

**ARAS KARGO ANKARA BÖLGESİ
ANA TRANSFER MERKEZİ ÇİZELGELEMESİ VE
ARAÇ ÇIKIŞ ZAMANLARI KOORDİNASYONU**

ONUR DİKMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2010
ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver KAYNAK
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Ömer SAATÇIOĞLU
Anabilim Dalı Başkanı

Onur DİKMEN tarafından hazırlanan ARAS KARGO ANKARA BÖLGESİ ANA TRANSFER MERKEZİ ÇİZELGELEMESİ VE ARAÇ ÇIKIŞ ZAMANLARI KOORDİNASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜLTEKİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Murat ÖZBAYOĞLU

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Onur DİKMEN

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Aralık 2010

Onur DİKMEN

ARAS KARGO ANKARA BÖLGESİ ANA TRANSFER MERKEZİ ÇİZELGELEMESİ VE ARAÇ ÇIKIŞ ZAMANLARI KOORDİNASYONU

ÖZET

Parsel taşımacılığıyla ilgili problemler literatürde ağırlıklı olarak son yıllarda incelenen bir konudur. İncelenen problemler genel olarak istenilen hizmet seviyeleri için araç rotalarının belirlenmesi, ağ tasarımı, konsolidasyon kararları, şube ve transfer merkezlerinin operasyonel planlaması üzerinedir. Bu çalışmada, Aras Kargo'nun Ankara ana transfer merkezinde, boşaltma kapılarına gelen şube araçlarının çizelgelenmesi incelenmiştir. Amaç, ağırlıklandırılmış araç çıkış zamanlarının maksimize edecek şekilde, araç çıkış zamanlarını ve araçların kapılardaki çizelgelerini belirleyebilmektir. Temel kısıt ise tüm araçların belirlenen hedef kapanış saatine kadar boşaltılmasıdır. Vaka probleminin modellenmesinde tamsayı programlama kullanılmıştır. Farklı güvenlik düzeyleri için oluşturulan modellerin formülasyonunda, literatürde olan paralel makine çizelgeleme problemi için oluşturulan bir model baz alınmıştır. Problemin büyük yapıda olmasından dolayı, modelin gevşetilmesine dayanan iki aşamalı bir sezgisel çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Sezgisel, ilk aşamada boşaltma kapılarına atama problemini modelin doğrusal gevşetmesini kullanarak, ikinci aşamada da her bir kapı için çizelgeleme problemini çözmektedir. Sezgisel yaklaşımın etkinliği sayısal deneylerle gösterilmiştir. Ek olarak, sistemin içinde barındırdığı belirsizliğin etkilerini gözlemleyebilmek ve kuyruk oluşumunun dinamik yapısını içermek amacıyla bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Bu simülasyon modeliyle şube kapanış zamanlarındaki sarkmaların, şube kapanış zamanlarının optimizasyonunun, talepteki artışların ve buna karşı yapılacak kapı atama alternatiflerinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca matematiksel model ile simülasyon model sonuçları da karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kargo Transfer Merkezi, Çizelgeleme, Sezgisel Optimizasyon, Simülasyon

University : TOBB Economics and Technology University
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Industrial Engineering
Supervisor : Associate Professor Kadir ERTOĞRAL
Degree Awarded and Date : M.Sc. – December 2010

Onur DİKMEN

**COORDINATION OF TRUCK DEPARTURE TIMES AND
SCHEDULING THE UNLOADING OPERATIONS IN
ARAS KARGO ANKARA TRANSFER CENTER**

ABSTRACT

The problems related to parcel delivery have started receiving attention in the literature in recent years. Determination of the vehicle routes for desired service levels, network design, consolidation decisions, operational planning of transfer centers are commonly studied problems. This study addresses the coordination of the vehicle departure times from branches and the scheduling of the inbound vehicles to unloading gates at a central cross docking terminal of Aras Kargo. The objective is to maximize the weighted sum of vehicle departure times. The main constraint is to finish up the unloading operation of all vehicles until a target completion time. Integer programming is used for modeling the problem. The mathematical model, which is developed for different confidence levels, is based on a previously proposed model for the parallel machine scheduling problem. Because of the complexity of the problem, a two-phase heuristic approach is proposed. The heuristic approach first solves the assignment problem of vehicles to unloading gates using the linear relaxation of the model, and then it addresses the scheduling problem for each door separately. The efficiency of the heuristic approach is shown by numerical experiments. Additionally, for the purpose of observing the effects of uncertainty in the system and including the dynamic structure of the queue formation, a simulation model is developed. Using the simulation model, the effects of delays on truck departure times, optimization of the truck departure times, the increase in demand and relevant door assignment alternatives are examined. The results of the mathematical and simulation model are compared with each other as well.

