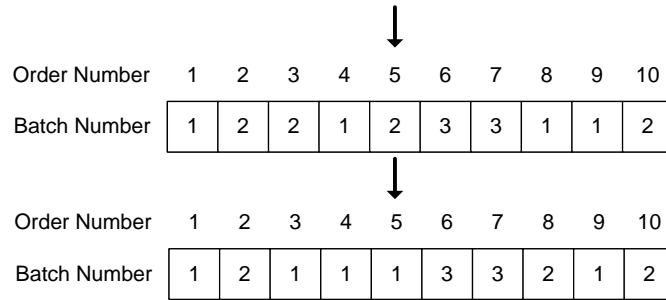
Daha önce de bahsedildiği gibi klasik depo yerleşiminde toplayıcı rotalama problemi bir Steiner TSP'dir. Steiner TSP'nin amacı her bir düğümü ($n \in N$) en az bir kere ziyaret etmek koşuluyla en kısa Steiner turunu bulmaktır. Steiner TSP'de x ve y gibi iki toplama noktası arasındaki minimum mesafe hesaplanarak belirlenir. Bu mesafe basitçe bir uçağın paralel, yatay ve diğer eksen koordinatları kullanılarak hesaplanan karesel rota mesafesi olarak ifade edilen Manhattan Mesafesi kullanılarak bulunur. $[(x)_1, y_1)$ ve $[(x)_2, y_2)$ koordinatları arasındaki Manhattan mesafesi $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ formülü ile hesaplanır. Fakat aynı bloğun farklı geçitlerinde yer alan iki nokta arasındaki mesafe Manhattan mesafesi ile hesaplanamaz. Bu iki nokta arasında olası iki yol vardır. Bu durumda her iki yol için de mesafe hesaplandıktan sonra kısa olanı seçilir. Eğer mesafeler bir kere hesaplanırsa klasik TSP sezgisellerinin girdisi olarak kullanılan simetrik mesafe matrisi oluşturulabilir. Bu matrisin hesaplanması toplama probleminin çözümü için herhangi bir sezgiselin kullanılmasına olanak sağlar. Önerilen yöntem ile, En Yakın Komşu - Or Opt ve Kazanç-2-Opt sezgiselleri parametrik sezgiseller ile birleştirilip sipariş toplama problemine yönelik hızlı ve etkili çözümler üretilmiştir.

2.5.3 Komşuluk yapısı ve hareketleri

Komşu çözüm, mevcut çözümdeki herhangi iki toplama noktasının yerini değiştirmek suretiyle elde edilen bir çözümü ifade etmektedir. Tabu arama algoritmasında komşu çözümler oluşturmak için yer değiştirme (replacement), ekleme (insertion), takas (swap) ve ters çevirme (inversion) metotları kullanılabilir. Bu hareketler, uygun bir çözüme ait komşu çözümlerinde her zaman uygun olacağını garanti eder. Bu çalışma kapsamında, Tabu Arama algoritmasında komşu çözümler oluşturmak için Şekil 27 ve Şekil 28’te gösterilen takas ve yer değiştirme yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 27 Takas operatörü



Şekil 28 Yer değiştirme operatörü

2.5.4 Tabu arama hafızası

Geliştirmiş olduğumuz algorithmada tabu arama hafızasının yapısı arama sürecini devam ettirmek için kritik bir rol oynar. Kısa dönem hafıza yerel optimuma takılmayı, uzun dönem hafıza ise çeşitlendirme stratejisini sağlamak için kullanılır. Burada kullanılan tabu kısıtları aramanın geçmiş adımlarının depolandığı yenilik ve sıklık hafızası üzerine kuruludur. Yenilik esaslı hafıza çözümlerin özelliklerinin yakın zamandaki değişimlerini kaydeder ve tekrarlamaları önler. Ziyaret edilen çözümün seçilen özelliğine ait tabu özelliği görev süresi boyunca aktif durumda kalır. Tabunun görev süresi dinamik ve statik olarak belirlenebilir. Bu çalışmada her iki yapıda kullanılmıştır.

2.5.5 Durdurma Kriteri

Bu kriter arama prosesinin hangi durumlarda sona ereceğini ifade eder. Bu çalışmada, arama prosesi aşağıdaki durumlardan birinin meydana gelmesi halinde son bulmaktadır.

- Hesaplama süresi sınırı
- İzin verilen maksimum iterasyon sayısı

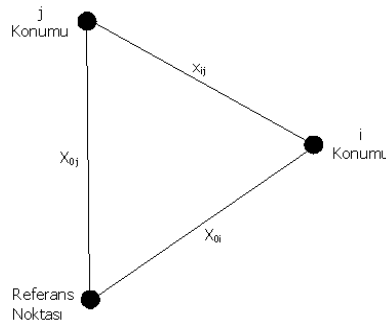
2.6 Rotalama Sezgiselleri

Sipariş gruplama ile oluşturulan toplama listesindeki parçaların toplama sırasının belirlenmesi için, klasik gezgin satıcı problemi için geliştirilen yapısal sezgiseller (Kazanç ve en yakın komşu) ile geliştirme sezgiselleri (Or-opt ve 2-opt) birlikte kullanılmaktadır.

Bu yöntemler sipariş gruplama yöntemlerinin belirlediği grupların toplayıcı rotasını bulmak için ilgili gruplama yöntemleri ile entegre edilmektedir. Böylelikle parametrik sezgisellerin daha hızlı çözüm üretmesi sağlanmaktadır.

2.6.1 Kazanç Sezgiseli

Bu çözüm yöntemi Clarke ve Wright (1964) tarafından klasik gezgin satıcı problemleri için geliştirilen yaygın bir yöntemdir. İki noktanın kendi aralarındaki uzaklıkları ve referans alınan bir noktaya olan ayrı ayrı uzaklıkları kullanılarak elde edilen kazanç değerlerine göre rota tespiti yapılmaktadır.



Şekil 29 Kazanç Sezgiseli ile kazanç hesaplaması

Kazanç algoritması, en fazla kazancın sağlanacağı rotanın tespiti için kullanılan, karşılaştırmalı bir yöntemdir. Alınan bir başlangıç noktasından itibaren (bu çalışmada depo

giriş noktası), bitişin tekrar başlangıç noktası olduğu en kazançlı çevrimin hesaplanması için kullanılır. Yöntemin konum esaslı gösterimi [Şekil 29](#)'da görülmektedir.

x_{0i} = referans noktası ile i konumu arasındaki mesafe,

x_{0j} = referans noktası ile j konumu arasındaki mesafe,

x_{ij} = i konumu ile j konumu arasındaki mesafe,

Bu verilere göre, i-j rotasındaki kazancımız şu şekilde bulunabilir;

$$S_{ij} = x_{0i} + x_{0j} - x_{ij} \quad \forall(i, j), i \neq j \quad (14)$$

Siparişler arası mesafenin hesaplanması için rectilinear rota ölçüsünün kullanımı yaygın bir ölçüdür. Manhattan mesafesi olarak da bilinen bu ölçüt esas alınarak hem tek bloklu depo sistemleri için hem de çapraz geçitli (çok bloklu) depo sistemleri için uyarlanmış ve siparişlerdeki parçalar arası from-to mesafe matrisi hazırlanmıştır. Formüller ve algoritma aracılığıyla iki nokta arasındaki en kısa olan mesafe matrisleri esas alındığı için Kazanç sezgiselinin uygulamasında herhangi bir sakınca yoktur. Siparişlerdeki parçalar arası mesafeler için hazırlanan denklemler aşağıda sunulmuştur:

L = Ortadaki geçidin alt ve üst taraftaki geçitlere uzaklığı (Çapraz geçitli sistemler için)

$$K = \frac{\text{İki paralel geçit arası mesafe}}{\text{Birbirini takip eden iki raf arası}}$$

Z_v = v. parçanın geçit içerisindeki yeri

t = Koridor Numarası

D_u = Geçidin Uzunluğu

Adım 1: Parçaların bulunduğu bölgeyi belirle.

Adım 2: Parçaların bulunduğu bölgeler için uygun olan formülasyonu kullan.

Eğer z_1 = başlangıç noktası ve $z_2 \geq L$ ise;

$$Mesafe = |z_1 - L| + |t_1 * K| + (K / 2) \quad (15)$$

Eğer Parçalar Farklı Bölgelerde ise;

$$Mesafe = |z_1 - z_2| + 1 + |t_1 - t_2| * K \quad (16)$$

Eğer Parçalar aynı koridorda ise;

$$Mesafe = |z_1 - z_2| \quad (17)$$

Eğer siparişler aynı bölge farklı koridorda ise;

$$Mesafe = (D_u + 1 - |z_1 + z_2 - 1 - D_u|) + (|t_1 - t_2| * K) \quad (18)$$

Adım 3: Bulduğun değeri from-to mesafe tablosuna kaydet.

Adım 4: Bütün parçalar arası mesafeler hesaplandıysa algoritmayı sonlandır.

Yapılan deneme çalışmalarında mesafe matrisindeki verilerin tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

2.6.2 En Yakın Komşu Sezgiseli

En Yakın Komşu Algoritmasında uygulanan genel prosedür aşağıda belirtilmektedir. Her bir adımda;

Adım 1: Başlangıç konumundan en kısa mesafeli parça konumunu belirle.

Adım 2: İlk parça konumundan diğer parça konumlarına olan mesafeyi belirle.

Adım 3: Mevcut mesafeler arasında en kısa olanı seç ve ikinci parça konumunu belirle.

Adım 4: Gruptaki Tüm parça konumları tamamlanana kadar Adım 2 ve 3 ü tekrar et.

Adım 5: Parça konumlarının belirlenme sırasına göre parça konumlarını birleştir ve rotayı göster.

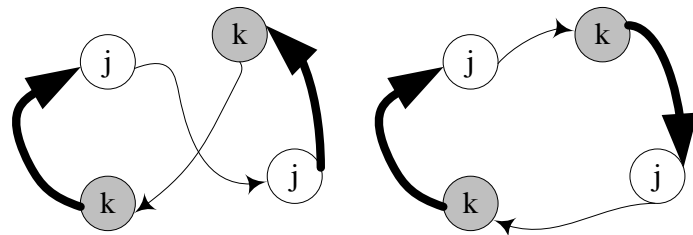
2.6.3 2-Opt Algoritması

Yapısal sezgisellerin oluşturduğu rotaları geliştirici algoritmalarından 2-opt algoritması (Croes, 1958) projede kullanılmakta olup, bu algoritmanın adımları aşağıda açıklanmıştır. Algoritmanın gösterimi Şekil 30'da yer almaktadır. 2-opt algoritmasında her bir parça çifti için aşağıdaki işlemler uygulanır.

Adım 1: Rastsal olarak turdaki parça çiftlerini belirle.

Adım 2: Tur bozulmayacak şekilde, parça çiftlerinin yerini değiştir.

Adım 3: Yeni oluşan tur önceki tura göre bir gelişme sağlamış ise parça çiftleri yeni yerlerinde kalır, gelişme sağlanmamış ise eski yerine iade edilir.



Şekil 30 2-opt algoritmasının gösterimi

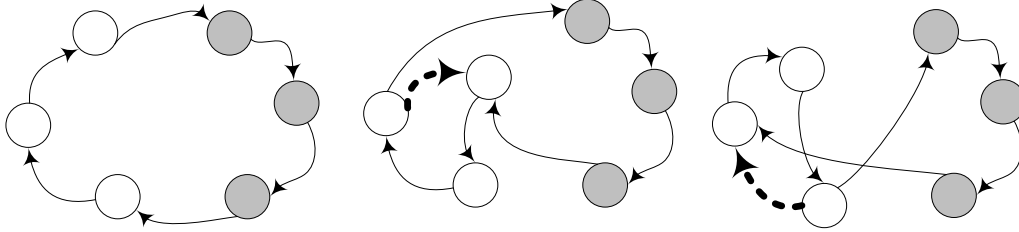
2.6.4 Or-Opt Algoritması

Projede önerilen diğer bir tur geliştirici algoritma Or-opt algoritmasıdır (Or, 1976). Bu algoritmanın adımları aşağıda açıklanmıştır. Şekil 31, algoritmanın uygulanması ile ilgili gösterimi sunmaktadır. Or-opt algoritmasında $h=3$ 'ten 1'e kadar aşağıdaki işlemler yürütülür.

Adım 1: Turda arka arkaya gelen h sayıda düğüm alınır.

Adım 2: Düğümler mevcut yerlerinden kaldırılıp, deneme yoluyla turun kalan kısmında en uygun yerlere yerleştirilir.

Adım 3: Yeni yerleşim sonucu turda bir gelişme sağlanır ise kaydırma işlemi kabul edilir. Aksi durumda düğümler orijinal yerlerine iade edilir. h - sayısı düşürülmeden önce mümkün bütün h sayıda arka arkaya gelen düğüm kümesi için aynı işlem yürütülür.



Şekil 31 Or-opt algoritmasının gösterimi

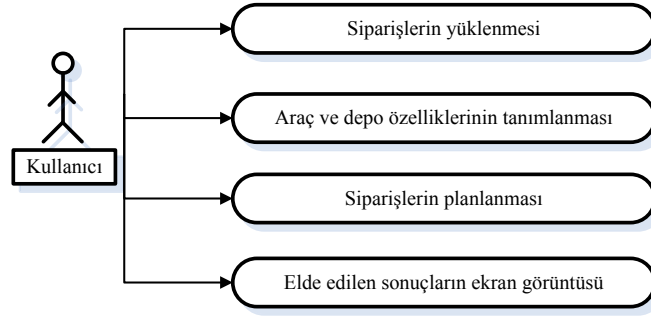
3. YÖNTEM YAZILIMLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Önceki bölümde önerilen yöntemleri kapsayan esnek bir yazılım geliştirilmiş ve kapsamı bu bölümde detaylı olarak sunulmuştur. Sipariş gruplaması için Tabu Arama, Genetik algortima ve bunlarla entegre edilen RS-RV çekirdek algoritması ve Eşik değeri kabulü ile ilgili yazılımlar geliştirilirken, toplayıcı rotalama problemi için ise S-shape, En yakın komşu, Kazanç, 2-opt ve Or-opt sezgiselleri geliştirilmiştir. Son iki sezgisel En yakın komşu ve kazanç sezgiselleri ile birlikte geliştirme sezgiseli olarak yazılıma dönüştürülmüştür.

İlk olarak yazılımın geliştirilmesi aşamaları açıklanmıştır. Bu bölüm kullanıcı ihtiyaçlarının tanımlandığı iş analizi, veri modellerinin tanımlandığı iş modellemesi ve kodların tamamlanması ile birlikte işlevsellik testleri bölümlerini kapsamaktadır. Daha sonraki aşamada ise yazılımdaki yöntemlerin deneylerde kullanımı ile ilgili tanıtım bilgileri verilmektedir.

3.1 İş Analizi

Müşterilerin işle ilgili sorunlarına uygun ihtiyaçların belirlenmesi oldukça önemli olduğu için İş Analizi yazılım çözümü geliştirmede en temel adımdır. İş analizi faaliyeti kapsamında; kullanıcıların gereksinim duydukları bölümler ele alınmış ve Şekil 32’de yer alan kısımların yazılımda bulunması gerektiği tespit edilmiştir. İş analizi, veri modelleme, tasarım ve geliştirme adımları projenin daha hızlı bitirilebilmesi için IBM firmasının Rational Software Architect for WebSphere 7.5 yazılımı ile hazırlanmıştır. Bu yazılım, sistem analizi ve tasarımı sürecinde nesneye yönelik analizin ve tasarımın gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu araç kullanılarak geliştirici için gerekli olacak sınıflar, sınıfların özellikleri ve yöntemler oluşturulmaktadır. Çalışma kapsamında önerilen çözüm yöntemleri ile ilgili olan iş analizi, iş modellemesi, işlevsellik testleri ve yazılım gerçekleştirim çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çerçevede tüm yöntemler için ortak olan ana kullanıcı özellikleri Şekil 32’de belirtilmiştir:



Şekil 32 Kullanıcının ihtiyaç duyduğu kısımlar

Kullanıcının ihtiyaçları bölümünde belirtilen siparişlerin yüklenmesi bölümü depodan toplanacak siparişleri ve bu siparişlere ait alt parçaları içeren sipariş listesidir. Bu liste belirli bir zaman periyodu için bir araya getirilen ve depodan toplanarak müşterilere gönderilmesi gereken siparişleri kapsar. Siparişler, her bir siparişe ait alt siparişler ve siparişler için ağırlık (gerekli olursa ihtiyaç duyulan hacim) olmak üzere bilgileri de içermektedir. Rastsal olarak oluşturulan sipariş listeleri EK 1-5 arasında sunulmaktadır.

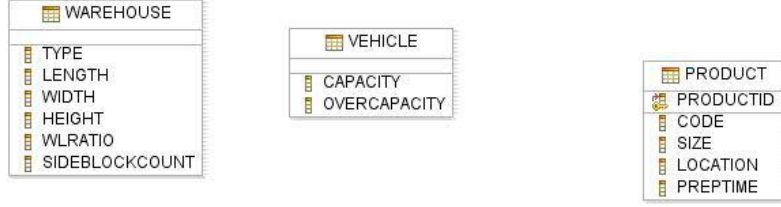
Kullanıcı ihtiyaçları olarak tanımlanan diğer bir bölümse araç ve depo özellikleri kısmında tanımlanmaktadır. Sipariş gruplama probleminde siparişlerin gruplanması toplayıcı aracın kapasitesine göre gerçekleştirildiği için sistemde kullanılan araç/araçlar ile ilgili kapasite, hız gibi özellikler bu bölümde tanımlanmaktadır. Yine belirtilen birleşik problemlerin çözüm performansında depo yerleşim düzeni ve ölçüleri oldukça belirleyici bir etkiye sahiptir. Klasik ve çapraz geçitli depo sistemleri olmak üzere depo yerleşim düzenlerinin belirlendiği, konumların ve ölçülerin tanımlandığı kısım da bu bölümde incelenmektedir.

Siparişlerin planlanması bölümü ise sipariş gruplarının ve toplayıcı rotalarının belirlenmesi için proje ile önerilen yöntemlerin, parametrelerin bulunduğu kısmı içermektedir. Kullanıcı depo operasyonlarını yönetebilmek için yöntemleri, yöntemlere ait en etkin parametreleri seçmek ve tanımlamak ister. Dolayısı ile proje kapsamında önerilen tüm yöntemler ve ilgili parametreler esnek olarak tanımlanabilmektedir.

3.2 İş Modellemesi

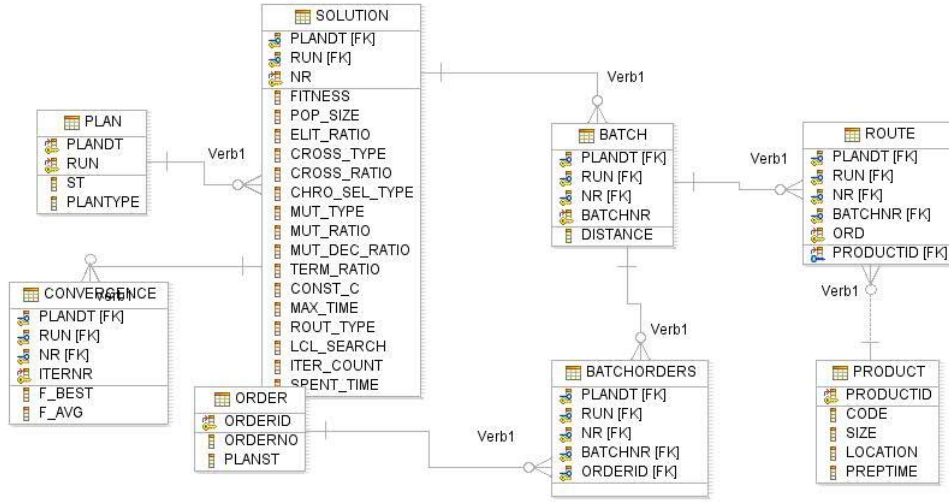
Kullanıcı için ihtiyaç duyulan son konu ise tüm siparişlerle ilgili çözüm sonuçlarının raporlandığı bölümdür. Bu bölümde siparişlerin grupları, her grup için sipariş toplama rotası, her bir grubun mesafesi ve nihai toplam mesafe sunulmaktadır. Ayrıca problemin ilk aşamasından çözüm aşamasına kadar tüm adımlar ve her bir adımdaki çözümler grafik ile sunulmaktadır. Böylece kullanıcı yöntemlerin etkinliğini daha kolay analiz edebilmektedir.

İş analizi çalışmasına bağlı olarak kullanıcı ihtiyaçlarını dikkate alan ve tüm yöntemleri kapsayan veri modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan veri modelleri Şekil 33, Şekil 34 ve Şekil 35’de gösterilmektedir.



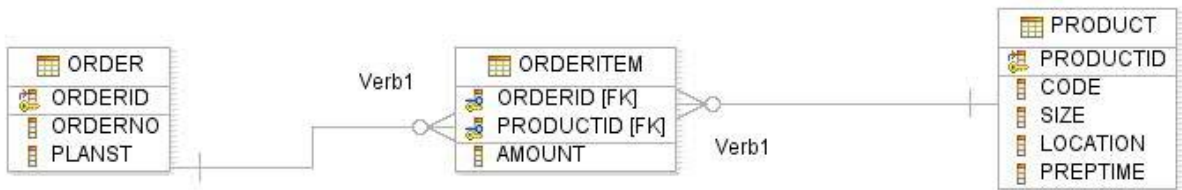
Şekil 33 Depo, araç ve ürünle ilgili veri modeli

Kullanıcı ihtiyaçları bölümünde detaylı olarak belirtilen ihtiyaçları doğrultusunda ilk olarak depo, araç ve ürün ile ilgili özellikleri kapsayan veri modeli tasarlanmıştır.



Şekil 34 Çözüm yöntemleri ile ilgili veri modeli

Proje kapsamında önerilen yöntemler, yöntemlere özgü özellikler, yöntemlerin çalışması sırasında etkin olan parametre gibi özelliklerin tanımlandığı kısım ile ilgili veri modeli oluşturulmuş ve kısaca Şekil 35’de gösterilmiştir.