Key Words: Parcel Transfer Center, Scheduling, Heuristic Optimization, Simulation

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Kadir ERTOĞRAL'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, proje ile ilgili her türlü yardımı yapmakta çekinmeyen Aras Kargo şirketine ve şirket sorumlularından Sn. Can Ünal'a, Sn. Nusret USLU'ya ve Sn.Erdal COŐKUN'a, hiçbir desteği esirgemeyen asistan arkadaşlarıma ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. FİRMA TANITIMI.....	5
3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE AMACI.....	5
4. ÇALIŞMA YAPILAN SİSTEMİN TANIMI.....	6
5. PROBLEMİN TANIMI.....	8
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	10
7. MATEMATİKSEL MODEL.....	15
7.1. Model Formülasyonu.....	17
7.2. Modelin Karar Değişkenleri ve Parametreleri.....	17
7.3. Modelin Genel Formu.....	18
7.4. Sezgisel Çözüm Yaklaşımı.....	20
7.5. Sayısal Deneyle.....	21
7.6. Vaka Probleminin Çözümünde kullanılan Sezgisel Yaklaşımındaki Değişiklikler.....	24
7.7. Vaka Probleminin Farklı Güvenilirlik Seviyelerine Ait Senaryoları.....	25
7.8. Vaka Problemine Ait Çözümler ve Çözümlerin Değerlendirilmesi.....	26
8. SİMÜLASYON MODELİ.....	32
8.1. Simülasyonla Cevaplanması Beklenen Sorular.....	34
8.2. Model Varsayımları.....	35
8.3. Performans Ölçütleri.....	35
8.4. Simülasyon ile Optimizasyon için Gerekli Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar.....	36
8.5. Simülasyon Modelinde Kullanılan Verilerin Analizi.....	37
8.6. Simülasyon Modelinin Genel Yapısı.....	43
8.7. Sistemin Mevcut Durumuna Ait Arena Modelinin Genel Yapısı.....	45
8.8. Doğrulama ve Geçerlilik Analizi.....	48

8.8.1. Simülasyon Modelinin Doğrulanması	49
8.8.2. Geçerlilik Analizi	50
8.8.2.1. Yüzeysel Geçerlilik	51
8.8.2.2. Model Varsayımlarının Geçerliliğinin Test Edilmesi	51
8.8.2.3. Modele Ait Girdi – Çıktı Dönüşümlerinin Test Edilmesi	52
8.9. Simülasyon ile Modelleneyecek Olan Farklı Senaryolar	57
8.10. Simülasyon Modeline Ait Sonuçların Değerlendirilmesi	60
8.11. Sistem Senaryolarının Karşılaştırılması	63
8.11.1. Senaryoların İkili Karşılaştırılması	65
9. MATEMATİKSEL MODEL VE SİMÜLASYON MODELİNE AİT SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	70
10. SONUÇ	74
11. TAVSİYELER	77
KAYNAKLAR	78
Ek A: Matematiksel Modele Ait Ampl Model Ve Veri Dosyaları İle Sezgisele Ait Kodlar.....	80
Ek B: Matematiksel Modelleme İle Elde Edilen, Farklı Güvenlik Düzeylerinde Araçların Atandıkları Boşaltma Kapıları Ve Bu Kapılardaki Sıraları	94
Ek C: Mevcut Duruma Ve Matematiksel Modelleme İle Belirlenen Farklı Güvenlik Düzeylerindeki Senaryolara Ait Araç Çıkış Zamanları	96
Ek D: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Şubelere Ait Kargo Hacmi Verilerinin Oturtulduğu Dağılımlar	100
Ek E: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Araç Transfer Sürelerine Ait Üçgensel Dağılım Parametre Değerleri	101
EK F: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Kapılardaki İki Araç Arasında Geçen Süreye Ait Veri	102
Ek G: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Regresyon Analizi Verileri Ve Hat Uyum Grafikleri	104
Ek H: Simülasyon Modelin Geçerliliğinin Test Edilmesi İçin Sistemden Elde Edilen Boşaltma Alanında Bulunan Araç Sayılarının Sistemde Bulunduğu Süre Verisi ...	107
Ek I: Matematiksel Model Senaryo 4 İle Simülasyon Model Senaryo 4'ün Sonuçları	109
Ek J: Simülasyon Modellemesinde Farklı Senaryolar İçin Elde Edilen Araç Çıkış Zamanları Verisi.....	112
EK K: ÖZGEÇMİŞ	116

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 7.1	30 Araçlık deney kümesi için incelenen farklı senaryolar	22
Çizelge 7.2	40 Araçlık deney kümesi için incelenen farklı senaryolar	22
Çizelge 7.3	Sayısal deney sonuçlarına ait performans ölçütleri	23
Çizelge 7.4	Farklı güvenlik düzeyleri için belirlenen yeni hedef saatler	26
Çizelge 7.5	Farklı senaryolara ait amaç fonksiyonu değerleri	29
Çizelge 7.6	Şube çıkış zamanları açısından senaryoların mevcut durum ile karşılaştırılma ortalamaları	32
Çizelge 8.1	Regresyon modellerinin uyum iyiliklerinin kontrolü için R^2 ve F değerleri ile modellere ait gözlem sayıları	41
Çizelge 8.2	Farklı şube tipleri için boşaltma zamanı regresyon modellerine ait parametre değerleri	42
Çizelge 8.3	Mevcut transfer merkezi operasyonlarına ait girdi-çıkı dönüşümleri	54
Çizelge 8.4	Simülasyon modeli ile incelenen farklı sistem tasarımlarına ait bilgiler	58
Çizelge 8.5	Simülasyon modeli ile incelenen senaryolara ait performans ölçütü değerleri	61
Çizelge 8.6	Alternatif sistem tasarımlarının ikili olarak karşılaştırılması için 95% güvenlik düzeyinde oluşturulan güven aralıkları (hedef 270 dakika)	67
Çizelge 9.1	Matematiksel ve simülasyon modellerine ait amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması	70
Çizelge 9.2	Matematiksel modele ait Senaryo 4 ile simülasyon modeline ait Senaryo 4'ün amaç fonksiyonu değerleri	71
Çizelge B.1	90% Güvenlik Düzeyi için araçların numaraları ile atandıkları kapılar ve bu kapılardaki sıraları	94
Çizelge B.2	95% Güvenlik Düzeyi için araçların numaraları ile atandıkları kapılar ve bu kapılardaki sıraları	94

Çizelge B.3	99% Güvenlik Düzeyi için araçların numaraları ile atandıkları kapılar ve bu kapılardaki sıraları	95
Çizelge C.1	Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının değerleri. Saat 19:00 dakika olarak "0", saat 22:00 dakika olarak "180" olarak ifade edilmektedir (Şube No: 1-40)	98
Çizelge C.2	Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının değerleri. Saat 19:00 dakika olarak "0", saat 22:00 dakika olarak "180" olarak ifade edilmektedir (Şube No: 41-80)	99
Çizelge D.1	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan kargo hacmi verilerinin oturtulduğu dağılımlar	100
Çizelge E.1	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan araç transfer zamanı verilerinin oturtulduğu üçgensel dağılıma ait parametre değerleri (dakika)	101
Çizelge F.1	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan, bir aracın boşaltma işlemi bittikten sonra yerine yeni bir araç gelinceye kadar geçen süre verisi	102
Çizelge G.1	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi bölgesi şubelerine ait kargo hacmi verisi (desimetreküp)	104
Çizelge G.2	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan şehir içi şubelerine ait kargo hacmi verisi (desimetreküp)	104
Çizelge G.3	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi kapılarına yanaşan şehir içi şubesi araçlarına ait kargo hacmi verisi (desimetreküp)	105
Çizelge H.1	Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan ve transfer merkezi boşaltma alanından elde edilen araç sayılarının sistemde bulunduğu süre verisi, Gözlem 1	107
Çizelge H.2	Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan ve transfer merkezi boşaltma alanından elde edilen araç sayılarının sistemde bulunduğu süre verisi, Gözlem 2	107
Çizelge H.3	Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan ve transfer merkezi boşaltma alanından elde edilen araç sayılarının sistemde bulunduğu süre verisi, Gözlem 3	108
Çizelge I.1	Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanları	109