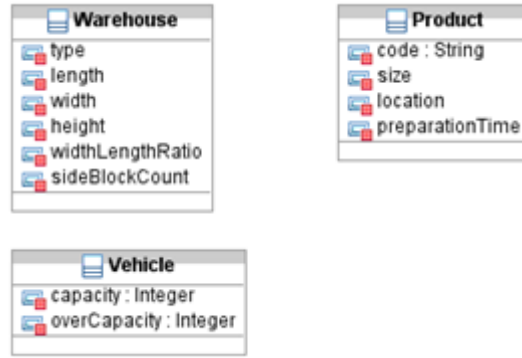


Şekil 35 Sipariş tanımlama ile veri modeli

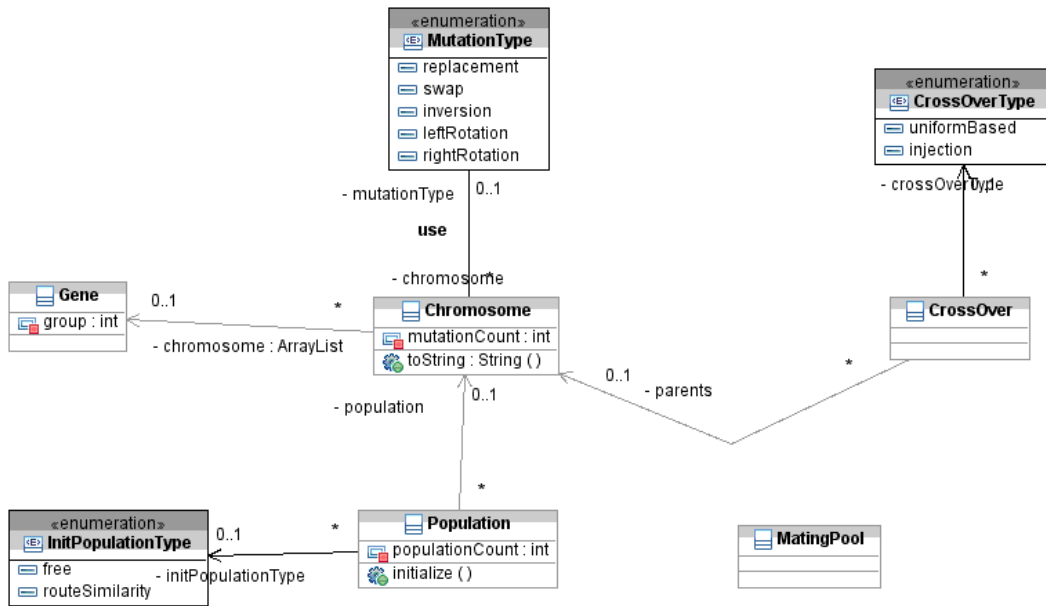
Depo özellikleri ve ürün özelliklerinin tanımlandığı veri modeli ile ilişkilendirilerek siparişler ve özelliklerine yönelik veri modeli de nihai olarak hazırlanmıştır. Şekil 30’da bu veri modeli özet olarak gösterilmektedir.

Veri modellerinin hazırlanması ve sınıflamanın yapılması aşamasında yöntemlerle ilgili akış diyagramları da hazırlanmıştır. Genel hatları ile Genetik ve Tabu Arama algoritmaları için hazırlanan akış diyagramları Şekil 23 ve Şekil 25’te gösterilmişti. Kodlama sırasında tekrarlanan hataları azaltmak açısından oldukça önemli bir tanımlamadır.

Veri modellemesi bölümünde hazırlanan her bir veri modeli için sınıflar oluşturulmuştur. Geliştiricinin yazılımı hazırlarken ihtiyaç duyacağı sınıflar yine IBM Rational Software Architect yazılımı yardımıyla hazırlanmıştır. Hazırlanan sınıflardan GA ile ilgili örnek Şekil 36 ve Şekil 37’de gösterilmektedir.



Şekil 36 Depo, ürün ve araç tanımlama ile ilgili sınıflar



Şekil 37 GA ile ilgili sınıflar

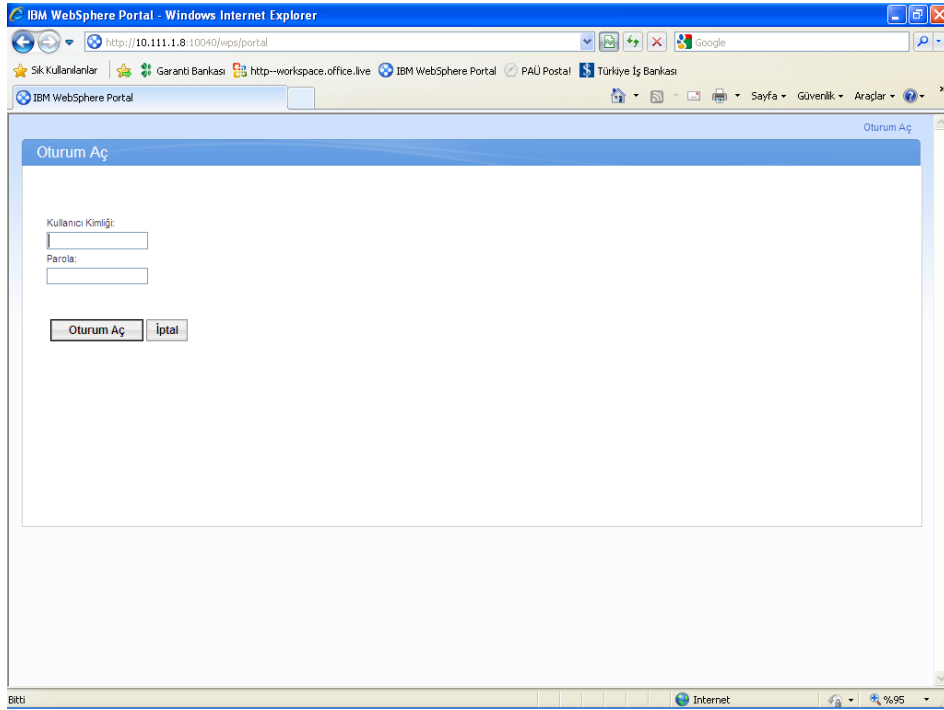
3.3 İşlevsellik Testleri, dokümantasyon, yazılımın hazırlanması ve gerçekleştirim

Yazılımın kalitesi, kabul edilebilir düzeyde hatasız çalışmasına, planlanan bütçe ile zamanında tamamlanmasına, gereksinimleri ve/veya beklentileri karşılayabilmesine ve sürdürülebilirlik özelliklerine bağlıdır. Veri modellerinin, sınıfların ardından yazılımın kodlaması Java 1.5 programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Yine birden fazla kullanıcının yazılıma ulaşabilmesi için yazılım web portalı üzerinde tasarlanmış ve IBM WebSphere 7.5 yazılımı kullanılmıştır.

3.4 Yazılım Kullanımı için Tanıtım

3.4.1 Kullanıcı Girişi

Pamukkale Üniversitesi bünyesinde yer alan bir bilgisayardan sunucu üzerindeki programı çalıştırmak için Internet Explorer veya Mozilla Firefox internet tarayıcıları ve tanımlı bir IP adresi kullanılarak oturum açılabilir. Karşımıza çıkan ekranda (Şekil 38) kullanıcı kimliği ve parolası bizden istenmektedir.



Şekil 38 Kullanıcı giriş ekranı

3.4.2 Yazılımın ana sayfası

Yazılımın ana sayfası 3 adet portletten oluşmaktadır. Bunlar; sipariş girişinin yapıldığı sipariş portleti, depo ve araç bilgilerinin girildiği depo ve araç portleti ve sipariş planlama ile ilgili düzenlemelerin yapıldığı sipariş planla portletidir. Kullanıcı bu portletleri sayfa üzerinde istediği bir yere taşıyabilmektedir. Ana sayfa üzerinde ayrıca; arama merkezi, tanıtımı düzenle, yardım ve oturumu kapat linkleri bulunmaktadır. Yazılımın ana sayfası Şekil 39'da gösterilmektedir.

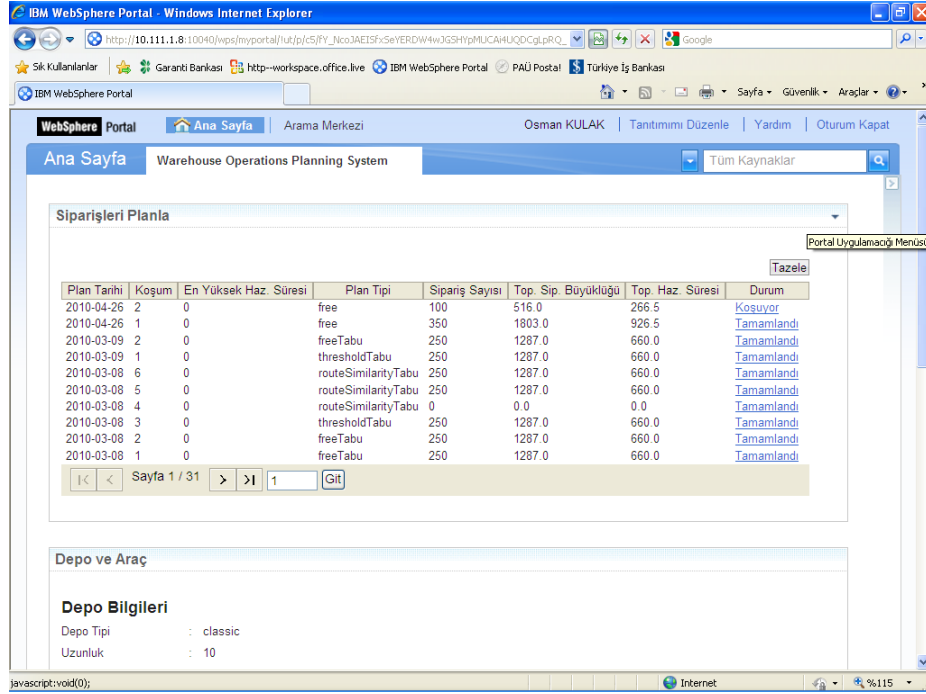
Plan Tarihi	Koşum	En Yüksek Haz. Süresi	Plan Tipi	Sipariş Sayısı	Top. Sip. Büyüklüğü	Top. Haz. Süresi	Durum
2010-04-26	2	0	free	100	516.0	266.5	Koşuyor
2010-04-26	1	0	free	350	1803.0	926.5	Tamamlandı
2010-03-09	2	0	freeTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı
2010-03-09	1	0	thresholdTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı
2010-03-08	6	0	routeSimilarityTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı
2010-03-08	5	0	routeSimilarityTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı
2010-03-08	4	0	routeSimilarityTabu	0	0.0	0.0	Tamamlandı
2010-03-08	3	0	thresholdTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı
2010-03-08	2	0	freeTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı
2010-03-08	1	0	freeTabu	250	1287.0	660.0	Tamamlandı

Şekil 39 Yazılımın ana sayfası

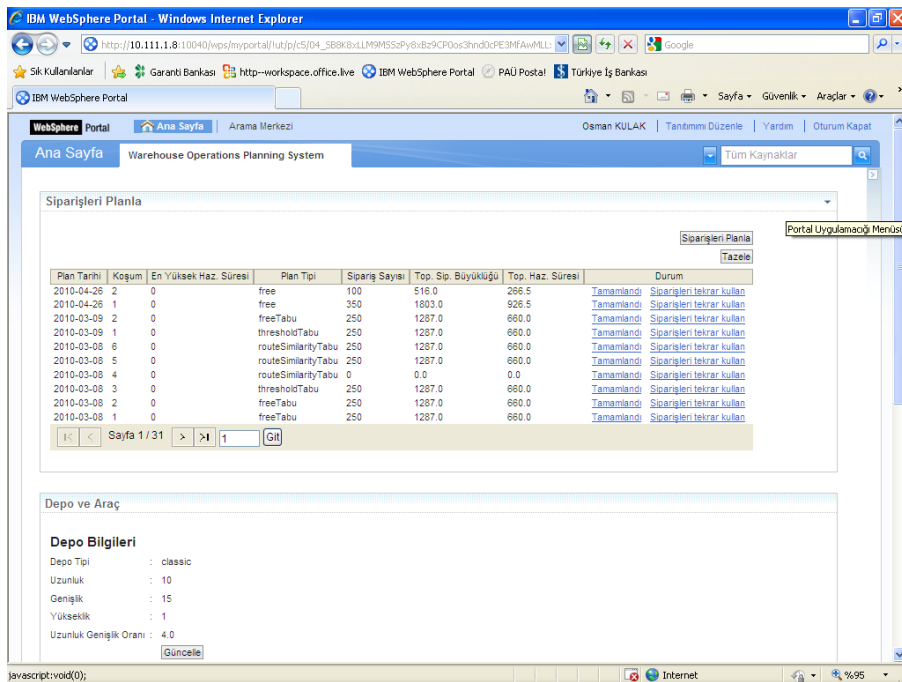
3.4.3 Siparişleri Planla Portleti

Bu portlette siparişlere ait planlama tarihleri, söz konusu tarihlerdeki koşum sayıları, en yüksek hazırlık süresi, plan tipi, sipariş sayısı, toplam sipariş büyüklüğü, toplam hazırlık süresi ve deneyin mevcut durumuna ilişkin bilgiler yer almaktadır. Ayrıca Portal Uygulamacılığı Menüsü Linki de portletin sağ üst köşesinde bulunmaktadır Şekil 40'daki örnekte 26 Nisan 2010 tarihli 2. koşum olan deney devam etmektedir. Portlettteki "Tazele" düğmesi ise sayfayı yenilemektedir.

Şekil 41’de ise sipariş planlama çalışması tamamlanmıştır. Tamamlandı linkine basılarak gerçekleştirilmiş olan deneyin sonuçları görülebilmektedir. Siparişleri tekrar kullan linki, aynı siparişin bir sonraki deneylerde kullanılmasını sağlamaktadır. “Tazele” düğmesi sayfayı yenilemek, “Siparişleri Planla” düğmesi deneyi başlatmak için kullanılmaktadır.

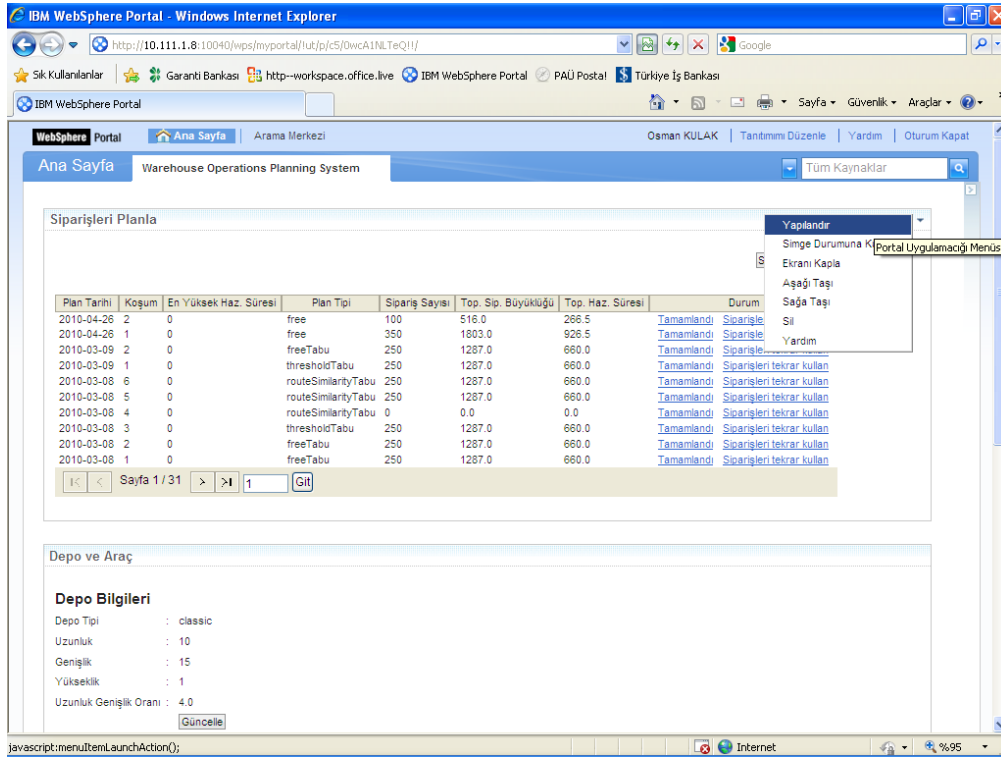


Şekil 40 Sipariş Planlama Portleti-Deney Yapılırken



Şekil 41 Sipariş Planlama Portleti-Deney Tamamlanmış

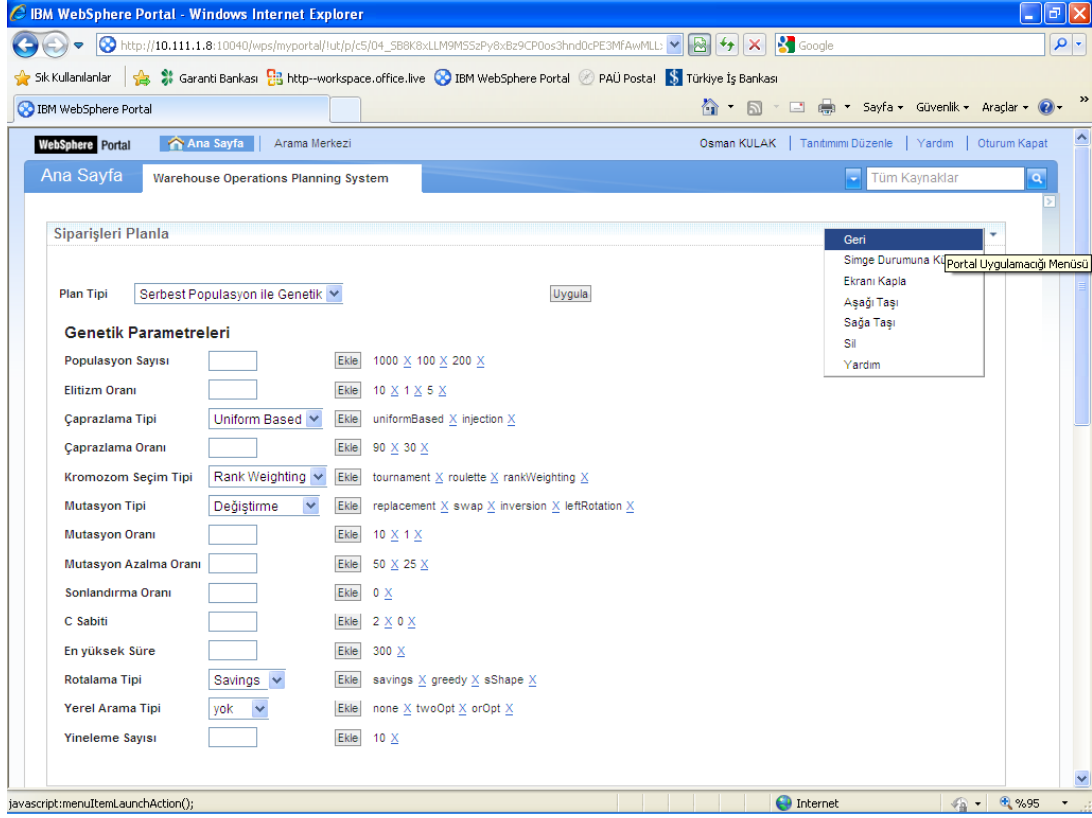
Portal uygulamacığı menüsünde ise sırasıyla; yapılandır, simge durumuna küçült, ekranı kapla, sağa taşı, aşağı taşı, sil ve yardım linkleri yer almaktadır. Yapılandır linki ile gerçekleştirilecek olan deneylere ait parametrelerin düzenlendiği portlete geçiş sağlamaktadır.



Şekil 42 Parametre girişi için plan yapılandırma portletine geçiş

3.4.4 Yapılandır

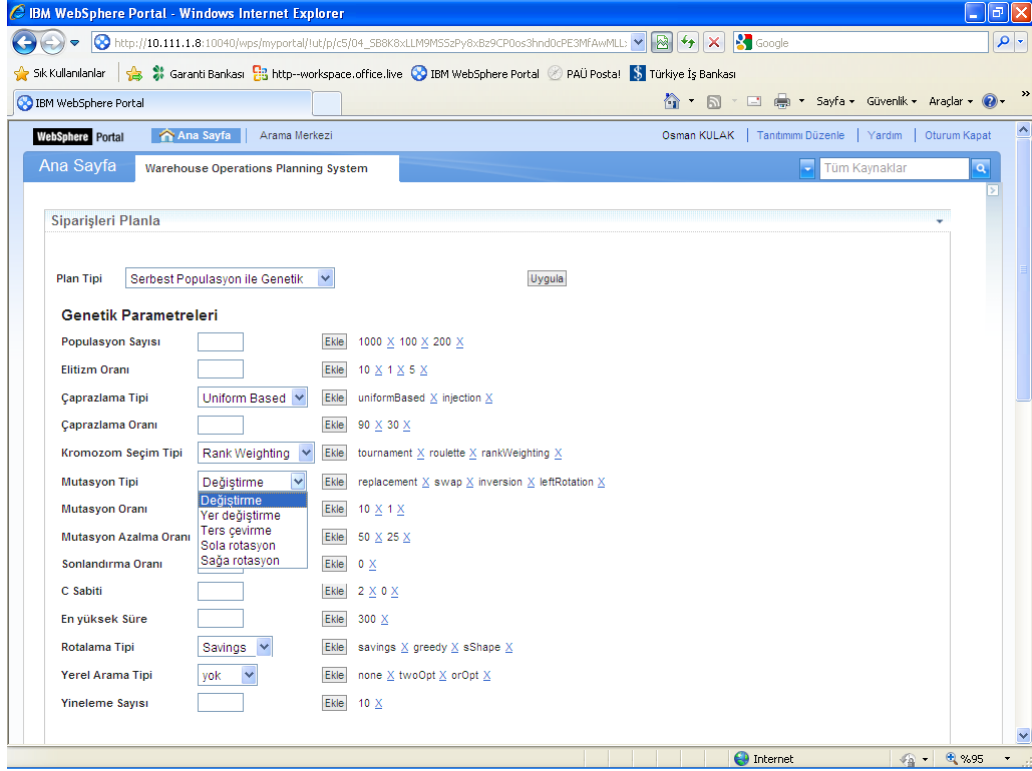
Şekil 42’de gösterilen işlemin yapılmasının ardından karşımıza Şekil 43’deki parametre giriş ekranı gelmektedir. Bu kısımda planlama için kullanılacak yöntemler ile bu yöntemlere ait parametre değerleri tanımlanmaktadır. Planlama tipi için açılan listeden kullanılmak istenen yöntem seçilebilir. Yöntemin seçilmesinin ardından uygula butonuna tıklanır ve bu yöntemle ilgili parametreler alt tarafta ekrana yansımaktadır. Parametre isimlerinin önünde bulunan kutucuklara parametre değeri tanımlandıktan sonra, ekle butonuna tıklanarak bu değerlerin deneyde kullanılacak parametre setine dâhil edilmesi sağlanır. Yine ekle butonunun sağında yer alan, parametre değerleri karşısındaki mavi renkli çarpılara tıklanarak bu değerler parametre setinden çıkarılabilirler (Bakınız Şekil 43 - Şekil 54).