Çizelge J.1	Simülasyon modeli ile incelenen farklı senaryolara ait araç çıkış zamanları (Şube No:1-40, Senaryo:"S")	114
Çizelge J.2	Simülasyon modeli ile incelenen farklı senaryolara ait araç çıkış zamanları (Şube No:41-80, Senaryo:"S")	115

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 4.1	Ana Transfer Merkezi şematik gösterimi	6
Şekil 7.1	Sistemdeki değişkenlik için belirlenen güvenlik zamanı	16
Şekil 7.2	90% güvenlik düzeyinde araç çıkış zamanlarının zamana göre dağılımı	27
Şekil 7.3	95% güvenlik düzeyinde araç çıkış zamanlarının zamana göre dağılımı	27
Şekil 7.4	99% güvenlik düzeyinde araç çıkış zamanlarının zamana göre dağılımı	28
Şekil 7.5	90% G.D. Senaryo 1 – Mevcut durum şubelerden araç çıkış zamanları farkı	30
Şekil 7.6	95% G.D. Senaryo 2 – Mevcut durum şubelerden araç çıkış zamanları farkı	30
Şekil 7.7	99% G.D. Senaryo 3 – Mevcut durum şubelerden araç çıkış zamanları farkı	31
Şekil 8.1	Simülasyon modelinin genel yapısı	44
Şekil 8.2	Transfer merkezindeki sistem içi araç sayısının zamana bağlı değişimi	55
Şekil 8.3	Simülasyon modelinden elde edilen sistem içi araç verilerine ait 95%güven aralığındaki istatistiksel bilgiler	56
Şekil 9.1	99,7% G.D. Matematiksel model Senaryo 4 – Simülasyon modeli Senaryo 4, şubelerden araç çıkış zamanları farkı	72
Şekil C.1	Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının grafiksel karşılaştırması (Şube No:1-40)	96
Şekil C.2	Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının grafiksel karşılaştırması (Şube No:41-80)	97
Şekil F.1	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan, bir aracın boşaltma işlemi bittikten sonra yerine yeni bir araç gelinceye kadar geçen süre verisine ait dağılım	103
Şekil G.1	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi bölgesi şubelerine ait uyumluluk grafiği	105

Şekil G.2	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan şehir içi şubelerine ait uyumluluk grafiği	106
Şekil G.3	Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi kapılarına yanaşan şehir içi şubesi araçlarına ait uyumluluk grafiği	106
Şekil I.1	Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi (Şube No:1-40)	110
Şekil I.2	Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi (Şube No:41-80)	111
Şekil J.1	Yüksek öncelikli şubelerin (ağırlık değeri:2,5) simülasyon senaryolarına ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi	112
Şekil J.2	Yüksek öncelikli şubelerin (ağırlık değeri:2,0) simülasyon senaryolarına ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi	113

1. GİRİŞ

İnsan hayatında ticaretin var olmasından bu yana, taşımacılık da var olmuştur. Lojistiğin temel fonksiyonu olan doğru zamanda, doğru yerde, doğru ürünün bulundurulması, rekabetin küreselleştiği günümüzde çok önemli hale gelmiştir. Bireysel ve kurumsal müşteriler, bir ürün veya hizmeti edinmek veya başka bir alıcıya ulaştırmak istediklerinde eski dönemlerde çok fazla seçenek sahibi değillerdi, var olan taşımacılık şirketleri belirledikleri fiyatları müşterilerine benimsetmiş durumdaydılar. Fakat günümüzde, özellikle her alanda ortaya çıkan rekabetçilik bu sektörde de kendini belli etmiş ve çok çeşitli ürün ve hizmeti ulaştırma imkânı olan çok sayıda şirket bu pazarda kendilerine yer bulmuştur.

Her sektörde olduğu gibi taşımacılık sektörü de büyüdükçe ve pazarda bulunan firma sayısı arttıkça var olan şirketler veya yeni girişimciler fark yaratabilmek adına çeşitli yollar denemişlerdir. Kimileri organizasyonel yapılarını, kimileri müşteri profillerini değiştirmeye yönelik uygulamalara gitmiştir. Bazı taşımacılık firmaları ise tamamen farklı bir pazara yönelerek büyük çaplı yük taşımacılığı yerine daha küçük çaplı olan parsel taşımacılığı, diğer bir deyişle kargo sektörüne yönelmişlerdir.