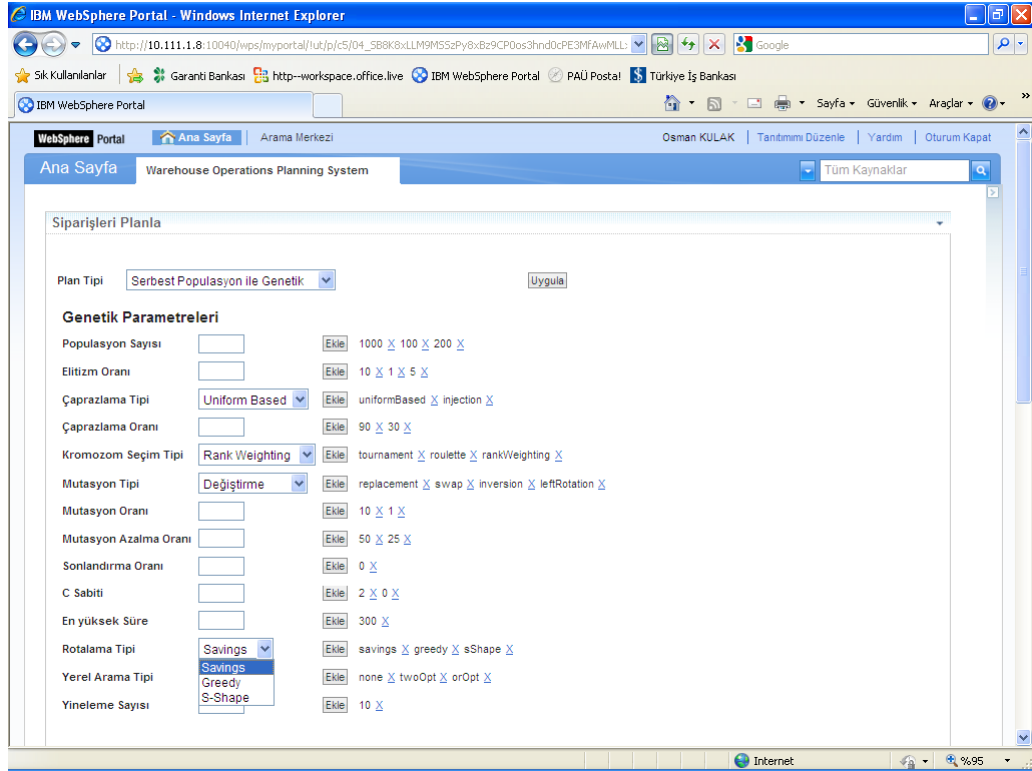
Şekil 43 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 1



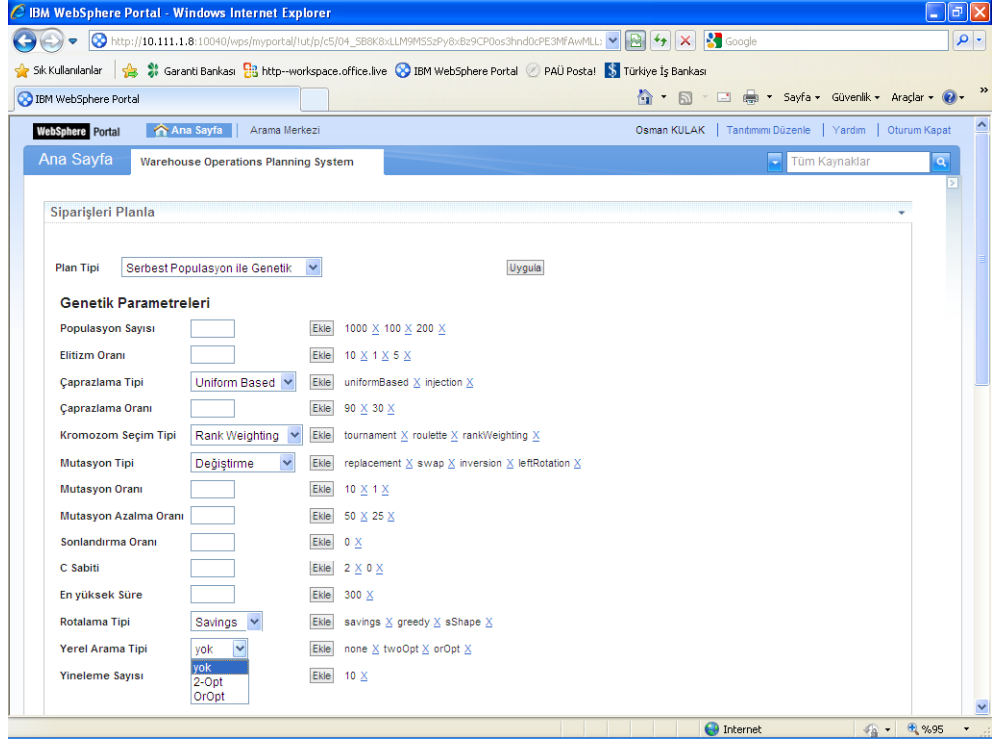
Şekil 44 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 2



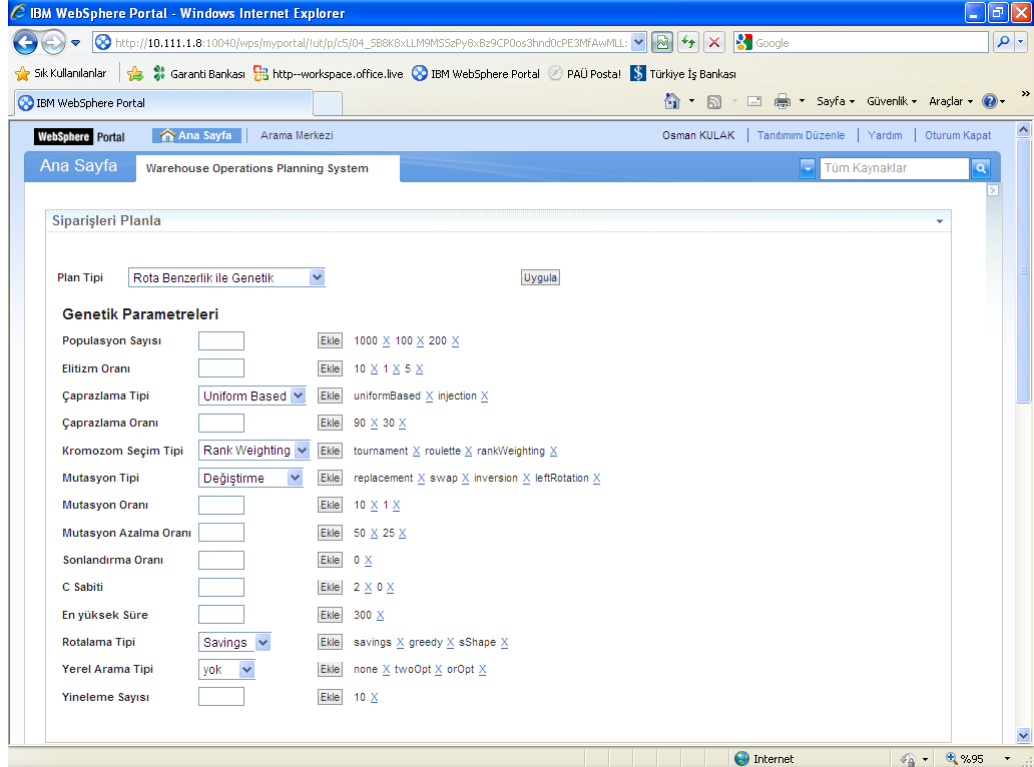
Şekil 45 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 3



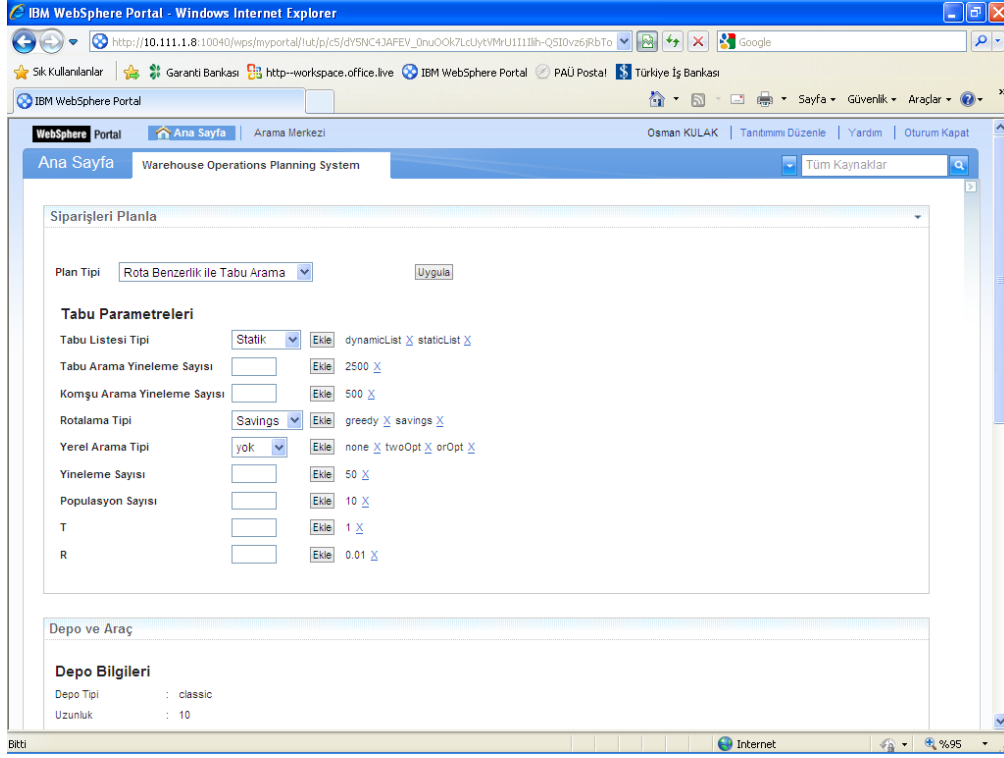
Şekil 46 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 4



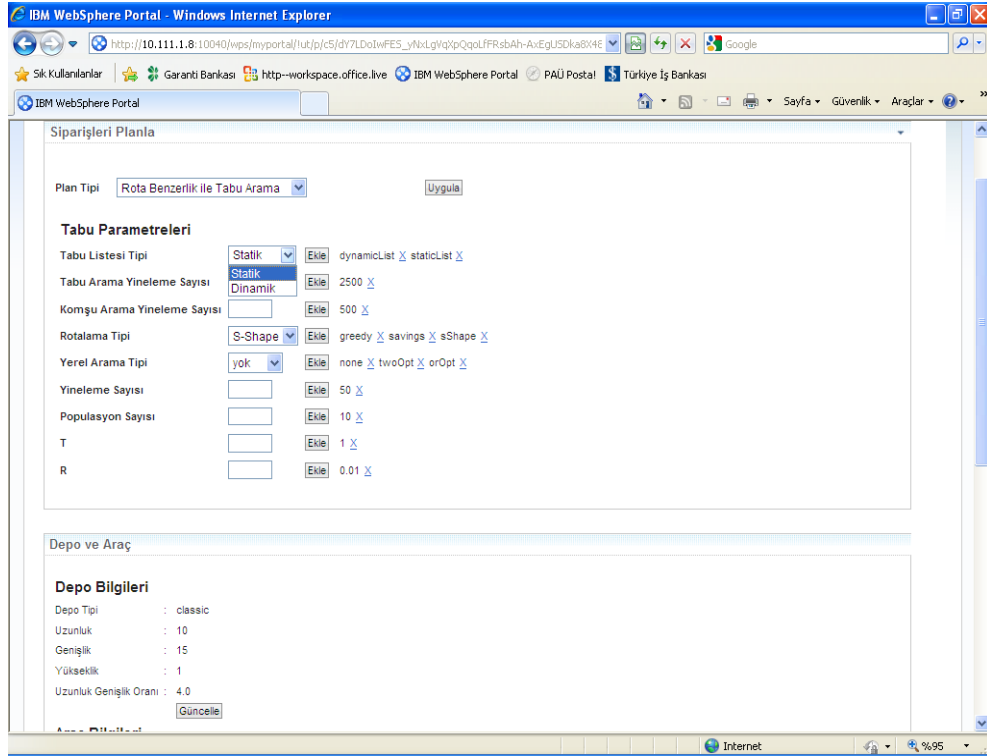
Şekil 47 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 4



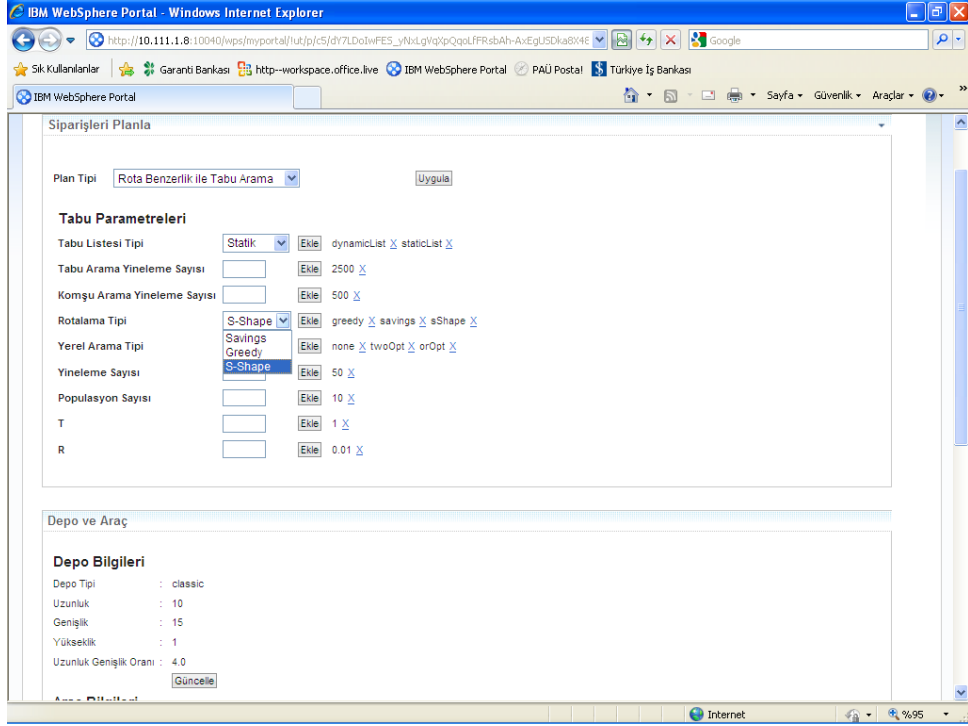
Şekil 48 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 5



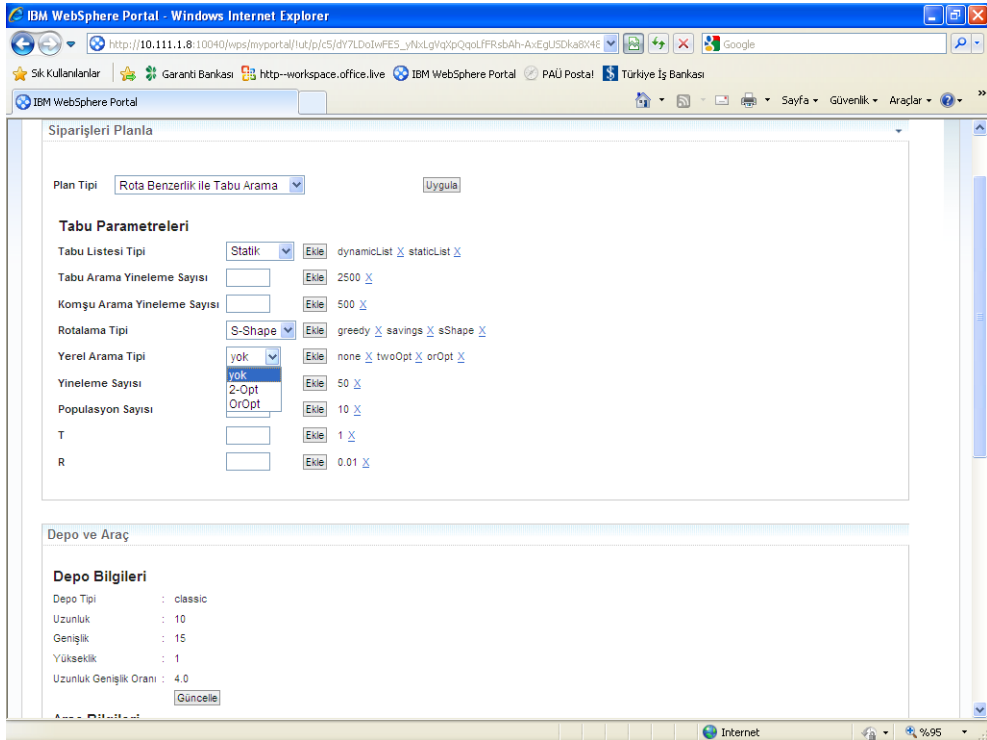
Şekil 49 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 6



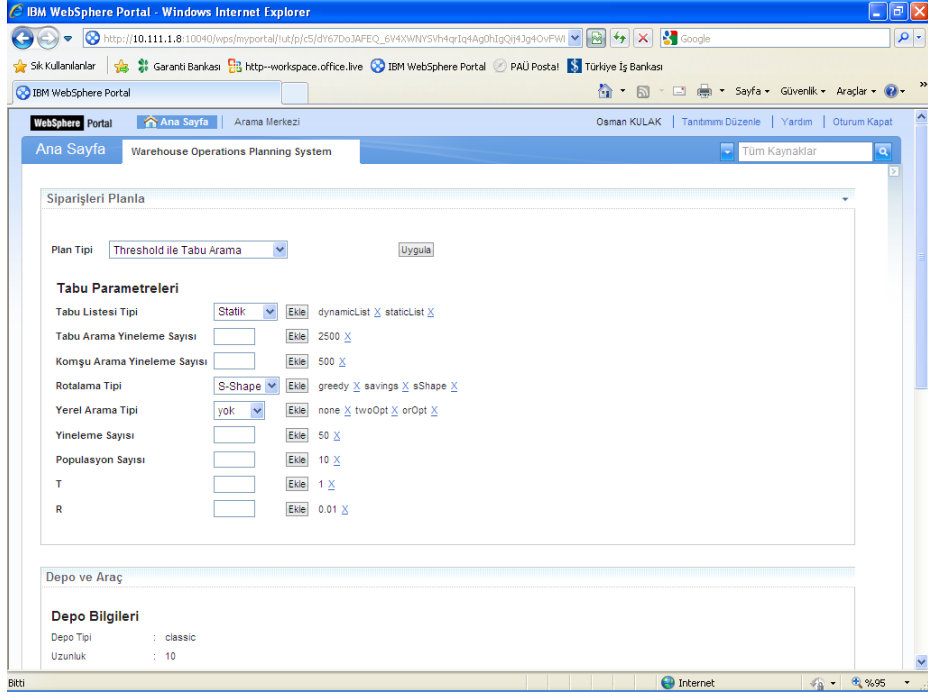
Şekil 50 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 7



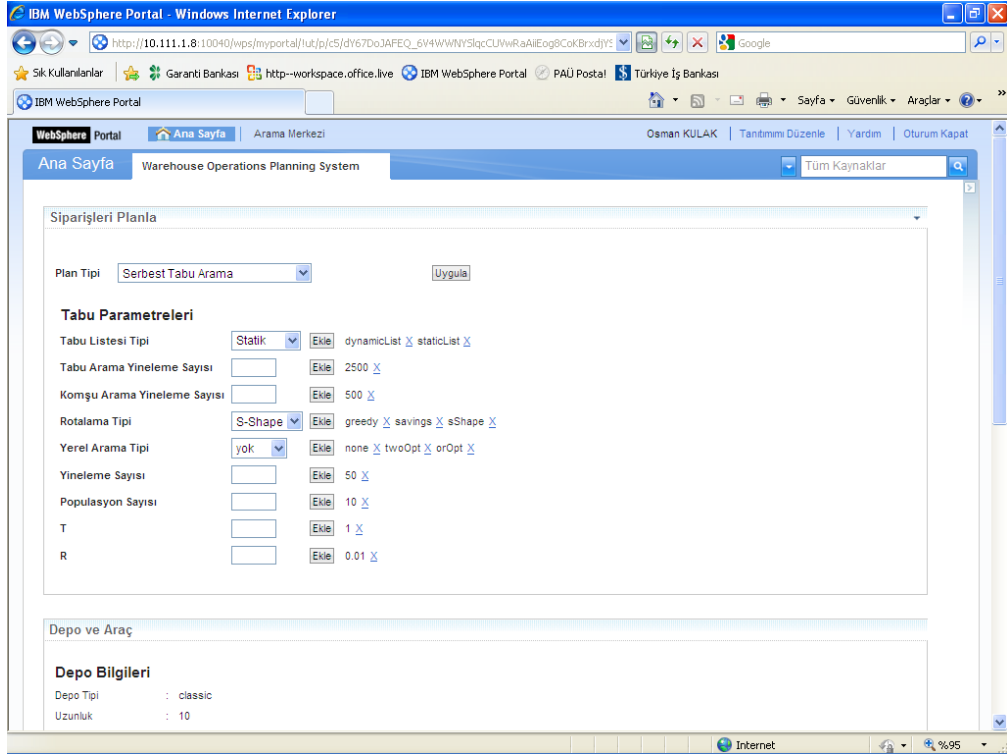
Şekil 51 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 8



Şekil 52 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 9



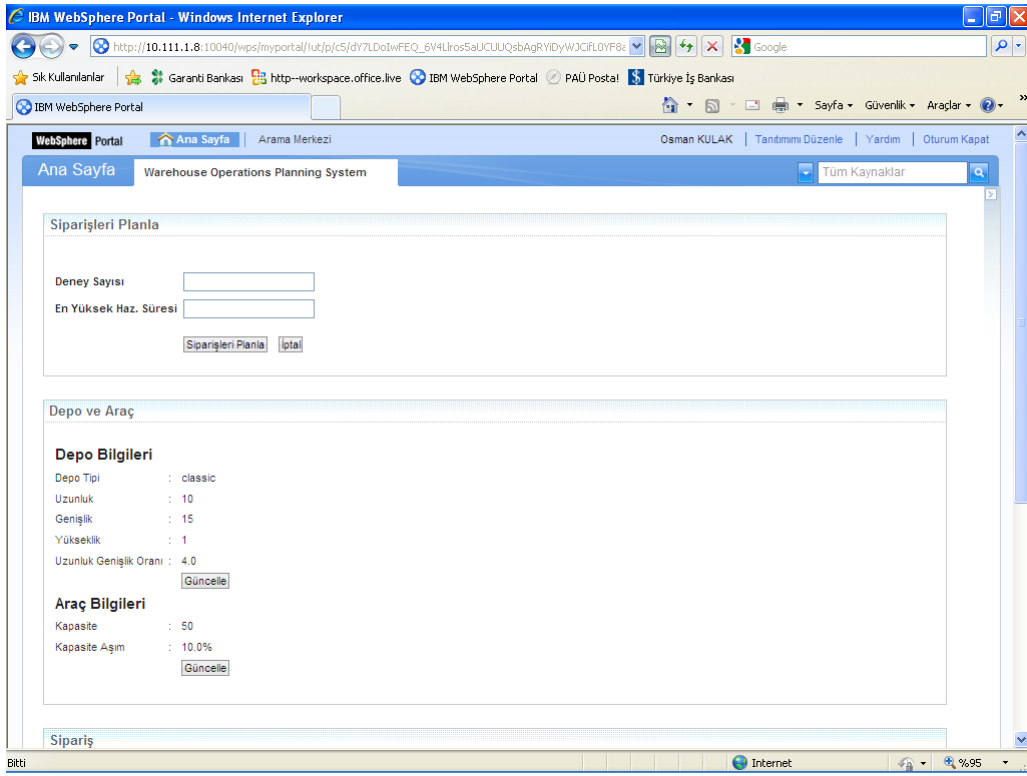
Şekil 53 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 9



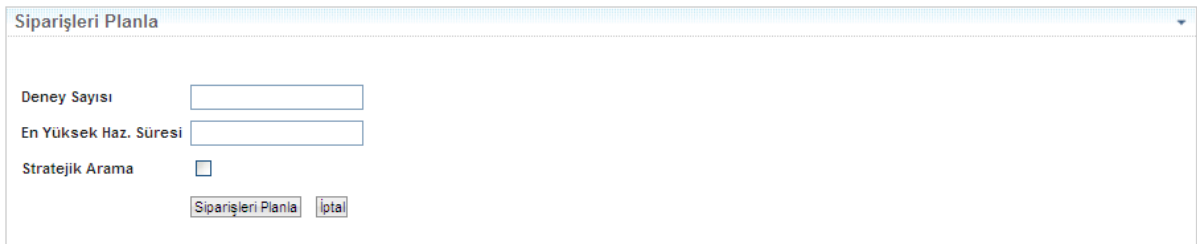
Şekil 54 Plan tipi ve parametrelerin seçimi – 10

3.4.5 Siparişlerin Planlanması

Parametre giriş işlemleri tamamlandıktan sonra tekrar sipariş planlama portletine geri dönülür ve sipariş planla butonuna tıklanır. Şekil 55’de sunulan portlet görüntülenmekte ve bir parametre grubuyla yapılacak deney sayısı ve izin verilen maksimum hazırlık süresi gibi bilgiler burada tanımlanmaktadır. En yüksek hazırlık süresi kutucuğuna 0 değeri girilirse program problemin çözümünde siparişlerin hazırlık sürelerini dikkate almamaktadır. Eğer tabu arama yöntemi seçilmişse bu portlette ayrıca stratejik arama sekmesi yer alır (Bakınız Şekil 56).



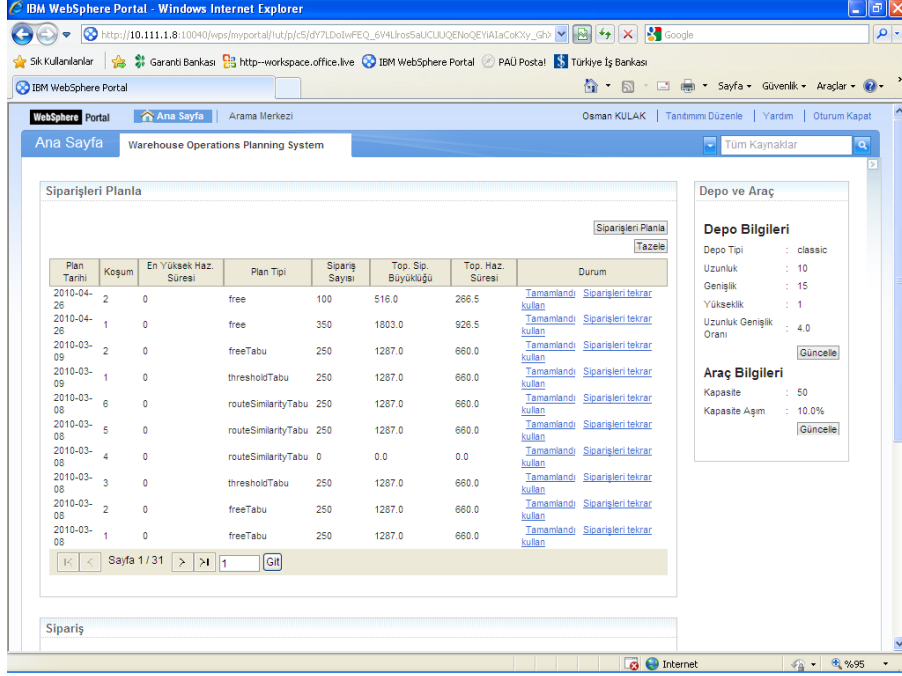
Şekil 55 Deneye ait bilgilerin girildiği planlama portleti



Şekil 56 Tabu arama kullanılması durumunda karşımıza çıkan planlama portleti

3.4.6 Depo ve Araç Bilgilerinin Tanımlandığı Portlet

Proje kapsamında hazırlanan programa farklı araç kapasitesi ve depo özellikleri depo ve araç portletinde tanımlanmaktadır. Bu portlette yine kullanıcı tarafından sayfanın herhangi bir noktasına taşınabilmektedir.



Şekil 57 Depo ve Araç Portleti

Bu portletin depo ile ilgili kısmından depo türü, geçitlerin uzunluğu, iki paralel geçit arası mesafe (uzunluk-genişlik oranı) ve rafların kat sayısı bilgileri girilmektedir. Raf yüksekliği 1'den büyük olması durumunda depo 3 boyutlu olarak tasarlanmaktadır (Bakınız Şekil 58).

Depo ve Araç

Depo Tipi :

Uzunluk :

Genişlik :

Yükseklik :

Uzunluk Genişlik Oranı :

Şekil 58 Depo bilgilerinin girildiği portlet

Portletin araç bilgilerinin girildiği kısımda araç kapasitesi ve kapasite aşım yüzdesi bilgileri yer almaktadır. Farklı araç kapasitesi ve kapasite aşım yüzdeleri için deneyler gerçekleştirilebilmektedir.

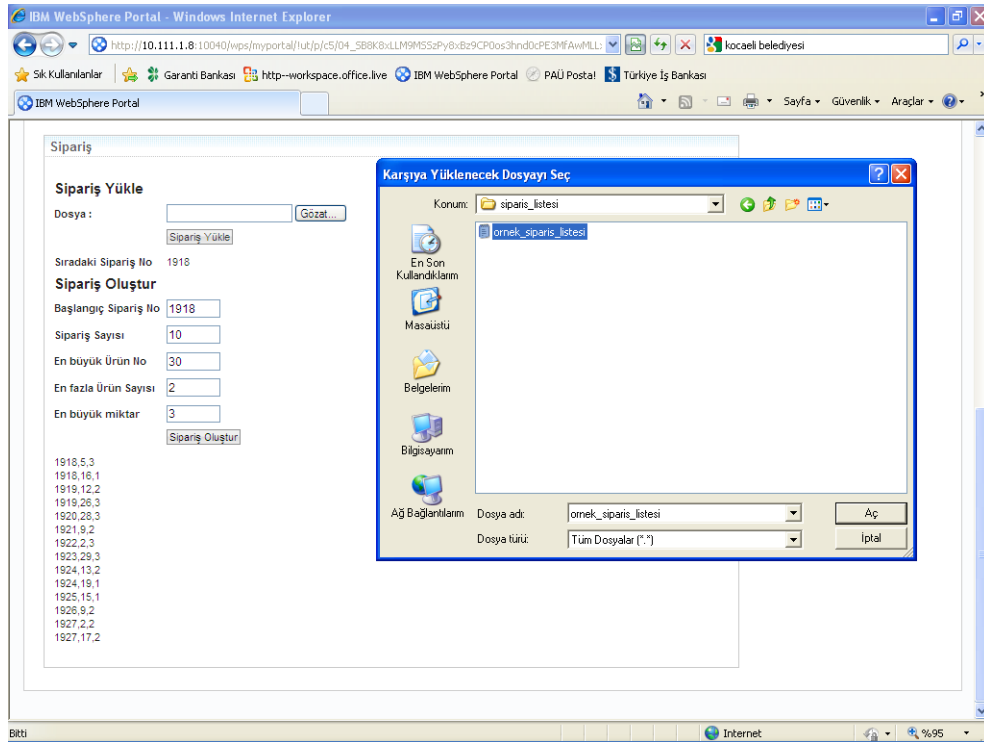


The screenshot shows a web form titled 'Depo ve Araç'. It contains two input fields: 'Kapasite' with the value '50' and 'Kapasite Aşım' with the value '10.0%'. Below the fields are two buttons: 'Kaydet' and 'İptal'.

Şekil 59 Araç kapasitesinin girilmesi

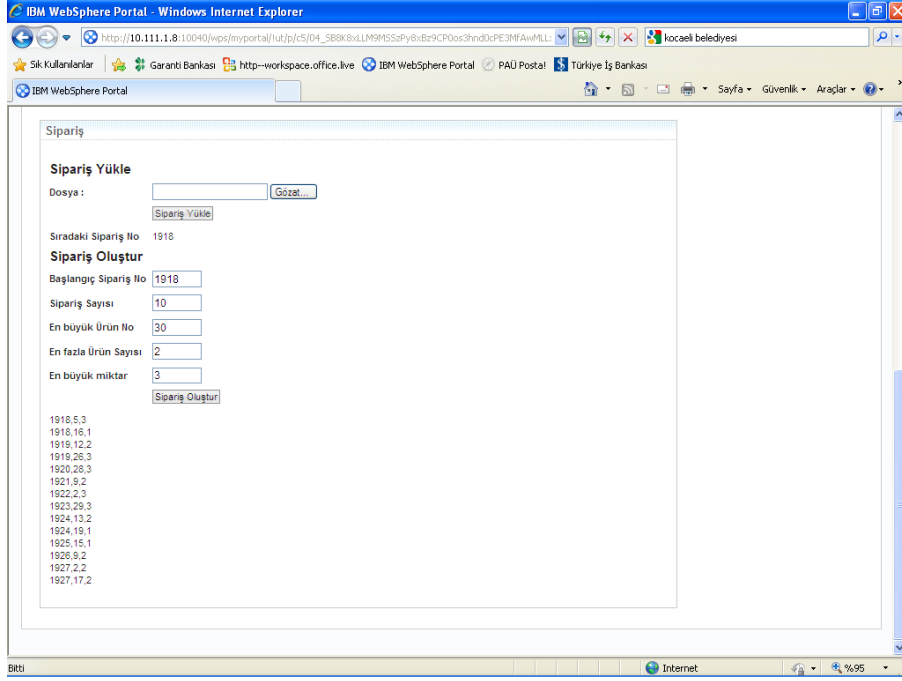
3.4.7 Sipariş Portleti

Programa sipariş girişi iki şekilde yapılabilmektedir. Harici olarak hazırlanan bir txt uzantılı dosya ile sipariş girişi yapılabileceği gibi, programdan sipariş üretmesi de istenebilmektedir. Sipariş girişi için kullanılan portlet Şekil 60’da gösterilmektedir. Siparişlerin dışarıdan girilmesi ve program tarafından üretilmesi durumları Şekil 60 ve Şekil 61’de gösterilmiştir.



The screenshot shows the IBM WebSphere Portal interface. The main portlet is titled 'Sipariş' and contains a 'Sipariş Yükle' section with a 'Dosya:' field and a 'Gözet...' button. Below this is a 'Sipariş Oluştur' section with several input fields: 'Sıradaki Sipariş No' (1918), 'Başlangıç Sipariş No' (1918), 'Sipariş Sayısı' (10), 'En büyük ürün No' (30), 'En fazla ürün Sayısı' (2), and 'En büyük miktar' (3). There are 'Sipariş Yükle' and 'Sipariş Oluştur' buttons. A list of order numbers is displayed at the bottom: 1918,5,3; 1918,16,1; 1919,12,2; 1919,26,3; 1920,28,3; 1921,9,2; 1922,2,3; 1923,29,3; 1924,13,2; 1924,19,1; 1925,15,1; 1926,9,2; 1927,2,2; 1927,17,2. A file upload dialog box is open over the 'Sipariş Yükle' section, titled 'Karşıya Yüklenecek Dosyayı Seç'. It shows a file named 'ornek_siparis_listesi' selected in the 'Konusu' field. The dialog also has 'Dosya adı' and 'Dosya türü' fields, and 'Aç' and 'İptal' buttons.

Şekil 60 Sipariş listesinin dışarıdan girilmesi



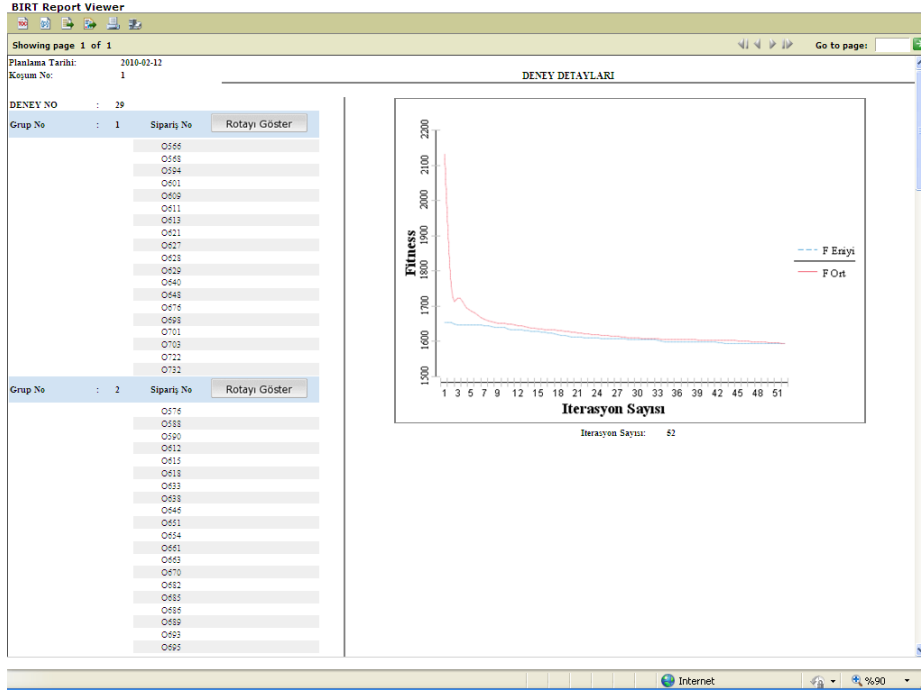
Şekil 61 Siparişlerin program tarafından üretilmesi

3.4.8 Deney Sonuçları Portleti

Deneyler tamamlandıktan sonra kullanıcı için deney sonuçları protleti oluşturulmaktadır. Şekil 57’de tanımlanan siparişler için deneyler tamamlandıktan sonra sipariş planlama çalışması tıklırsa, kullanıcı için Şekil 62’ de sunulan sonuç ekranı çıkmaktadır. Bu ekranda deneylerden elde edilen en iyi sonuç yeşil renkte gösterilmektedir. Deney numarasına tıklayarak deneyin detaylarına ulaşılabilir (Şekil 63).

BIRT Report Viewer															
Showing page 1 of 1															
DENEY SONUÇLARI															
Denei No	Uygunluk	Populasyon Sayısı	Elitizm Oranı	Çaprazlama Yöntemi	Çaprazlama Yüzdesi	Kromozom Seçim Yöntemi	Mutasyon Yöntemi	Mutasyon Yüzdesi	Mutasyon Azalma Yüzdesi	Sonlandırma Oranı	C Değeri	Maksimum Süre	Rotalama	Yerel Arama	Yerel Arama İterasyon Sayısı
29	1596	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	OrOpt	10
28	1606	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	OrOpt	10
19	1616	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	Uygulanmadı	
17	1618	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	Uygulanmadı	
22	1618	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	2-Opt	10
24	1618	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	2-Opt	10
20	1620	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	Uygulanmadı	
16	1622	2000	10	Uniform Based	90	Tournament	Replacement	10	50	0	2	1500	NN-Nearest Neighbor	Uygulanmadı	

Şekil 62 Deney sonuçları ekranı



Şekil 63 Deney detayları

Seçilen deneyin detayları Şekil 63’de görüldüğü gibi ayrı bir sayfada sunulmaktadır. Burada gruplarda bulunan siparişlerin listesi ile iterasyon sayısı-uygunluk değeri grafiği de yer almaktadır. Ekranda görünen rotayı göster butonuna tıkladığında o sipariş grubuna ait rota bilgisi detaylarına ulaşabilmektedir (Bakınız Şekil 64).

BIRT Report Viewer

Showing page 1 of 1 Go to page:

Planlama Tarihi: 2010-02-12
Koşum No: 1 **GRUP DETAYLARI**

DENEY NO	GRUP NO	MESAFE	Sıra	Ürün	Konum
29	1	160	1	P7	7
			2	P20	20
			3	P20	20
			4	P28	28
			5	P33	33
			6	P26	26
			7	P25	25
			8	P35	35
			9	P45	45
			10	P64	64
			11	P63	63
			12	P106	106
			13	P107	107
			14	P110	110
			15	P140	140
			16	P139	139
			17	P129	129
			18	P156	156
			19	P146	146
			20	P196	196
			21	P133	133
			22	P192	192
			23	P191	191
			24	P181	181
			25	P201	201
			26	P213	213
			27	P214	214
			28	P215	215
			29	P206	206
			30	P218	218
			31	P209	209
			32	P219	219
			33	P220	220

Şekil 64 Rota detayı

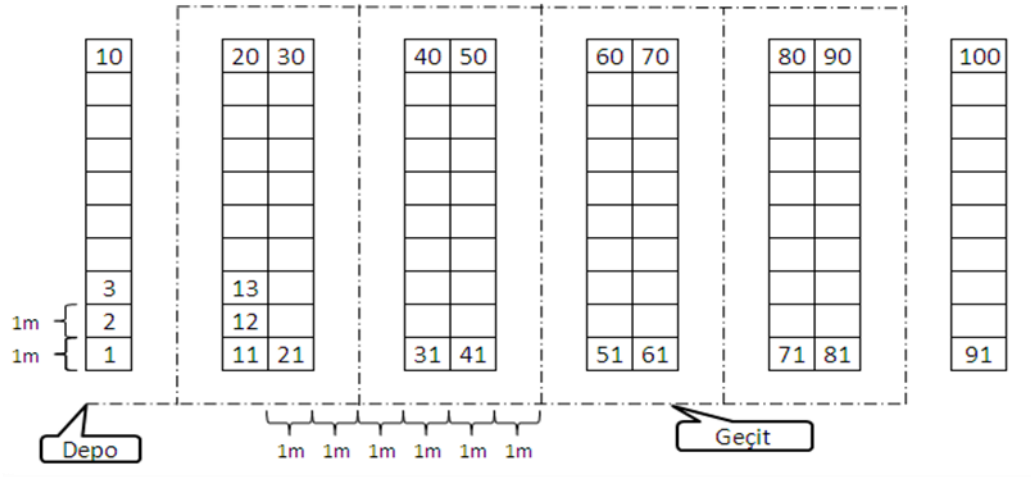
4. DENEYSSEL ÇALIŞMA

Proje kapsamında önerilen yöntemlerin etkinliğini analiz etmek amacıyla rastsal olarak oluşturulan sipariş listeleri, yöntemler ve yöntemler için en uygun parametre setlerinin tanımlanması ve yöntemlerin performans analizleri bu bölümde sunulmuştur.

4.1 Depo Yerleşim Özellikleri

Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama probleminin çözüm performansına etki eden en önemli faktörlerden birisi depo yerleşim tipleri ve özellikleridir. Önerilen yöntemlerin performanslarını karşılaştırabilmek için hem klasik depo yerleşim düzeni hem de çapraz geçitli depo sistemi çalışma kapsamına alınmıştır.

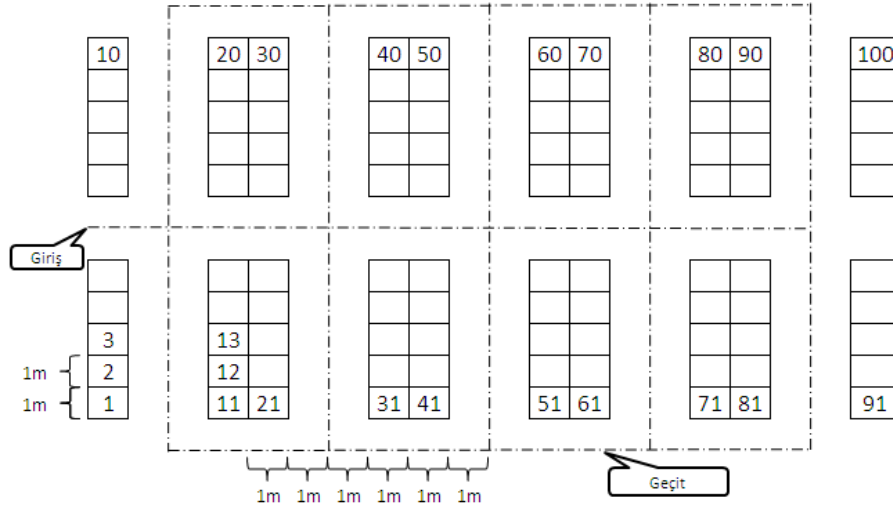
Çalışma kapsamında ilk olarak kullanılan depo düzeni Şekil 65 ile gösterilen klasik depo yerleşim düzenidir. Yöntemlerin performans analizi aşamasında Şekil 65 gösterilen ölçüler kullanılmıştır. Burada iki blok arasındaki mesafe 2 m. ve ön ile arka geçitler arasındaki mesafe 12 m.'dir. Her blok genişliği 10 raftan oluşmakta ve sipariş listelerindeki sipariş sayısının artırılması ve azaltılması yeni blokların eklenmesi ve çıkarılması ile sağlanmaktadır. Örneğin 50 sipariş içeren bir liste için ilk 5 blok kullanılırken, 150 siparişlik bir liste için depoya yeni 5 blok ilave edilmektedir. Uygulamayı böyle yapmakla birlikte geliştirilen yazılım blok genişliklerini ve mesafelerini değiştirebilme esnekliğine sahiptir.



Şekil 65 Klasik depo yerleşim düzeni (Tek bloklu)

Diğer bir depo yerleşim düzeni olarak çapraz geçitli depo sistemi çalışma kapsamına alınmıştır. Değişen müşteri ihtiyaçları doğrultusunda tek bloklu klasik depo yerleşimlerinden

ziyade, çapraz geçitlerin bulunduğu çok bloklu depo sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda; depo sistemlerinde çoklu blokların diğer bir deyişle çoklu çapraz geçitlerin bulunması, sipariş toplama etkinliğini artırdığı tespit edilmiştir. Deneilerin gerçekleştirildiği çapraz geçitli depo sistemi ve mesafe ölçüleri Şekil 66’da gösterilmektedir.



Şekil 66 Çapraz geçitli depo

Bu depo sisteminde giriş çıkış noktası çapraz geçit karşısında konumlandırılmıştır. Bu sistemde de her raf bir ürüne tahsisli olup raf genişliği 1m'dir. Her raf bloğu iki kısımdan oluşmakta ve her blokta 10 ürün bulunmaktadır. Deneiler gerçekleştirilirken sipariş sayısının değiştiği listelerde yeni blok eklenerek veya azaltılarak depo düzenlemesi yapılmaktadır. Örneğin 150 sipariş içeren bir deney listesi için yeni 5 blok eklenmektedir.

Deneilerin gerçekleştirilmesi sırasında sipariş ve depo özellikleri ile ilgili aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir:

1. Siparişler birden fazla gruba bölünemezler, bir sipariş sadece bir gruba atanır,
2. Toplayıcı bir koridorda sol ve sağ taraftaki raflardan aynı anda parçaları toplayabilir. Örnek verilecek olursa 1 nolu rafın önüne geldiğinde 11 nolu raftan da parça toplayebilir.
3. Toplayıcı koridorda her iki yönde de hareket edebilir.
4. Tüm ürünlerin raflardaki konumları önceden tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında sipariş büyüklükleri farklı olan 5 farklı sipariş listesi oluşturulmuştur. Bu deney setine bağlı olarak depo yerleşimlerine ilişkin parametreler ve

değerleri farklı sipariş listeleri için **Tablo 5**'de sunulmaktadır. Depodaki geçit sayısı, raf sayısı, geçit uzunluğu, raf yüksekliği ve geçitler arası mesafe gibi parametreler tabloda gösterilmektedir. Yine siparişlerdeki parça sayısı ve türlerine bağlı olarak toplam yer (konum) sayısı da burada belirtilmektedir.

Tablo 5 Depo özelliklerini belirten parametreler

Depo Parametreleri	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
Geçit Sayısı (adet)	11	15	15	15	13
Geçitteki raf sayısı (adet)	10	10	10	10	10
Toplama için toplam yer sayısı (adet)	220	300	300	300	250
Geçit uzunluğu (m)	10	10	10	10	10
İki geçit arası mesafe (m)	4	4	4	4	4
Raf yüksekliği (m)	1	1	1	1	1

4.2 Siparişler Listeleri ve Özellikleri

Proje kapsamında deneysel çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için sipariş listelerinin hazırlanması gerekmektedir. Daha önce belirtildiği gibi hazırlanan bir sipariş listesinde sipariş sayısı, ağırlık (gerekli durumlarda hacim olarak da kullanılabilir), alt sipariş sayısı gibi veriler rastgele oluşturulmuştur.

Sipariş listesinde belirtilen sipariş sayısı problemin büyüklüğünü göstermektedir. Sipariş sayısı büyük olan listeler için çözüm süresi uzun olmakla birlikte etkin çözümler bulmak daha da zor olmaktadır. Bu çalışmada 50 sipariş olan küçük sipariş listesi yanında 250 sipariş içeren büyük sipariş listesi de rastsal olarak oluşturulup deneysel çalışmaya dâhil edilmiştir. Sonuçta sipariş sayısı 50, 100, 150, 200 ve 250 olan 5 farklı sipariş listesi DS1, DS2, DS3, DS4 ve DS5 hazırlanmış ve sırasıyla EK1, EK2, EK3, EK4, EK5'te sunulmuştur. Her sipariş listesi için sipariş sayısı farklı olduğu kadar alt sipariş sayıları ve toplam ağırlıkları da birbirinden farklıdır.

Hazırlanan sipariş listelerine ait özet bilgiler Tablo 6'da gösterilmektedir. Tabloda sipariş listelerinde bulunan toplam sipariş sayısı, toplam parça sayısı, siparişlerin toplam ağırlığı, toplama aracının ağırlık olarak kapasitesi ve oluşturulabilecek en az grup sayısı gösterilmektedir.

Tablo 6 Sipariş liselerine ait bilgiler

	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
Sipariş Sayısı (adet)	50	100	150	200	250
Toplam Parça Sayısı (adet)	71	203	311	402	509
Siparişlerin toplam ağırlığı (kg)	246	516	770	981	1287
Toplayıcı araç kapasitesi (kg)	100	100	100	100	100
En Az Grup Sayısı (adet)	3	6	8	10	13

4.3 Genetik Algoritma Esaslı Yöntemlerin Analizi

Depo operasyonlarının yönetilmesine yönelik sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin birlikte çözümü için önerilen Genetik algoritma esaslı yöntemler, en iyi performansı sağlayan parametreler ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi bu bölümde ifade edilmektedir.

Daha önceki bölümde belirtildiği üzere GA yöntemi sipariş gruplama probleminin çözümüne yönelik önerilen bir sezgiseldir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde GA sipariş gruplama problemi için etkin çözüm üretmekle birlikte çözümlerin elde edilmesi uzun zaman almaktadır. Proje kapsamında ilk olarak GA yöntemini RS-RV sezgiseli ile bütünleştirerek GA yönteminin etkin çözümleri daha hızlı çözmesi hedeflenmektedir.

Proje kapsamında GA yöntemi ile ilgili diğer bir hedef ise klasik TSP sezgisellerinin GA yöntemi ile bütünleştirerek yöntemin etkinliğini daha da artırmaktır. Bu nedenle GA ile birlikte klasik TSP sezgiselleri proje kapsamında bütünleştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır:

GANN: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç topluluğu RS-RV sezgiseli ile oluşturulan GA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik bir klasik TSP sezgiseli olan En Yakın komşu yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Toplayıcı rotalama probleminde yapısal sezgiselle birlikte geliştirme sezgiseli olarak Or-opt sezgiseli de kullanılmaktadır.

GAS: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç topluluğu RS-RV sezgiseli ile oluşturulan GA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik diğer bir klasik TSP sezgiseli olan Kazanç sezgiseli ile bütünleştirilmiştir. Toplayıcı rotalama probleminde yapısal sezgiselle birlikte geliştirme sezgiseli olarak 2-opt sezgiseli de kullanılmaktadır.

GASS: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç topluluğu rastsal olarak oluşturulan GA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik bir sezgisel olan

S-shape yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Bu yöntem literatürde mevcut olan en iyi GA uygulaması olduğu için önerilen yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırma amaçlı seçilmiştir.

GAN: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç topluluğu rastsal olarak oluşturulan GA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik klasik bir sezgisel olan En yakın komşu yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Toplayıcı rotalama probleminde yapısal sezgiselle birlikte geliştirme sezgiseli olarak Or-opt sezgiseli de kullanılmaktadır. Bu yöntem özellikle çapraz geçitli depo sistemlerinde önerilen diğer yöntemlerdeki RS-RV sezgiselinin etkisini analiz için kullanılmaktadır.

4.3.1 GA için En İyi Parametrelerin Belirlenmesi

En uygun parametrelerin belirlenmesi için 2 GB RAM belleği olan ve 2.0 Ghz işlemcili standart bir bilgisayarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Sipariş sayısı 200 adet, parça sayısı 500 adet olan ve rastsal olarak oluşturulan test sipariş listesi en iyi parametre kümesinin belirlenmesi için kullanılmıştır (Bakınız Ek 11). Bu deneyde kullanılan parametre değerleri **Tablo 7**'de sunulmaktadır. Farklı parametre kombinasyonlarını içeren 43200 deney gerçekleştirilerek ANOVA testi ile analiz edilmiştir.

Tablo 7 Deneysel çalışmada kullanılan parametre değerleri

Parametre	Kullanılan Değerler
Kromozom Sayısı	Sipariş Sayısı, 5* Sipariş Sayısı, 10* Sipariş Sayısı
Çaprazlama Yöntemi	Uniform – Enjeksiyon
Çaprazlama Oranı	30 - 60 - 90 %
Kromozom Seçim Yöntemi	Sıra Esaslı - Rulet Tekerı – Turnuva
Mutasyon Yöntemi	Yerine Koyma - İkili Yer değiştirme - Ters Çevirme - Sağa Rotasyon - Sola Rotasyon
Mutasyon Oranı	5 - 10 %
Mutasyon Stratejisi	Üssel azalma / Sabit
Mutasyon Azalma Oranı	25 - 50 / 3-5-10 %
C Değeri	1 - 2 - 3
Elitizm Oranı	5- 10- 20 %

Tablo 7'de belirtilen parametre değerlerini içeren her bir deney için tekrar sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Tüm deneylerden en iyi ortalama uygunluk değerine sahip 15 parametre grubu seçilerek Tekyönlü Varyans Analizi (TANOVA) gerçekleştirilmiştir. Seçilen parametre grupları **Tablo 8**'de gösterilmektedir. Tablonu ilk sütununda bulunan “Parametre Grubu” ifadesi o parametre grubu ile yapılan deneylere karşılık gelmektedir. Özdamar (2004),

Tekyönlü Varyans Analizini, normal dağılım gösteren k toplumdaki alınan k bağımsız grup denemelerinden elde edilen nicel verilerin analizinde yararlanılan bir yöntem olarak tarif etmektedir. Bu analiz k grup ortalamalarının birbirine eşitliğini test eder.

Tablo 8 ANOVA testi için seçilen parametre grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
664	1990	162	2090	150	2138	432	2172	390	2028
664	2088	162	2162	150	2010	432	1972	390	1950
664	2092	162	2012	150	2026	432	2056	390	2108
664	2036	162	2136	150	2026	432	2086	390	2028
664	2108	162	2008	150	2138	432	2048	390	1984
190	2078	426	1948	278	2046	74	2042	460	2052
190	2074	426	2034	278	2088	74	2010	460	2050
190	2062	426	2020	278	2052	74	2040	460	2060
190	2108	426	2180	278	2078	74	2112	460	2030
190	2046	426	2054	278	2044	74	2068	460	2034
430	1988	174	2012	370	1852	450	2052	394	2044
430	2080	174	1952	370	1940	450	2008	394	2010
430	2116	174	1992	370	1952	450	2032	394	2012
430	2104	174	2102	370	1898	450	2046	394	2000
430	1958	174	2076	370	1962	450	2084	394	2096

4.3.2 Normallik testi

Tek yönlü ANOVA’da, k toplumun $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ ortalamalı ve ortak σ^2 varyanslı normal dağılım gösterdiği varsayımı kabul edilir. Tek yönlü varyans analizini verilere uygulamadan önce grup verilerinin normal dağılım gösterip göstermediği normallik testlerinden uygun birisi ile (Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk, KS tek örnek v.b.) test edilmelidir (Özdamar, 2004). Veri analizi için SPSS 15 paket programı kullanıldığı için, bu testlerden Kolmogrov-Smirnov testi kullanılmıştır. Yapılan normallik testlerinin sonuçları **Tablo 9**’da verilmektedir. Bütün parametre grupları için anlamlılık değeri 0,05’ten büyük olduğu için verilerin normal dağılım gösterdiği söylenebilir.

Tablo 9 Normallik testi sonuçları

Grup_no	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	İstatistik	df	Anlamlılık
74	0,227279	5	0,20
150	0,340209	5	0,06
162	0,239004	5	0,20
174	0,195174	5	0,20

190	0,223844	5	0,20
278	0,283792	5	0,20
370	0,250332	5	0,20
390	0,24368	5	0,20
394	0,298601	5	0,17
426	0,267861	5	0,20
430	0,266576	5	0,20
432	0,197382	5	0,20
450	0,192548	5	0,20
460	0,247306	5	0,20
664	0,296992	5	0,17

4.3.3 F testi

ANOVA sonuçları, SPSS çıktı sayfasında ANOVA tablosu ile gösterilir. Tek yönlü ANOVA’da toplam varyasyon iki bileşen halinde bölümlendirilmektedir. “Gruplar arası” grup ortalamaların genel ortalama etrafında değişimini ifade ederken, “Grup içi” ilgili grup içerisinde yer alan her bir değer grup ortalaması etrafındaki çeşitliliğini ifade eder. Tabloda yer alan “Anlamlılık” ifadesi yapılan F testinin anlamlılık düzeyini göstermektedir. Küçük anlamlılık değerleri (<0.05) gruplar arasında farklılığın bulunduğu gösterir. **Tablo 10**’da da görüldüğü gibi, Anlamlılık $< 0,05$ olduğu için “en az 1 parametre grubunu bulunduğu alan diğerlerinden farklıdır” denir.

Tablo 10 F-test istatistiği sonuçları

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar arası	101892.8	14	7278.057	2.528461	0,007
Grup içi	172707.2	60	2878.453		
Toplam	274600	74			

4.3.4 Çoklu karşılaştırma testleri

Varyans analizi neticesinde F test istatistiği sonucu “önemli düzeyde farklılık var” şeklinde ortaya çıkmışsa, hangi grup ortalamasının farklı olduğu belirlemek ve ortalamaları farklı olan grupları bulmak için çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilir. SPSS içerisinde yer alan testlerden Tukey HSD testi çoklu karşılaştırma testi olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu ortaya çıkan gruplar **Tablo 11**’de verilmektedir. 15 parametre seti 2 gruba ayrılmıştır. Bazı parametre setleri birden fazla grup içerisinde yer alırken, 370 numaralı parametre setinin oluşturulan diğer parametre setlerine ait gruplarla bağlantısı olmadığı için bu parametre seti en iyi parametre seti seçilmiştir.

Tablo 11 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Grup	N	1	2
370	5	1920.8	
390	5	2019.6	2019.6
174	5	2026.8	2026.8
394	5	2032.4	2032.4
450	5		2044.4
460	5		2045.2
426	5		2047.2
430	5		2049.2
74	5		2054.4
278	5		2061.6
664	5		2062.8
432	5		2066.8
150	5		2067.6
190	5		2073.6
162	5		2081.6

370 numaralı parametre setine ait parametre değerleri **Tablo 12**'de verilmiştir. En iyi parametre setinin belirlenmesinin ardından, 50, 100, 150, 200 ve 250 siparişten oluşan sipariş listeleri hem klasik hem de çapraz geçitli depo sistemi için deneye tabi tutulmuştur.

Tablo 12 Nihai GA parametreleri

Kromozom Sayısı	Sipariş Sayısı * 10
Çaprazlama Yöntemi	Uniform
Çaprazlama Oranı	90%
Kromozom Seçim Yöntemi	Rulet Teker
Mutasyon Yöntemi	Yerine Koyma
Mutasyon Oranı	10%
Mutasyon Stratejisi	Üssel azalma
Mutasyon Azalma Oranı	50%
Mutasyon Azalma Oranı	50%
C Değeri	2
Elitizm Oranı	10%

4.3.5 GA Yöntemi Sonuçlarının Analizi

Önerilen GA esaslı yöntemler farklı deney problemleri için sonuçlar üretmekte ve ilgili sonuçların performans analizi bu bölümde gerçekleştirilmektedir. Analiz kapsamında her bir yöntemin farklı büyüklükteki problemlerin çözümü sonrasında elde ettiği uygunluk değeri ve

CPU süreleri karşılaştırılmaktadır. Belirli bir anlamlılık seviyesinde çözüm kalitesi daha iyi olan yöntemler tespit edilmektedir.

Önerilen yöntemler ilk olarak klasik depo yerleşim düzeni olan bir sistemde belirtilen farklı 5 sipariş listesi için çözümler üretmiştir. Yöntemler, sipariş listeleri ve her bir problem için uygunluk değerleri ve çözüm süreleri **Tablo 13**'de gösterilmektedir. Yine tabloda her bir yöntem ile ilgili olarak en iyi uygunluk değerinden sapma ve en iyi CPU süresinden sapma değerleri de gösterilmektedir.

Tablo 13 Klasik depo yerleşim düzeni için yöntemler ve çözüm değerleri

Yöntemler	Kriterler	Problemler				
		D1	D2	D3	D4	D5
GAS	Uygunluk Değeri	340	1068	1452	1768	2048
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	9,68	7,44	8,52	7,80	10,58
	CPU Süresi (sn)	0,41	5,31	16,12	31,91	56,23
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	36,67	33,42	32,67	25,43	0,00
GANN	Uygunluk Değeri	310	994	1338	1640	1852
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CPU Süresi (sn)	0,30	3,98	12,15	25,44	57,10
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55
GASS	Uygunluk Değeri	364	1086	1648	2020	2382
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	17,42	9,26	18,73	23,17	28,62
	CPU Süresi (sn)	0,48	7,4	26,1	48,95	111,15
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	60,00	85,93	114,81	92,41	94,66

Klasik depo sistemlerindeki deney sonuçları analiz edildiğinde uygunluk değeri olarak GANN yönteminin tüm problem türlerinde önemli düzeyde daha etkin sonuçlar sağladığı görülmektedir. CPU süresi olarak tüm yöntemler karşılaştırıldığında tek bir deney hariç tüm deneylerde en iyi zamanı yine GANN yöntemi sağlamıştır. GANN yönteminin CPU süresi olarak en iyi olmadığını deneyde GAS yöntemi en iyi zamanı elde etmiştir. GANN yöntemi sadece 1s ile GAS yönteminin arkasında kalmıştır.

GANN yöntemi literatürde mevcut olan GASS yöntemi ile karşılaştırıldığında hem çözüm kalitesi hem de CPU süresi olarak oldukça iyi bir performansa sahip olmuştur. Problemin büyüklüğüne bağlı farklı deneylerde çözüm uygunluk değeri olarak %9,26 ile %28,62 arasında değişen yüzdelerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yine CPU süresi olarak

GANN yöntemi büyük boyutlu bir problem olan D5 deneyinde 57,10 sn de çözüm üretirken, GASS yöntemi 111,15 sn'de çözüm üretmektedir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde GA ile birlikte En yakın komşu+Or opt sezgiselinin kullanılması literatürde kullanılan S-shape sezgiselinden daha iyi sonuç vermektedir. 50 sipariş için GANN yönteminin vermiş olduğu çözüm detayı [EK-6](#)'da sunulmuştur.

GAS yönteminin sonuçları GANN yönteminin sonuçları ile karşılaştırıldığında daha az etkin olmakla birlikte GASS sonuçları ile karşılaştırıldığında hem çözüm kalitesi hem de çözüm süresi olarak etkin sonuçlar üretmiştir. Bu yöntemle ilgili sonuçlar değerlendirildiğinde GA ile birlikte kullanılan Kazanç+2-opt sezgiseli S-shape sezgiseline göre daha iyi sonuçlar sağlamaktadır.

Çalışmanın ikinci adımında çapraz geçitli depo sistemleri için önerilen yöntemlerin performansları analiz edilmiştir. Önerilen çözüm yöntemleri ve her bir deney için çözüm değerleri [Tablo 14](#)'de gösterilmektedir. GASS yöntemindeki S-shape klasik depo sistemleri için tasarlanan bir rotalama sezgiseli olduğu için çapraz geçitli depo sistemlerinde GASS yöntemi karşılaştırma amaçlı seçilmemiştir. GANN ve GAS yöntemleri bir önceki aşamada etkin sonuçlar sağladıkları için çapraz geçitli depo sistemlerinde de kullanılmaktadır. Yine bu aşamada RS-RV sezgiselinin etkisini analiz edebilmek için bu sezgiselin kullanılmadığı GAN yöntemi de analiz kapsamına alınmıştır.

Tabloda sunulan tüm sonuçlar değerlendirildiğinde hem çözüm kalitesi hem de CPU süresi olarak en etkin sonuçlar GANN yöntemi ile elde edilmiştir. GANN yöntemi GAS yöntemi ile karşılaştırıldığında uygunluk değeri olarak % 3,04 ile %10,14 arasında daha iyi performans göstermiştir. Yine CPU süresi olarak da GANN yöntemi GAS yöntemine göre %9,52 ile %76,19 arasında olan daha iyi sonuçlar üretmiştir.

GANN yöntemi GAN yöntemi ile karşılaştırıldığında yeni geliştirilen RS-RV kümelendirme sezgiselinin etkisi net olarak görülmektedir. GANN yöntemi GAN yöntemi ile karşılaştırıldığında tüm deneylerde uygunluk değeri olarak %0,68 ile %12,33 arasında daha etkin sonuçlar üretmiştir. Özellikle problem boyutu artan deneylerde RS-RV kümelendirme sezgiselinin etkisi daha da artarak çözüm süresini anlamlı bir düzeyde azalmaktadır. Örneğin GANN yöntemi D5 deneyini 45,87 sn de çözerken GAN yöntemi 110,91 sn de çözmektedir. İki yöntemde de rotalama için En yakın komşu+Or opt sezgiseli kullanılmasına rağmen RS-RV kümelendirme sezgiseli kullanan GANN yöntemi serbest toplulukla başlayan GAN yönteminden daha etkin performans göstermiştir. Çapraz geçitli depo yerleşiminde 50 sipariş

için GANN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayları EK-7’de, 100 sipariş için GAN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı EK-8’de sunulmuştur.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, sipariş gruplama için önerilen GA ile toplayıcı rotalama için önerilen klasik TSP sezgiseli En yakın komşu+Or opt sezgiseli hem klasik depo yerleşim düzeni hem de çapraz geçitli depo sistemleri için çözüm kalitesi ve CPU süresi açısından oldukça başarılı sonuçlar sağlamaktadır. Ayrıca tarafımızdan önerilen ve GA yöntemi için başlangıç topluluk oluşturan RS-RV kümelendirme algoritmasının da uygunluk değeri ve CPU süresi üzerinde önemli düzeyde katkısı tespit edilmiştir.

Tablo 14 Çapraz geçitli depo yerleşim düzeni için yöntemler ve çözüm değerleri

Yöntemler	Kriterler	Sipariş Sayısı				
		D1	D2	D3	D4	D5
GAS	Uygunluk Değeri (m)	326	948	1348	1672	1946
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	10,14	3,04	3,85	4,76	7,28
	CPU Süresi (sn)	0,46	3,46	17,44	36,78	80,82
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	9,52	13,82	58,26	59,64	76,19
GANN	Uygunluk Değeri (m)	298	920	1298	1596	1814
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CPU Süresi (sn)	0,42	3,04	11,02	23,04	45,87
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GAN	Uygunluk Değeri (m)	298	1010	1458	1788	2004
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	0,68	9,78	12,33	12,03	10,47
	CPU Süresi (sn)	0,98	3,98	15,63	35,65	110,91
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	133,33	30,92	41,83	54,73	141,79

4.4 Tabu Arama Algoritması Esaslı Yöntemlerin Analizi

Depo operasyonlarının yönetilmesine yönelik belirtilen birleşik problemin çözümü için önerilen Tabu Arama esaslı yöntemler, en iyi performansı sağlayan parametreler ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi bu bölümde sunulmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bildiğimiz kadarıyla sipariş gruplama problemi için TA yöntemini içeren bir çalışma mevcut değildir. Yapısal özelliğinden dolayı belirtilen problem için etkin çözüm üretmediği için bu yöntem kullanılmamıştır. Proje kapsamında

literatürde ilk defa başlangıç çözüm üreten RS-RV sezgiseli ile TA yöntemi bütünleştirilmiş ve etkin çözümler üretmesi hedeflenmiştir.

Proje kapsamında TA yöntemi ile ilgili diğer bir hedef ise GA yönteminde olduğu gibi klasik TSP sezgisellerinin TA yöntemi ile bütünleştirilerek yöntemin etkinliğini daha da artırmaktır. En yakın komşu sezgiseli gibi hızlı çözüm üreten TSP sezgiselleri TA ile birlikte daha hızlı ve etkin çözümler üretebilir. Bu nedenle TA yöntemi ile birlikte klasik TSP sezgiselleri proje kapsamında bütünleştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır:

TANO: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç çözümü RS-RV sezgiseli ile oluşturulan TA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik bir klasik TSP sezgiseli olan En Yakın komşu yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Toplayıcı rotalama probleminde yapısal sezgiselle birlikte geliştirme sezgiseli olarak Or-opt sezgiseli de kullanılmaktadır.

TASO: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç çözümü RS-RV sezgiseli ile oluşturulan TA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik diğer bir klasik TSP sezgiseli olan Kazanç sezgiseli ile bütünleştirilmiştir. Toplayıcı rotalama probleminde yapısal sezgiselle birlikte geliştirme sezgiseli olarak 2-opt sezgiseli de kullanılmaktadır.

TASS: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç çözümü rastsal olarak oluşturulan TA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik bir sezgisel olan S-shape yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Bu yöntem TA yönteminin klasik yapısı ile mevcut problem için literatürde niçin kullanılmadığını göstermek için seçilmiştir.

GASS: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç topluluğu rastsal olarak oluşturulan GA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik bir sezgisel olan S-shape yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Bu yöntem parametrik sezgiseller arasında literatürde mevcut olan en iyi GA uygulaması olduğu için önerilen yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırma amaçlı seçilmiştir.

GAN: Sipariş gruplama probleminin çözümü için başlangıç topluluğu rastsal olarak oluşturulan GA yöntemi, toplayıcı rotalama probleminin çözümüne yönelik klasik bir sezgisel olan En yakın komşu yöntemi ile bütünleştirilmiştir. Toplayıcı rotalama probleminde yapısal sezgiselle birlikte geliştirme sezgiseli olarak Or-opt sezgiseli de kullanılmaktadır. Bu yöntem özellikle çapraz geçitli depo sistemlerinde önerilen diğer yöntemlerdeki RS-RV sezgiselinin etkisini analiz için kullanılmaktadır.

4.4.1 TA Algoritması için En İyi Parametrelerin Belirlenmesi

Tabu arama algoritması da parametrik bir yöntem olduğu için en uygun parametre setinin belirlenmesi ilk adım olarak gerçekleştirilmiştir. Sipariş sayısı 200 adet olan ve 500 parçadan oluşan bir sipariş dosyası rastsal olarak oluşturulmuş ve en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır (Bakınız Ek 11). Tablo 15’de belirtilen parametre değerleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonra en iyi ortalama uygunluk değerine sahip 15 parametre grubu belirlenerek tekyönlü varyans analizi (TANOVA) testi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen parametre grupları Tablo 16’da gösterilmektedir.

Tablo 15 Deneysel çalışmada kullanılan parametre değerleri

Tabu Tenure	Dinamik / Statik
Deney tekrar sayısı	5,10
Komşu arama yöntemi	Yer Değiştirme, Yerine koyma
Tabu listesinin uzunluğu	$0.1-0.3\sqrt{n}$, $0.5-0.7\sqrt{n}$, $0.9-1.1\sqrt{n} / \sqrt{n}$
Komşu Arama Tekrar Sayısı	$n/2$, n :Sipariş sayısı
İterasyon Sayısı	n , $5*n$, $10*n$

Tablo 16 ANOVA testi için seçilen parametre grupları

Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk	Parametre Grubu	Uygunluk
72	1814	223	1988	956	1934
72	1816	223	1872	956	1992
72	1818	223	1988	956	1928
72	1824	223	1932	956	1874
72	1816	223	1918	956	1976
113	1916	247	1906	1003	1926
113	1898	247	2018	1003	1994
113	1932	247	1976	1003	1906
113	1984	247	1934	1003	1886
113	1924	247	1990	1003	1914
430	1962	370	2036	450	1902
430	1890	370	1944	450	1844
430	1962	370	1888	450	1882
430	1918	370	1996	450	1868
430	1886	370	2002	450	1904
162	1862	390	1958	460	1962
162	1958	390	1892	460	1970
162	1952	390	2012	460	1928
162	1888	390	1884	460	1992
162	1944	390	1922	460	1906

426	1958	174	1950	394	1972
426	1966	174	1916	394	1896
426	1922	174	1998	394	1902
426	1950	174	1962	394	1982
426	1984	174	1936	394	1910

4.4.2 Normallik testi

Gerçekleştirilen normallik testlerinin sonuçları [Tablo 17](#)'de sunulmaktadır. Bütün parametre grupları için anlamlılık değeri 0,05'ten büyük olduğu için verilerin normal dağılım gösterdiği ve parametrik testlerin gerçekleştirilebileceği belirlenmiştir.

Tablo 17 Normallik testi sonuçları

Grup_no	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	İstatistik	df	Anlamlılık
72	0.261	5	0.20
113	0.285	5	0.20
162	0.305	5	0.15
174	0.177	5	0.20
223	0.236	5	0.20
247	0.199	5	0.20
370	0.253	5	0.20
390	0.187	5	0.20
394	0.307	5	0.14
426	0.196	5	0.20
430	0.249	5	0.20
450	0.210	5	0.20
460	0.219	5	0.20
956	0.191	5	0.20
1003	0.292	5	0.19

4.4.3 F testi

F testi sonuçları [Tablo 18](#)'de gösterilmektedir. Anlamlılık $< 0,05$ olduğu için “en az 1 parametre grubu diğerlerinden farklıdır” hipotezi kabul edilmiştir. Hangi grubun farklı olduğunu tespit etmek için çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 18 F-test istatistiği sonuçları

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Gruplar arası	101141.5	14	7224.396	4.583077	,000
Grup içi	94579.2	60	1576.32		
Toplam	195720.7	74			

4.4.4 Çoklu karşılaştırma testleri

Bu bölümde hangi grup ortalamasının farklı olduğunu belirlemek ve ortalamaları farklı olan grupları bulmak için yine çoklu karşılaştırma testlerine başvurulmuştur. Çoklu karşılaştırma testi için Tukey HSD testi çoklu karşılaştırma testi olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu ortaya çıkan gruplar [Tablo 19](#)'da verilmektedir. 15 parametre grubu test sonucunda 2 gruba ayrılmıştır. Sadece 72 numaralı parametre grubu 1. grupta yer alırken diğer parametre grupları 2. grupta yer almaktadır. Sonuç olarak, bu parametre grubu deneylerde kullanılmak üzere en iyi parametre grubu olarak seçilmiştir.

Tablo 19 Çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Grup	N	1	2	3
72	5	1817.6		
450	5	1880	1880	
162	5		1920.8	1920.8
430	5		1923.6	1923.6
1003	5		1925.2	1925.2
113	5		1930.8	1930.8
394	5		1932.4	1932.4
390	5		1933.6	1933.6
223	5		1939.6	1939.6
956	5		1940.8	1940.8
460	5		1951.6	1951.6
174	5		1952.4	1952.4
426	5		1956	1956
247	5		1964.8	1964.8
370	5			1973,20

72 numaralı parametre grubuna ait parametre değerleri [Tablo 20](#)'de verilmiştir.

Tablo 20 Nihai TA parametre değerleri

Tabu Tenure	Dinamik
Deney tekrar sayısı	5
Komşu arama yöntemi	Yerine koyma
Tabu listesinin uzunluğu	$0.9 - 1.1\sqrt{n}$
Komşu Arama Tekrar Sayısı	n:sipariş sayısı
İterasyon Sayısı	$10*n$

4.4.5 TA Yöntemi Sonuçlarının Analizi

Önerilen TA esaslı yöntemlerin farklı deney problemleri için sonuçları ve sonuçların analizi bu bölümde sunulmaktadır. Çalışma kapsamında yöntemlerin her bir problem için elde ettiği uygunluk değeri ve CPU süreleri karşılaştırılmaktadır. Belirli bir anlamlılık seviyesinde çözüm kalitesi daha iyi olan yöntemler tespit edilmektedir.

İlk olarak klasik depo yerleşim düzeni için belirtilen farklı 5 sipariş listesi için çözümler üretilmiştir. Bir önceki bölümde olduğu gibi yöntemler, sipariş listeleri ve her bir problem için uygunluk değerleri ve çözüm süreleri **Tablo 21**'de gösterilmektedir. Yine tabloda her bir yöntem ile ilgili olarak en iyi uygunluk değerinden sapma ve en iyi CPU süresinden sapma değerleri de gösterilmektedir.

Tablo 21 Klasik Depo Yerleşim sistemi için TA sonuçları

Yöntem	Kriterler	Sipariş Sayısı				
		D1	D2	D3	D4	D5
(TASO)	Uygunluk Değeri (m)	352	1048	1414	1752	2010
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	12,82	6,72	9,61	8,96	10,80
	CPU Süresi (sn)	0,12	2,03	5,30	7,66	25,23
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	9,09	103,00	90,65	134,25	134,92
(TANO)	Uygunluk Değeri (m)	312	982	1290	1608	1814
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CPU Süresi (sn)	0,12	1,98	5,05	7,15	23,45
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	9,09	98,00	81,65	118,65	118,34
(TASS)	Uygunluk Değeri (m)	460	1232	1724	2172	2490
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	47,44	25,46	33,64	35,07	37,27
	CPU Süresi (sn)	0,11	1,00	2,78	3,27	10,74
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(GASS)	Uygunluk Değeri (m)	364	1086	1648	2020	2382
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	16,67	10,59	27,75	25,62	31,31
	CPU Süresi (sn)	1,94	29,63	104,38	195,78	444,59
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	1663,64	2863,00	3654,68	5887,16	4039,57

Sonuçlar incelendiğinde önerilen TANO ve TASO yöntemlerinin literatürdeki GASS yöntemine göre daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Özellikle TANO yöntemi tüm

problem örnekleri için en iyi uygunluk değerine sahip yöntemdir. GASS yöntemi ile TANO yönteminin sonuçları karşılaştırıldığında %10,59 ile %31,31 arasında değişen oranlarda TANO yöntemi daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Yine CPU süresi olarak iki yöntem karşılaştırıldığında tüm problem örnekleri için TANO önemli düzeyde daha iyi performans göstermiştir. Örneğin D5 nolu problem için TANO 23,45 sn de çözüm üretirken, GASS aynı problemi 444,59 sn de çözebilmektedir. D2 nolu problem için TANO yönteminin sağlanmış olduğu çözüm [EK-9](#)'da sunulmuştur.

Başlangıç çözümün rastsal olarak başlatıldığı ve S-shape sezgiselinin kullanıldığı TASS yöntemi en hızlı çözümleri sağlarken çözümlerin etkinliği en başarısız yöntem olmuştur. Sonuçların etkin olmaması belirtilen problemler için TA yönteminin kullanılmasını engellemiştir. Ayrıca bu sonuçlar başlangıç çözüm üreten RS-RV sezgiselinin TA yöntemi ile birleştirildiğinde çözümün etkinliğinde ne kadar etkili olduğunu da göstermektedir.

TASO yöntemi TANO yönteminin sağladığı sonuçlar kadar olmasa da GASS yöntemi ile karşılaştırıldığında oldukça başarılı sonuçlar üretmiştir. TASO yöntemi tüm problem örnekleri için uygunluk değeri olarak en iyi yöntemden %6,72 ile %10,80 arasında sapma gösterirken, GASS yöntemi %10,59 ile %31,31 arasında sapma göstermektedir. Yine tüm problem örnekleri için çözüm süreleri karşılaştırıldığında TASO yöntemi GASS yöntemi ile karşılaştırılmayacak kadar daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde yeni önerilen TANO ve TASO yöntemleri klasik depo yerleşim sistemleri için hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi açısından literatürde mevcut olan GASS yönteminden daha iyi performans göstermiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında çapraz geçitli depo sistemleri için önerilen TA yöntemlerinin performansları analiz edilmiştir. Önerilen çözüm yöntemleri ve her bir deney için çözüm değerleri [Tablo22](#)'de gösterilmektedir. Bir önceki aşamada etkin sonuçlar sağlayan TANO ve TASO yöntemleri ile birlikte GAN yöntemi de karşılaştırma amaçlı olarak bu bölümde incelenmiştir. GASS yöntemindeki S-shape klasik depo sistemleri için tasarlanan bir rotalama sezgiseli olduğu için, GASS yerine GA ile başarılı sonuç veren En yakın komşu sezgiseli içeren GAN yöntemi seçilmiştir.

Çapraz geçitli depo yerleşim sisteminde gerçekleştirilen deneyler sonucunda TANO yöntemi hem uygunluk değeri hem de hesaplama süresi olarak en iyi performansı göstermiştir. TANO yönteminin uygunluk değerleri GAN yöntemi uygunluk değerleri ile karşılaştırıldığında, %0 ile %14,26 arasında değişen oranlarda TANO yöntemi daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Yine TASO yöntemi TANO yöntemi sonuçlarına göre başarısız kalmakla birlikte deney problemlerinin biri hariç tamamında GAN yönteminden daha başarılı olmuştur. Özellikle CPU süresi olarak değerlendirildiğinde hem TANO hem de TASO yöntemi GAN yöntemine önemli bir üstünlük sağlamaktadır. D2 problemi için TANO yönteminin sağlamış olduğu çözüm [EK-10](#)'da detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 22. Çapraz Geçitli Depo Yerleşim Sistemi için TA Sonuçları

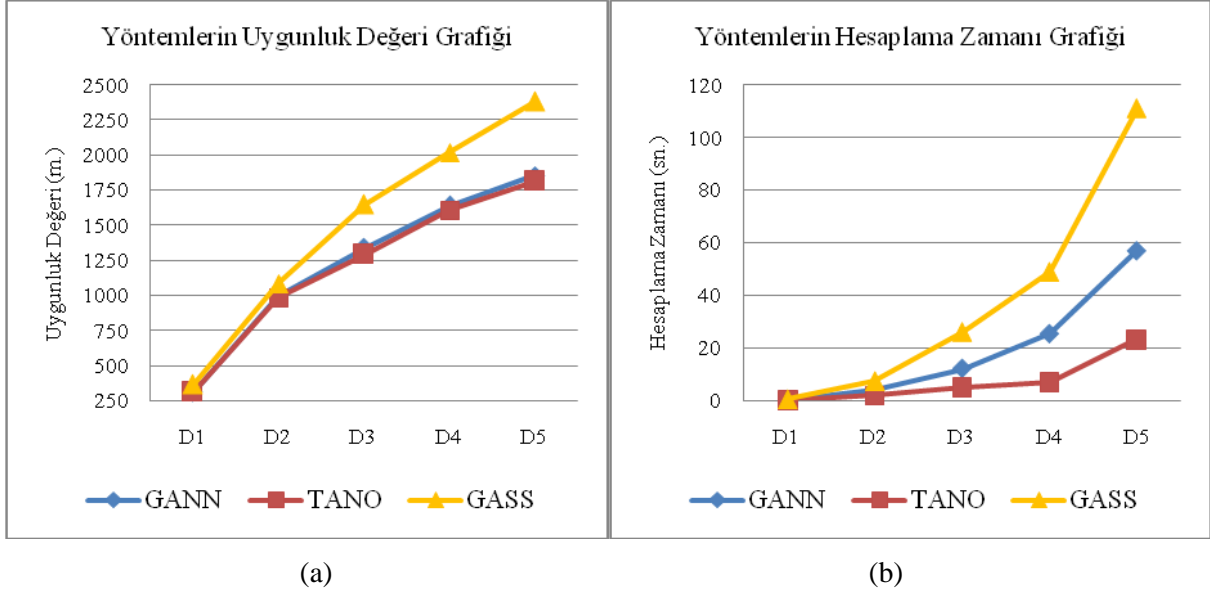
Yöntem	Kriterler	Sipariş Sayısı				
		D1	D2	D3	D4	D5
(TASO)	Uygunluk Değeri (m)	332	978	1332	1650	1864
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	11,41	5,39	4,39	5,10	4,25
	CPU Süresi (sn)	0,77	1,84	9,44	15,24	36,98
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	108,11	155,56	153,08	24,82	67,41
(TANO)	Uygunluk Değeri (m)	298	928	1276	1570	1788
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CPU Süresi (sn)	0,37	0,72	3,73	12,21	22,09
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(GAN)	Uygunluk Değeri (m)	298	1010	1458	1788	2004
	En iyi uygunluk değerinden sapma (%)	0,00	8,84	14,26	13,89	12,08
	CPU Süresi (sn)	0,98	3,98	15,63	34,65	110,91
	En iyi CPU süresinden sapma (%)	164,87	452,78	319,03	183,78	402,08

Hem klasik depo yerleşim sistemi hem de çapraz geçitli depo sistemi sonuçları topluca değerlendirildiğinde önerilen TANO ve TASO yöntemlerinin iyi performans gösterdikleri belirlenmiştir. TA esaslı yöntemlerin hızlı ve etkin sonuçlar üretmesinde başlangıç çözüm üreten RS-RV sezgiseli önemli düzeyde etki etmektedir. Yine toplayıcı rotalama problemi için önerilen sezgisellerin TA yöntemi ile bütünleştirilmesi başarılı sonuçların üretilmesinde belirgin katkılar sağlamıştır.

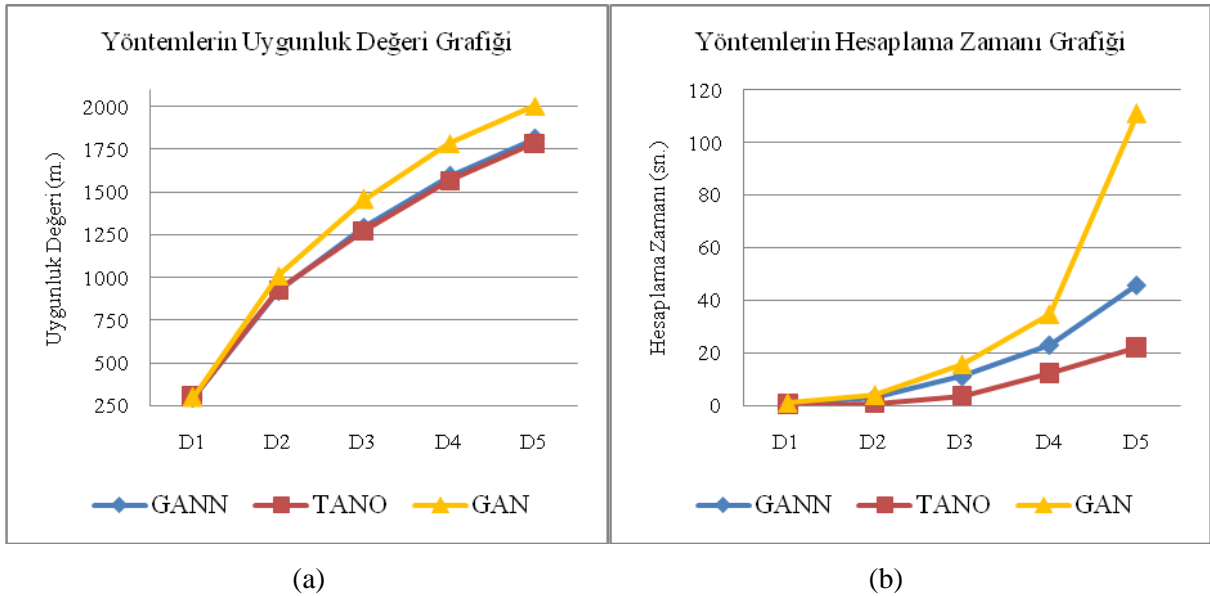
4.5 TA ve GA Yöntemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin birlikte çözümüne yönelik geliştirilen yöntemlerden en iyi olan yöntemlerle literatürde mevcut olan yöntemin farklı problem örnekleri için sonuçları bu bölümde karşılaştırılmaktadır. Öncelikle klasik depo sistemleri için önerilen GANN, TANO ve GASS yöntemlerinin sonuçları ve hesaplama süreleri [Şekil 67](#)'de gösterilmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde proje kapsamında önerilen GANN ve TANO yöntemleri literatürdeki GASS yönteminden hem uygunluk değeri hem de çözüm süresi olarak oldukça iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. GANN yöntemi sonuçları TANO yöntemi sonuçlarına yakın olmakla birlikte özellikle büyük boyutlu problemlerde hesaplama süresi olarak TANO yöntemine göre daha kötü performans göstermiştir. TA esaslı TANO yönteminin sipariş toplama problemlerine yönelik hem RS-RV sezgiselini hem de en yakın komşu+or opt sezgiselini içermesi, hızlı ve etkin çözümler üretilmesini kolaylaştırmıştır.



Şekil 67 Yöntemlerin uygunluk değeri (a) ve Hesaplama Zamanı (b) Grafiği



Şekil 68 Yöntemlerin uygunluk değeri (a) ve Hesaplama Zamanı (b) Grafiği

İkinci adımda ise çapraz geçitli depo sistemleri için önerilen ve en iyi sonuçları sağlayan yöntemlerle karşılaştırma amaçlı önerilen yöntemin farklı problem örnekleri için sonuçları

karşılaştırılmıştır. Çapraz geçitli depo yerleşim sistemi için en iyi performansa ulaşan GA esaslı GANN yöntemi, TA esaslı TANO yöntemi ve GAN yöntemi sonuçları ve hesaplama süreleri [Şekil 68](#)'de gösterilmektedir.

Çapraz geçitli depo sistemleri için geliştirilen ve en iyi sonucu sağlayan yöntemlerden TANO yöntemi hem uygunluk değeri hem de hesaplama süresi olarak en başarılı yöntemdir. TANO yönteminin yanı sıra GANN yöntemi de etkin sonuçlar üretmekle birlikte diğer GA yöntemlerine göre daha kısa hesaplama zamanlarında problemleri çözebilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda proje kapsamında önerilen GANN ve TANO yöntemlerinin klasik depo yerleşiminde olduğu gibi çapraz geçitli depo sistemlerinde de başarılı sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir.

SONUÇLAR

Sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerinin birlikte çözümü için geliştirilen çalışmalar incelendiğinde, mevcut çalışmaların çoğunun klasik depo yerleşimine (tek bloklu) yönelik olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile hem klasik depo (tek bloklu) hem de çapraz geçitli depo (çok bloklu) sistemleri için sipariş gruplama ve sipariş toplama problemlerini birlikte çözen yeni yöntemler geliştirilmiştir. Sipariş gruplama problemini etkin ve hızlı çözmek için literatürde ilk defa yeni geliştirilen rota benzerlikli (RS-RV) çekirdek algoritma, parametrik sezgisellerle (Genetik Algoritma ve Tabu Arama) bütünleştirilmiştir. Yine toplayıcı rotalama probleminin çözümü için Steiner gezgin satıcı problemine yönelik geliştirilen sezgisellerin alternatifi olarak klasik gezgin satıcı problemi için geliştirilen yapısal sezgiseller (En Yakın Komşu, Kazanç) ile geliştirme sezgisellerinin (2-opt ve or-opt) birlikte kullanıldığı yeni yöntemler önerilmektedir.

Proje kapsamında ilk olarak; Çekirdek algoritma ile başlangıç çözüme başlayan yeni parametrik yöntemlerin literatürdeki rastsal başlangıç çözüm üreten parametrik sezgisellerle karşılaştırıldığında performansları araştırılmıştır. Daha sonra toplayıcı rotalama problemi için önerilen yeni sezgisellerin parametrik sezgisellerle birlikte kullanıldığında elde edilen sonuçları analiz edilmiştir. Bu kapsamda Çekirdek algoritma ile başlangıç çözüm sağlayan TA esaslı TANO ve TASO yöntemleri ve yine başlangıç topluluğu çekirdek algoritma ile oluşturulan GA esaslı GANN ve GAS yöntemleri de geliştirilmiştir. Klasik depo yerleşim sistemi ve çapraz geçitli depo sistemi için ayrı ayrı farklı problem örnekleri test edilerek yöntemlerin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonucunda hem TA esaslı yöntemler hem de GA esaslı yöntemler hem uygunluk değeri hem de hesaplama süresi açısından literatürdeki GASS yönteminden daha iyi performans göstermiştir. RS-RV sezgiseli önerilen yöntemler için oldukça başarılı başlangıç çözüm (ler) ürettiği için hem GA esaslı yöntemlerin hem de özellikle TA esaslı yöntemlerin etkin olmasını sağlamıştır. TA esaslı yöntemlerin literatürde ilk defa belirtilen problemlere yönelik uygulaması bir anlamda yeni geliştirilen RS-RV algoritması ile sağlanmıştır.

Proje kapsamında araştırılan diğer bir konu da toplayıcı rotalama problemine yönelik önerilen yöntemlerin etkinliğinin araştırılmasıdır. Hem En yakın komşu+Or opt sezgiseli hem de Kazanç+2-opt sezgiseli literatürde mevcut olan S-shape sezgiseli ile karşılaştırıldığında her iki yöntem de mevcut olan yöntemden daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Önerilen klasik TSP sezgiselleri parametrik sezgisellerle birlikte sipariş toplama problemine uygulandığında hızlı

ve etkin sonuçlar üretmişlerdir. Özellikle En yakın komşu+Or opt sezgiseli hem TA yöntemi hem de GA yöntemi ile daha başarılı performans sergilemiştir. Tüm depo yerleşim düzenlemelerinde GANN ve TANO yöntemlerinin iyi performans göstermesi bu gerçeği ifade etmektedir.

Bu proje ile sipariş gruplama ve toplayıcı rotalama problemlerini birlikte çözen etkin ve hızlı yöntemler geliştirilmiştir. Belirtilen birleşik problemin çözümüne yönelik gelecekte yapılması planlanan çalışmalardan ilki, üç boyutlu ve farklı çapraz geçit sayısına sahip depo sistemlerinde önerilen yöntemlerin etkisini analiz etmektir. Yine lojistik faaliyetlerinin etkinliği açısından depo dışı dağıtım faaliyetleri ile depo içi toplama faaliyetlerinin birlikte çözümü de gelecekte yapılması planlanan çalışmalardandır.

KAYNAKLAR

Bozer, Y.A., Kile, J. W., 2008. Order batching in walk-and-pick order picking systems. *International Journal of Production Research*, 46 (7), 1887–1909.

Chen, M.C., Wu, H.P., 2005. An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega International Journal of Management Science* 33 (4), 333–343.

Chew, E.P., Tang, L.C., 1999. Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research* 112, 582–597.

Chisman, J.A., The Clustered Traveling Salesman Problem. *Comput. Oper. Res.*, 1975, 2,115–119.

Choe, K., Sharp, G.P., 1991. Small parts order picking: design and operation. Available on-line at: <<http://www.isye.gatech.edu/logisticstutorial/order/article.htm>> (accessed May 2005).

Clarke, G., Wright, W., 1964. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research* 12, 568–581.

Cornuejols, G., Fonlupt, J., Naddef, D., 1985. The traveling salesman problem on a graph and some related integer polyhedra. *Mathematical Programming* 33, 1–27.

Croes, G.A., 1958. A method for solving travelling salesman problems, *Operation Research* 6, 791-812.

D.R. Gibson, G.P. Sharp, 1992. Order batching procedures, *European Journal of Operational Research*, 58, 57–67.

De Koster, R., Roodbergen, K.J., Van Voorden, R., 1999a. Reduction of walking time in the distribution center of De Bijenkorf. In: Speranza, M.G., Staħly, P. (Eds.), *New Trends in Distribution Logistics*. Springer, Berlin, pp. 215–234.

De Koster, R., Van der Poort, E.S., Wolters, M., 1999b. Efficient orderbatching methods in warehouses. *International Journal of Production Research* 37 (7), 1479–1504.

Elsayed, E.A., 1981. Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing systems. *International Journal of Production Research* 19 (5), 525–535.

Elsayed, E.A., Lee, M.K., 1996. Order processing in automated storage/retrieval systems with due dates. *International Journal of Production Research* 28 (7), 567–577.

Elsayed, E.A., Lee, M.K., Kim, S., Scherer, E., 1993. Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty or order retrievals. *International Journal of Production Research* 31 (3), 727–738.

Elsayed, E.A., Stern, R.G., 1983. Computerized algorithms for order processing in automated warehousing systems. *International Journal of Production Research* 21 (4), 579–586.

Elsayed, E.A., Unal, O.I., 1989. Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research* 27, 1097–1114.

Gademann, N., Van de Velde, S., 2005. Batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions* 37 (1), 63–75.

Gen, M., Cheng, R., 1997. *Genetic algorithms and engineering design*, Wiley, New York

Gibson, D.R., Sharp, G.P., 1992. Order batching procedures. *European Journal of Operational Research* 58 (1), 57–67.

Glover, F., 1989. Tabu search part-I, *ORSA J Comput* 3, 190-206.

Hall, R.W., 1993. Distance approximation for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions*, 25, 76–87.

Helsgaun, K., 2000. An effective implementation of the Lin–Kernighan traveling salesman heuristic. *European Journal of Operational Research* 126, 106–130.

Ho, Y. C., Tseng Y. Y., 2006. A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 17, 1 September 2006, 3391–3417

Hsu, C.M., Chen, K.Y., Chen, M.C., 2005. Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry* 56 (2), 169–178.

Kulak, O., Yılmaz, I.O., Günther, H.O., 2007. PCB assembly scheduling for collect-and-place machines using genetic algorithms, *Int J Prod Res* 45, 3949-3969.

Kulak, O., Yilmaz, I.O., Günther, H.O., 2008. A GA-based solution approach for balancing printed circuit board assembly lines, *OR Spectrum* 30, 469-491.

Kusiak A, Vanelli A, Kumar KR., 1986. Clustering analysis: models and algorithms. *Control and Cybernetics*,15, 139–53.

Laporte, G., The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *Eur. J. Oper. Res.*, 1992, 59, 345–358.

Le-Duc, T., De Koster, R., 2003. An approximation for determining the optimal picking batch size for order picker in single aisle warehouses. In: Meller, R., Ogle, M.K., Peters, B.A., Taylor, G.D., Usher, J. (Eds.), *Progress in Material Handling Research: 2002*, pp. 267–286.

Makris, P.A., Giakoumakis, I.G., 2003. k-Interchange heuristic as an optimization procedure for material handling applications. *Applied Mathematical Modelling* 27, 345–358.

Or, I., 1976. Travelling salesman-type combinatorial problems and their relation to the logistics of blood banking, Dissertation, Northwestern University.

Pan, C.H., Liu, S.Y., 1995. A comparative study of order batching algorithms. *Omega International Journal of Management Science* 23 (6), 691–700.

Petersen, C.G., 1997. An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations and Production Management* 17, 1098–1111.

Ratliff, H.D., Rosenthal, A.S., 1983. Orderpicking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research* 31 (3), 507–521.

Roodbergen, K.J., De Koster, R., 2001a. Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research* 39 (9), 1865–1883.

Roodbergen, K.J., De Koster, R., 2001b. Routing order-pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research* 133, 32–43.

Rosenwein, M.B., 1994. An application of cluster analysis to the problem of locating items within a warehouse. *IIE Transactions* 26 (1), 101–103.

Tang, L.C., Chew, E.P., 1997. Order picking systems: batching and storage assignment strategies. *Computer & Industrial Engineering* 33 (3), 817–820.

TC. -Y. Tsai, Liou, J. J. H., Huang, T. -M. 2008. Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time, *International Journal of Production Research*, 46, (22), 6533 – 6555.

Theys, C., Braysy, O., Dullaert, W., Birger, R., 2010, Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses, *European Journal of Operation Research*, 200, 755-763.

Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., 2003. *Facilities Planning*. John Wiley & Sons, NJ.

Van Nieuwenhuysse, I., De Koster R.B.M., 2009. Evaluating order throughput time in 2-block warehouses with time window batching. *International Journal of Production Economics* 121, 654-664.

Vaughan, T.S., Petersen, C.G., 1999. The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. *International Journal of Production Research* 37 (4), 881–897.

Vinod HD., 1969, Integer programming and the theory of grouping. *Journal of the American Statistical Association*, 64, 506–15.

Won, J., Olafsson, S., 2005. Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International Journal of Production Research* 43 (7), 1427–1442.

EKLER

EK-1. 50'lik sipariş listesi

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları	
1	1	2	136		51				
2	1	6	3		52				
3	1	3	183		53				
4	1	8	201		54				
5	2	8	1	147	55				
6	2	4	5	11	56				
7	2	8	5	143	57				
8	1	2	23		58				
9	1	3	25		59				
10	1	3	208		60				
11	1	2	22		61				
12	2	10	128	201	62				
13	1	3	214		63				
14	2	8	15	83	64				
15	2	10	170	219	65				
16	2	11	73	108	66				
17	1	2	219		67				
18	2	2	41	155	68				
19	2	7	14	131	69				
20	2	4	10	87	70				
21	1	8	82		71				
22	2	4	100	106	72				
23	1	4	201		73				
24	2	3	33	219	74				
25	2	10	17	174	75				
26	2	5	9	102	76				
27	1	4	21		77				
28	1	3	80		78				
29	2	10	4	21	79				
30	1	8	88		80				
31	2	7	73	91	81				
32	1	3	109		82				
33	2	5	99	205	83				
34	1	6	194		84				
35	2	2	76	158	85				
36	1	4	94		86				
37	1	1	90		87				
38	1	3	140		88				
39	1	3	60		89				
40	1	2	95		90				
41	1	3	129		91				
42	2	3	72	204	92				
43	2	4	63	113	93				
44	1	4	174		94				
45	2	11	3	12	95				
46	1	4	65		96				
47	1	3	25		97				
48	1	2	101		98				
49	1	3	147		99				
50	1	8	91		100				

EK-2. 100'lük Sipariş Listesi

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
1	1	4	165			51	1	3	198		
2	2	7	260	114		52	1	2	241		
3	3	8	123	157	49	53	2	4	232	265	
4	2	7	91	249		54	3	7	66	199	26
5	1	1	188			55	2	8	67	82	
6	3	8	292	11	10	56	2	2	262	13	
7	2	6	82	242		57	2	6	75	192	
8	2	3	135	125		58	2	3	158	229	
9	3	9	289	40	238	59	3	9	208	210	60
10	1	3	249			60	3	6	9	62	181
11	1	4	88	88		61	2	7	246	178	
12	1	4	126			62	3	9	251	206	186
13	3	9	113	30	282	63	3	12	143	206	274
14	3	7	268	4	243	64	1	2	279		
15	2	6	96	212		65	3	6	141	73	85
16	2	2	103	157		66	3	8	15	25	61
17	3	8	263	272	2	67	2	3	144	181	
18	2	5	108	300		68	1	3	86		
19	3	7	267	67	75	69	3	9	234	104	281
20	3	9	39	187	169	70	2	5	263	29	
21	2	5	92	297	297	71	3	6	300	274	171
22	3	7	122	160	50	72	3	10	32	218	67
23	2	5	59	273		73	3	11	39	88	114
24	3	6	10	297	182	74	1	1	38		
25	1	2	233			75	1	3	294		
26	3	6	1	22	127	76	1	2	37		
27	1	2	286			77	1	1	171		
28	3	10	120	2	35	78	1	3	129		
29	1	3	32			79	3	8	193	225	137
30	2	8	166	48		80	1	3	45		
31	2	7	190	257		81	2	2	112	38	
32	1	1	268			82	1	2	179		
33	1	4	291			83	1	1	254		
34	1	2	269			84	2	5	113	292	
35	3	7	56	180	160	85	1	4	151		
36	3	8	182	61	176	86	1	2	130		
37	1	3	115			87	3	6	168	157	59
38	3	7	134	57	159	88	2	3	128	17	
39	2	5	109	226		89	3	9	210	122	246
40	1	2	163			90	3	7	52	219	7
41	3	7	250	26	97	91	1	1	158		
42	3	6	63	128	288	92	2	4	128		
43	3	6	92	195	286	92	2	6	33	225	42
44	2	5	174	259		94	2	2	155	136	
45	1	4	212			95	2	5	208	110	
46	1	2	222			96	2	5	36	196	
47	1	3	246			97	2	4	216	251	
48	2	5	289	118		98	2	7	245	114	
49	1	1	253			99	2	5	79	220	
50	3	9	188	206	257	100	3	9	11	218	50

EK-3. 150'lik Sipariş Listesi

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
1	1	3	215			51	2	4	123	168	
2	3	10	34	32	127	52	2	5	112	245	
3	2	4	18	269		53	2	2	159	87	
4	3	9	260	277	174	54	3	7	293	21	263
5	3	7	123	210	230	55	2	2	277	258	
6	2	7	194	68		56	2	6	246	122	
7	1	4	201			57	2	7	284	120	
8	2	3	128	159		58	1	4	61		
9	1	4	276			59	1	4	174		
10	1	1	159			60	2	5	202	13	
11	1	4	11			61	1	4	240		
12	2	8	53	131		62	2	6	118	52	
13	3	9	142	270	32	63	3	10	156	49	214
14	2	7	243	93		64	3	3	100	13	267
15	2	4	224	261		65	1	1	191		
16	1	4	94			66	3	7	293	233	284
17	2	5	49	204		67	3	5	290	36	159
18	2	7	26	48		68	2	5	110	218	
19	1	3	123			69	3	9	149	193	16
20	2	7	34	185		70	2	4	237	234	
21	3	10	88	107	115	71	2	5	275	231	
22	3	10	48	67	128	72	2	7	28	114	
23	1	3	224			73	2	4	141	45	
24	1	1	63			74	3	6	228	201	102
25	1	2	232			75	2	3	101	241	
26	3	10	45	214	281	76	2	7	45	186	
27	2	6	169	67		77	1	3	83		
28	3	5	51	122	44	78	2	8	151	29	
29	1	2	10			79	2	3	299	222	
30	3	10	121	286	165	80	1	2	1		
31	3	10	7	12	68	81	1	4	88		
32	1	4	121			82	1	2	33		
33	2	2	112	253		83	3	9	157	281	197
34	3	5	246	58	262	84	1	1	277	277	
35	3	9	178	187	96	85	2	3	15	222	
36	2	4	115	264		86	3	8	33	80	24
37	3	9	153	209	32	87	2	7	89	291	
38	3	8	9	245	135	88	1	3	83		
39	1	2	150			89	1	4	165		
40	3	8	85	32	185	90	3	8	100	167	108
41	3	6	190	95	269	91	3	3	261	254	219
42	2	8	151	202		92	1	4	170		
43	2	6	249	45		93	2	5	125	80	
44	2	7	186	122		94	1	4	212		
45	3	7	123	290	252	95	1	3	25		
46	3	4	226	97	195	96	2	4	184	73	
47	2	4	167	277		97	2	5	33	215	
48	2	5	95	197		98	3	6	153	112	23
49	1	2	207			99	3	9	92	6	81
50	2	5	86	222		100	3	5	286	163	138

150'lik Sipariş Listesinin devamı

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
101	1	4	108			151					
102	3	8	29	136	32	152					
103	1	1	102			153					
104	3	6	261	12	230	154					
105	3	8	67	76	14	155					
106	1	4	170			156					
107	3	6	125	77	250	157					
108	3	7	62	154	78	158					
109	1	2	74			159					
110	3	7	105	128	272	160					
111	3	8	227	168	98	161					
112	1	2	110			162					
113	3	4	234	277	105	163					
114	2	3	78	279		164					
115	2	6	124	121		165					
116	2	6	113	198		166					
117	1	2	234			167					
118	2	3	128	217		168					
119	2	2	263	22		169					
120	2	5	272	97		170					
121	3	5	214	277	63	171					
122	3	6	40	293	275	172					
123	1	3	183			173					
124	1	1	221			174					
125	3	7	273	274	30	175					
126	3	10	257	211	165	176					
127	1	3	289			177					
128	3	9	265	21	224	178					
129	2	5	114	283		179					
130	2	5	66	160		180					
131	3	7	37	69	126	181					
132	1	1	181			182					
133	2	4	279	213		183					
134	2	3	221	221	293	184					
135	2	5	137	260		185					
136	2	4	297	75		186					
137	1	2	182			187					
138	3	4	220	69	40	188					
139	3	7	297	34	76	189					
140	1	4	46			190					
141	2	5	148	81		191					
142	3	4	70	251	90	192					
143	3	4	42	63	287	193					
144	1	4	16			194					
145	2	5	176	86		195					
146	3	9	249	108	148	196					
147	3	8	173	4	107	197					
148	1	2	75			198					
149	2	4	17	132		199					
150	3	7	174	223	112	200					

EK-4. 200'lük sipariş listesi

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
1	1	3	266			51	2	7	206		
2	1	3	294			52	2	5	128	89	
3	2	5	1	81		53	3	9	214	156	107
4	1	2	152			54	1	2	5		
5	1	3	190			55	1	4	146		
6	1	2	110			56	3	7	241	7	92
7	2	5	197	17		57	2	7	173	243	
8	3	7	209	28	191	58	3	7	67	75	56
9	2	8	270	21		59	2	5	94	189	
10	3	9	104	255	243	60	2	5	5	71	
11	1	3	9			61	2	7	227	20	
12	3	8	46	258	224	62	1	1	258		
13	3	7	58	269	212	63	3	6	4	198	103
14	2	6	16	50		64	1	2	226		
15	3	7	136	247	54	65	3	6	292	297	42
16	3	4	75	141	112	66	1	2	176		
17	3	8	5	255	67	67	2	4	181	218	
18	3	4	111	267	152	68	1	1	219		
19	3	7	253	74	79	69	1	3	26		
20	1	2	222			70	1	1	189		
21	1	1	105			71	3	7	145	218	1
22	3	7	40	143	171	72	1	1	105		
23	2	4	211	125		73	1	2	128		
24	1	1	58			74	2	3	42	278	
25	1	4	192			75	3	6	161	176	92
26	3	7	90	284	246	76	3	11	257	115	61
27	2	8	164	52		77	2	3	31	184	
28	2	6	86	132		78	2	4	69	129	
29	3	9	86	187	289	79	3	11	67	289	166
30	2	7	113	175		80	2	4	129	106	
31	2	3	137	84		81	2	4	38	25	
32	2	4	173	172		82	2	4	62	234	
33	2	3	283	158		83	3	5	224	72	138
34	2	6	140	25		84	3	8	272	84	118
35	2	8	274	131		85	3	9	227	113	42
36	1	2	229			86	1	3	127		
37	2	8	291	164		87	3	7	300	240	70
38	3	9	14	73	92	88	3	9	29	192	63
39	3	4	267	69	75	89	1	3	246		
40	1	2	145			90	3	7	222	111	131
41	2	3	7	220		91	3	9	80	57	156
42	3	7	234	283	92	92	2	8	298	43	
43	1	1	199			93	2	3	22	252	
44	1	4	126			94	1	1	100		
45	2	6	81	249		95	2	5	187	255	
46	3	9	185	68	85	96	3	6	117	50	109
47	1	2	290			97	1	3	71		
48	1	4	243			98	1	4	94		
49	3	7	213	38	139	99	1	1	137		
50	2	6	160	298	183	100	3	8	151	161	289

200'lük Sipariş Listesinin devamı

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
101	1	3	173			151	3	7	29	90	297
102	1	1	285			152	1	1	259		
103	2	3	124	90		153	3	5	5	23	148
104	2	6	162	35		154	1	3	81		
105	2	4	14	78		155	3	12	88	291	34
106	3	5	271	63	255	156	3	6	157	172	245
107	1	2	5			157	1	3	2		
108	1	1	262			158	1	3	185		
109	2	5	63	186		159	1	2	223		
110	2	2	58	172		160	3	5	159	266	278
111	2	5	281	300		161	3	7	148	16	159
112	2	6	282	37		162	3	8	26	196	226
113	2	8	91	238		163	2	6	174	152	
114	2	5	225	172		164	1	4	151		
115	2	3	7	278	209	165	1	1	159		
116	2	5	35			166	1	1	267		
117	2	6	247	280		167	3	9	5	289	257
118	2	4	200	8	8	168	1	2	110		
119	3	6	31	24	251	169	3	5	96	300	50
120	3	11	236	186	48	170	3	5	30	85	171
121	1	2	42			171	3	8	192	161	35
122	1	3	66			172	2	5	13	201	
123	2	7	132	227		173	1	1	100		
124	2	2	256	267		174	1	1	184		
125	3	10	49	123	35	175	3	6	177	141	72
126	3	6	77	48	117	176	2	7	6	48	
127	2	7	11	81		177	3	4	261	100	232
128	3	6	263	95	52	178	3	7	251	291	27
129	1	3	86			179	2	6	295	1	
130	1	1	254			180	2	7	192	92	
131	3	9	150	170	107	181	2	5	295	251	
132	3	9	74	67	14	182	3	6	159	121	263
133	2	4	150	128		183	2	4	155	173	
134	1	2	50			184	1	3	193		
135	3	5	137	148	163	185	2	7	123	212	
136	2	2	155	254		186	2	7	236	91	
137	1	3	224			187	1	2	292		
138	2	6	215	25		188	1	3	134		
139	2	4	14	168		189	2	4	273	294	
140	2	3	148	102		190	1	4	11		
141	2	5	45	64		191	3	9	48	267	177
142	2	3	204	179		192	2	5	41	29	
143	1	4	146			193	2	7	154	208	
144	1	4	280			194	3	9	26	14	288
145	1	2	283			195	2	2	111	195	
146	3	8	70	223	227	196	2	5	169	9	
147	1	1	251			197	2	3	159	279	
148	2	3	110	23		198	2	6	28	200	
149	2	4	294	285		199	2	6	143	286	
150	3	9	113	130	153	200	2	4	76	193	

EK-5. 250'lik sipariş listesi

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
1	1	3	132			51	3	11	164	166	214
2	3	7	195	86	203	52	2	5	192	220	
3	1	3	81			53	3	9	190	113	83
4	2	6	211	154		54	3	9	75	180	
5	2	7	249	49		55	1	2	31		
6	3	4	232	168	195	56	3	9	59	38	180
7	2	5	137	154		57	1	2	233		
8	1	1	112			58	1	3	93		
9	3	11	67	81	116	59	2	4	182	36	
10	3	8	103	210	212	60	3	10	19	43	36
11	2	3	10	78		61	3	11	165	67	123
12	1	3	81			62	3	5	76	30	130
13	2	4	36	247		63	1	4	11		
14	3	8	14	171	29	64	1	4	39		
15	1	2	75			65	1	3	185		
16	2	4	93	117		66	2	6	28	209	
17	1	1	141			67	2	7	170	187	
18	2	4	69	210		68	2	4	102	73	
19	3	4	181	209	78	69	3	6	60	213	76
20	3	8	231	84	162	70	2	5	87	52	
21	2	6	127	6		71	2	5	139	103	
22	3	11	46	98	206	72	2	4	173	239	
23	2	7	203	68		73	1	4	88		
24	1	3	73			74	2	8	180	49	
25	1	2	110			75	3	10	99	108	25
26	2	2	72	133		76	2	5	60	223	
27	3	8	112	212	14	77	3	9	143	89	37
28	1	1	106			78	3	8	221	98	227
29	3	4	138	160	133	79	1	2	62		
30	3	9	131	225	105	80	3	8	14	117	146
31	1	1	87			81	1	4	170		
32	3	5	217	162	23	82	1	4	48		
33	1	3	81			83	3	6	191	102	61
34	2	6	9	246		84	2	3	65	17	
35	3	8	246	162	207	85	2	4	228	98	
36	1	3	98			86	1	1	105		
37	2	6	187	114		87	1	4	79		
38	3	10	169	131	49	88	2	4	96	148	
39	2	4	37	211		89	1	1	105		
40	3	5	163	239	36	90	3	7	230	79	200
41	2	3	30	69		91	2	7	12	114	
42	1	4	197			92	3	7	82	239	7
43	1	3	81			93	1	1	38		
44	3	7	33	37	214	94	2	3	7	78	
45	1	3	190			95	1	3	80		
46	1	2	149			96	2	7	73	146	
47	3	5	187	188	219	97	3	7	226	126	133
48	2	3	223	55		98	1	1	97		
49	1	3	215			99	3	5	219	234	222
50	2	8	175	212		100	1	1	38		

250'lik sipariş listesinin devamı

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
101	2	2	76	188		151	1	3	193		
102	2	6	80	156		152	2	4	30	37	
103	2	5	128	99		153	2	5	227	41	
104	3	5	248	47	138	154	3	8	115	157	197
105	3	9	103	68	54	155	1	2	125		
106	2	6	190	45		156	2	6	108	160	
107	3	7	189	187	210	157	2	7	32	79	
108	3	8	173	206	58	158	2	5	68	195	
109	2	5	176	66		159	3	10	116	143	152
110	2	4	159	66		160	3	5	8	56	85
111	2	5	43	72		161	3	9	238	11	219
112	2	5	225	106		162	1	2	40		
113	3	6	108	205	219	163	1	3	215		
114	2	7	246	202		164	3	10	249	202	98
115	3	4	97	72	96	165	2	8	139	116	
116	2	5	125	127		166	3	9	191	68	82
117	1	3	32			167	2	3	184	232	
118	2	6	210	99		168	2	5	218	118	
119	2	7	216	154		169	2	2	141	100	
120	2	5	36	190		170	1	1	41		
121	3	5	242	102	40	171	1	4	175		
122	1	1	136			172	3	10	127	12	162
123	2	6	6	107		173	3	9	238	107	18
124	1	4	54			174	1	1	141		
125	3	9	49	231	232	175	3	10	3	113	166
126	1	2	96			176	3	6	141	230	48
127	3	9	216	10	192	177	2	6	215	98	
128	2	5	119	119	236	178	1	3	92		
129	2	3	111	33		179	3	8	213	147	129
130	1	4	164			180	2	6	110	146	
131	2	5	120	220		181	3	7	65	159	186
132	2	5	219	180		182	1	1	117		
133	3	9	103	131	227	183	1	1	138		
134	3	8	73	11	38	184	2	5	19	171	
135	3	9	164	125	231	185	2	3	181	150	
136	2	8	243	28		186	1	1	217		
137	3	5	105	130	234	187	1	4	91		
138	1	2	152			188	1	2	10		
139	1	2	75			189	3	7	83	161	127
140	1	4	175			190	2	8	177	21	
141	2	6	233	19		191	2	3	124	155	
142	2	5	226	114		192	3	8	5	49	234
143	3	7	247	173	207	193	3	10	37	186	68
144	3	10	127	198	238	194	3	7	50	24	84
145	2	5	241	162		195	2	3	247	188	
146	1	3	129			196	1	3	129		
147	1	2	42			197	3	7	241	46	13
148	1	2	110			198	1	2	150		
149	3	7	244	173	191	199	2	7	116	20	
150	3	9	226	190	154	200	1	3	187		

250'lik sipariş listesinin devamı

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
201	3	9	142	86	11	251					
202	3	10	237	48	108	252					
203	1	2	144			253					
204	1	2	64			254					
205	3	4	51	111	226	255					
206	1	1	95			256					
207	3	6	219	125	122	257					
208	2	8	39	120		258					
209	1	1	77			259					
210	2	5	172	197		260					
211	2	2	161	181		261					
212	3	8	31	129	25	262					
213	2	8	174	197		263					
214	3	7	170	74	117	264					
215	3	8	230	68	25	265					
216	3	9	133	59	177	266					
217	1	2	247			267					
218	3	5	124	247	58	268					
219	1	2	31			269					
220	1	2	233			270					
221	1	3	156			271					
222	3	9	73	163	68	272					
223	2	7	190	243		273					
224	2	4	99	111		274					
225	1	2	182			275					
226	2	7	173	225		276					
227	2	4	216	117		277					
228	3	10	250	151	185	278					
229	2	7	210	225		279					
230	2	5	36	6		280					
231	2	6	74	151		281					
232	3	6	204	45	18	282					
233	2	5	214	124		283					
234	1	1	133			284					
235	2	3	222	184		285					
236	1	1	51			286					
237	3	9	123	18	192	287					
238	1	1	136			288					
239	3	7	6	228	123	289					
240	3	6	142	31	33	290					
241	3	11	98	192	68	291					
242	2	4	62	128		292					
243	3	6	236	47	18	293					
244	1	3	3			294					
245	2	5	126	72		295					
246	1	2	213			296					
247	1	4	43			297					
248	1	1	77			298					
249	3	7	250	2	161	299					
250	2	4	247	27		300					

EK-6 Klasik depo yerleşiminde 50 sipariş için GANN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı

Gruplama		Toplama	
Grup No	Grup içerisinde yer alan siparişler	Toplama noktalarının dolaşım sırası	Toplam Mesafe (m)
1	2, 8, 9, 11, 27, 29, 45, 47	12→3→4→21→22→23→25	30
2	5, 6, 7, 14, 16, 20, 21, 22, 25, 26, 31, 32, 36, 39, 40, 43, 44, 48, 50	1→5→17→9→10→50→60→100→87→95→94→83→82→91→101→102→113→106→108→109→110→150→147→143→174→73→63	128
3	1, 3, 4, 10, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 23, 24, 28, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 41, 42, 46, 49	33→41→72→65→76→80→90→99→88→140→129→128→136→131→155→147→158→170→219→208→205→214→204→201→183→194	152

Toplam Dolaşım Mesafesi 310

EK-7 Çapraz geçitli depo yerleşiminde 50 sipariş için GANN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı

Gruplama		Toplama	
Grup No	Grup içerisinde yer alan siparişler	Toplama noktalarının dolaşım sırası	Toplam Mesafe (m)
1	2, 5, 6, 7, 14, 16, 18, 19, 21, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 40, 46, 48, 49, 50	5→3→1→41→73→65→76→95→94→83→82→91→101→131→143→155→147→158→150→140→110→109→108→90→50	114
2	1, 3, 4, 10, 12, 13, 15, 17, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 33, 34, 39, 41, 42, 43, 44	17→9→10→60→80→100→99→88→87→106→113→102→136→128→129→170→174→194→183→201→214→204→205→208→219→63→72→33	160
3	8, 9, 11, 27, 29, 45, 47	4→3→12→21→22→23→25	24

Toplam Dolaşım Mesafesi **298**

EK-8 Çapraz geçitli depo yerleşiminde 100 sipariş için GAN yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı

Gruplama		Toplama	
Grup No	Grup içerisinde yer alan siparişler	Toplama noktalarının dolaşım sırası	Toplam Mesafe (m)
1	7, 14, 31, 33, 49, 52, 53, 62, 63, 64, 67, 69, 71, 75, 77, 80, 81, 83, 85, 90, 93, 97	4→7→38→45→52→42→82→112→104→144→143→151→171→181→186→190→219→206→216→225→234→232→241→251→242→243→253→254→257→265→274→268→279→300→294→291→281	214
2	4, 6, 13, 15, 17, 19, 23, 43, 45, 55, 56, 57, 65, 70, 84, 89	13→2→11→10→30→29→59→75→73→67→96→85→92→82→91→113→122→141→192→195→212→210→249→246→267→263→273→272→262→292→282→286	216
3	9, 11, 18, 21, 24, 25, 27, 32, 34, 36, 42, 46, 48, 60, 66, 73, 76, 79, 88, 98	15→17→9→10→40→39→37→25→63→62→61→92→88→114→108→118→137→128→176→193→182→181→222→233→225→238→245→268→269→300→289→288→297→286	200
4	8, 12	125→135→126	56
5	1, 2, 3, 10, 16, 20, 22, 35, 37, 38, 40, 41, 44, 47, 50, 51, 61, 68, 74, 82, 87	26→38→39→50→49→59→57→56→86→97→115→114→103→122→123→134→157→159→160→180→169→179→178→168→165→174→163→187→188→198→206→246→257→249→259→260→250	164
6	5, 26, 28, 29, 30, 39, 54, 58, 59, 72, 78, 86, 91, 92, 94, 95, 96, 99, 100	2→1→1122→32→33→35→26→36→48→60→50→79→67→66→109→120→110→130→129→128→127→136→155→158→166→196→188→199→210→220→208→218→226→229	160

Toplam Dolaşım Mesafesi **1010**

EK-9 Klasik depo yerleşiminde 100 sipariş için TANO yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı

Gruplama		Toplama	
Grup No	Grup içerisinde yer alan siparişler	Toplama noktalarının dolaşım sırası	Toplam Mesafe (m)
1	2, 10, 15, 16, 17, 23, 32, 34, 41, 47, 56, 59, 63, 65, 70, 81, 83, 89, 97, 98, 100	11→2→13→26→38→29→60→50→59→97→96→85→112→103→114→122→141→143→157→210→208→218→206→216→212→251→254→245→246→249→260→250→269→268→274→263→273→272→262→73	202
2	6, 9, 13, 14, 18, 19, 24, 27, 37, 39, 42, 48, 49, 52, 57, 58, 60, 64, 67, 69, 75, 86, 91	11→4→9→10→40→30→67→75→63→62→113→104→115→108→118→109→130→128→158→144→181→182→192→234→226→238→229→279→268→267→300→289→288→297→286→294→292→282→281→241→243→253	208
3	11, 55, 68, 73, 74, 76	37→38→39→67→88→86→82→114	82
4	1, 4, 7, 21, 31, 33, 36, 40, 43, 44, 50, 53, 61, 62, 71, 84	61→91→82→92→113→171→163→174→165→176→178→190→188→186→195→182→206→232→251→242→246→257→249→259→300→297→286→292→291→274→265	198
5	3, 8, 12, 22, 29, 30, 35, 38, 77, 78, 80, 82, 85, 87, 94	32→45→56→57→48→49→59→50→129→126→136→125→135→134→123→122→151→155→157→159→160→180→179→168→166→171	116
6	5, 20, 25, 26, 28, 45, 46, 51, 54, 66, 72, 79, 88, 90, 92, 93, 95, 96, 99	1→2→15→17→7→39→26→36→35→25→33→22→32→52→42→61→66→67→79→120→110→128→127→137→169→199→188→198→187→196→193→212→218→208→219→220→225→233→222	176

Toplam Dolaşım Mesafesi **982**

EK-10 Çapraz geçitli depo yerleşiminde 100 sipariş için TANO yönteminin vermiş olduğu çözümün detayı

Gruplama		Toplama	
Grup No	Grup içerisinde yer alan siparişler	Toplama noktalarının dolaşım sırası	Toplam Mesafe (m)
1	5, 8, 11, 12, 16, 20, 30, 35, 36, 37, 51, 54, 55, 57, 73, 78, 80, 81, 82, 87, 88, 96	17→26→36→38→39→59→48→56→45→66→67→75→61→82→88→115→114→103→112→125→135→126→128→129→160→157→166→176→168→169→179→180→199→188→198→187→196→182→192	158
2	4, 6, 18, 21, 24, 31, 39, 42, 43, 48, 50, 60, 65, 75, 79, 86, 89, 90	7→9→10→11→52→62→63→73→91→92→85→108→118→109→130→128→137→122→141→181→182→193→195→188→190→210→219→206→226→225→246→257→249→300→289→288→297→286→294→292	210
3	1, 2, 9, 13, 23, 27, 33, 40, 41, 44, 58, 61, 69, 70, 71, 77, 84, 98	26→29→40→30→59→97→114→104→113→158→165→174→163→171→178→29→238→234→246→245→259→260→250→300→289→286→282→292→291→281→273→263→274	198
4	3, 15, 22, 26, 28, 38, 45, 59, 66, 67, 72, 85, 91, 92, 94, 95, 99, 100	15→2→1→11→22→32→33→35→25→57→49→50→60→79→67→96→120→110→128→127→136→134→123→122→151→144→155→157→158→159→160→210→220→208→218→212→181→61	160
5	7, 10, 14, 17, 19, 25, 32, 34, 46, 47, 49, 52, 53, 56, 62, 63, 64, 68, 83, 93, 97	4→13→2→42→75→67→86→82→143→186→206→216→225→233→222→232→241→251→242→243→253→254→246→249→269→279→268→267→265→274→263→272→262	176
6	29, 74, 76	37→38→32	26

Toplam Dolaşım Mesafesi **928**

EK-11. GA ve TA İçin Test Sipariş Listesi

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
1	2	3	3	229		51	3	2	11	111	49
2	3	5	35	40	138	52	1	5	25		
3	3	7	239	157	139	53	2	7	115	79	
4	1	6	170			54	1	0	84		
5	3	5	144	77	66	55	3	5	73	44	39
6	3	5	59	95	135	56	1	7	36		
7	1	7	111			57	2	6	59	68	
8	2	6	81	39		58	3	6	45	27	80
9	3	6	76	73	225	59	1	4	43		
10	1	7	60			60	3	3	36	75	44
11	3	5	143	180	134	61	3	3	73	89	69
12	3	7	165	245	57	62	1	7	83		
13	2	5	122	110		63	3	6	63	58	94
14	2	4	139	96		64	2	1	71	52	
15	3	6	135	85	118	65	3	4	69	47	62
16	3	6	120	184	27	66	2	6	63	91	
17	2	5	23	212		67	3	5	20	103	15
18	3	5	169	175	166	68	3	2	84	87	83
19	3	6	195	143	194	69	3	4	96	73	95
20	1	7	229			70	3	4	111	33	91
21	3	7	183	27	37	71	3	1	91	21	26
22	2	7	98	136		72	2	7	53	70	
23	1	6	184			73	3	5	91	34	31
24	3	5	217	218	199	74	3	6	105	106	98
25	2	5	166	62		75	3	4	83	37	26
26	3	4	101	133	165	76	3	4	54	68	82
27	1	7	171			77	2	5	85	19	
28	3	5	110	205	55	78	3	2	58	100	34
29	2	5	228	37		79	3	5	110	26	15
30	3	7	102	17	141	80	1	5	55		
31	3	6	14	220	63	81	3	5	16	107	37
32	3	7	223	90	76	82	3	5	108	49	43
33	1	6	98			83	3	6	53	20	48
34	3	5	47	85	236	84	3	6	31	47	114
35	3	7	58	187	113	85	3	6	35	92	59
36	3	6	215	182	108	86	3	5	105	90	57
37	1	5	33			87	3	9	24	118	112
38	3	7	229	220	141	88	3	2	111	107	72
39	3	5	67	230	32	89	3	8	39	111	24
40	3	6	48	231	123	90	3	3	31	112	64
41	1	7	92			91	3	7	50	108	85
42	3	6	39	225	161	92	1	4	27		
43	3	6	137	165	180	93	3	4	70	83	89
44	1	7	72			94	3	2	41	18	76
45	1	6	185			95	3	4	91	56	100
46	2	7	179	19		96	3	6	89	18	43
47	3	7	197	29	103	97	3	6	97	23	55
48	3	6	64	87	67	98	3	2	38	48	39
49	2	4	62	158		99	3	6	37	80	55
50	2	6	239	16		100	3	4	115	17	107

GA ve TA İçin Test Sipariş Listesinin devamı

Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları			Sipariş No	Parça Sayısı	Top. Ağırlık	Parçaların Konumları		
101	3	1	26	184	87	151	3	2	52	73	248
102	1	8	48			152	1	3	149		
103	3	4	190	133	121	153	3	8	116	128	80
104	3	7	142	182	187	154	3	5	247	209	244
105	1	8	124			155	1	3	143		
106	3	9	65	90	118	156	3	2	142	218	169
107	3	7	102	115	119	157	3	7	218	144	100
108	1	5	80			158	3	5	76	172	247
109	3	8	77	75	180	159	2	4	139	195	
110	3	9	66	128	79	160	3	7	211	94	223
111	3	2	124	150	117	161	1	3	222		
112	1	8	139			162	3	7	106	152	93
113	3	4	109	100	157	163	3	3	61	225	102
114	3	5	121	91	62	164	3	2	139	200	77
115	3	1	118	83	106	165	2	6	230	217	
116	3	2	108	152	43	166	3	6	116	244	100
117	2	4	40	172		167	3	3	222	63	193
118	2	6	142	146		168	3	3	116	100	120
119	3	4	159	124	159	169	1	5	142		
120	3	1	184	61	153	170	3	7	225	137	177
121	3	4	152	43	50	171	3	6	101	177	156
122	1	4	92			172	1	7	241		
123	3	9	152	63	59	173	3	4	63	208	174
124	3	8	175	176	163	174	2	2	99	61	
125	3	7	140	68	51	175	3	3	93	177	70
126	3	7	95	117	139	176	3	2	240	227	150
127	3	2	143	39	184	177	1	7	103		
128	1	6	101			178	3	3	183	85	152
129	3	8	183	50	33	179	3	3	58	247	189
130	3	2	95	36	122	180	1	6	241		
131	2	5	34	177		181	3	6	113	111	213
132	3	3	179	87	77	182	3	7	190	201	66
133	3	2	92	41	85	183	3	5	92	108	211
134	3	5	57	83	188	184	1	4	54		
135	3	3	65	155	103	185	3	7	235	119	221
136	2	5	174	151		186	3	4	212	190	176
137	3	1	47	195	186	187	3	3	232	188	163
138	3	5	183	177	122	188	1	7	178		
139	3	2	71	184	47	189	3	3	242	62	186
140	2	4	58	185		190	3	6	70	120	156
141	2	7	88	179		191	3	6	109	111	88
142	3	7	51	181	136	192	3	4	228	235	91
143	2	4	120	139		193	1	5	121		
144	3	5	74	38	129	194	3	7	79	58	96
145	3	8	153	97	166	195	3	4	91	177	195
146	1	3	149			196	3	6	153	228	98
147	3	8	161	45	96	197	1	7	85		
148	3	4	69	85	71	198	3	6	236	53	217
149	2	4	67	134		199	3	2	101	159	240
150	3	9	190	36	178	200	3	6	168	178	162