Tanım olarak kargo, bir kişi tarafından ticari amaçla taşınabilecek kadar küçük ve aynı zamanda da bir zarftan daha büyük olan paketlere verilen isimdir [1]. Kargo taşımacılığının iş tanımı ise, günlük bazda bireysel ve kurumsal müşterilerden toplanan paketlerin, mümkün olan en hızlı ve güvenli şekilde alıcısına teslim edilmesine yönelik, var olan kaynakların etkin planlanması ve kullanımı olarak verilebilir.

Yurt dışındaki kargo şirketlerine bakıldığında, bu şirketlerin organizasyonel ve mali yapılarının oldukça sağlam olduğu görülmekte ve şirket bünyesindeki her seviyede, kararların profesyonel ekiplerce alındığı göze çarpmaktadır. Sahip oldukları bu sağlam yapıları ile yurt dışındaki kargo şirketleri sadece ülkelerinde değil, uluslar arası pazarda da pay sahibi olabilmişlerdir. Ülkemizde ise kargo sektörü özellikle son 5 yılda profesyonelleşme yoluna girmiştir. Bu sürece girilmesi ile birlikte şirketlerin işleyişinde büyük aksaklıklara yol açan sorunlu operasyonlar artık iyileştirilmeye başlanmıştır. Yapılan iyileştirmelerin başında şirketlerin organizasyonel koordinasyona önem

vermeleri ve bunu işler hale getirebilmeleri için bilişim sektöründen yararlanmaları gösterilebilir. Yeni geliştirilen veya var olan yazılım programlarının şirketler için özel olarak modifiye edilmesi yoluyla kullanımına başlanan süreç kontrolü amaçlı paket programlar ilk başlarda yüksek kurulum ve sonrasındaki servis maliyetleri ile pek tercih edilmemiştir. Fakat şirketlerin organizasyonel olarak büyümesi ve bunun sonucunda da operasyonel karışıklıkların ortaya çıkması, işleyişi koordine etmek için birçok değişken ve parametreyi farklı amaçlar için aynı anda ele alabilen yazılım programlarının kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu tip programlardan elde edilen çıktılar kullanıma uygun, özet, açık yapıda bilgi sunan ve karar verme sürecinde yöneticilere yardımcı olan diyagram ve grafiklerdir [2].

Kargo şirketleri tarafından profesyonelleşme yolunda atılan bir diğer önemli adım ise filo yönetimi ve araç tipleri konusunda kökten değişiklikler yapılmasıdır. Eski dönemde toplanan kargolar, yapıları göz ardı edilerek uygunsuz taşıma koşullarında taşınabilmekteydi. Fakat gelişen kargo sektöründe artık her bir farklı kargo tipi için özel araçlar sağlanabilmekte ve müşterilere ait kargolar güvenli bir şekilde alıcılarına ulaştırılmaktadır. Farklı kargo tiplerine uygun araçlara ihtiyaç duymak, şirketler için yeni bir soruyu da beraberinde getirmiştir; ihtiyaç duyulan filo ne şekilde oluşturulmalı? Bir kargo şirketinin ihtiyaç duyduğu tüm filoyu tamamen kendi kaynakları ile kurabilmesi pek mümkün değildir. Bu sorunu aşmak için, farklı sektörlerle ortak araştırma çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, özel ve makul şartları olan kredi seçenekleri, çeşitli banka ve destekleme fonları tarafından filo kurmak isteyen işletmelerin hizmetine sunulmuştur. Buna ek olarak, söz konusu sorunun ciddiyetinin birçok girişimci tarafından fark edilmesi sonucu, yalnızca filo yönetimi ve araç destek hizmetlerini bünyesinde bulunduran işletmeler piyasaya girmiştir. Gün geçtikçe başarılı sonuçlar alan ve bu alanda özelleşen filo destek şirketleri, bazı kargo şirketlerinin filo oluşturma ve araç bakım gibi operasyonlarını bünyelerinden tamamen çıkararak dış kaynak kullanımına gitmelerini, uygun bir çözüm olarak sunmuştur.

Kargo şirketlerinin yurt dışındaki rakipleri ile arayı kapamak adına yaptıkları yatırım, araştırma ve iyileştirmeler, müşteri taleplerini karşılamanın bir oranı olan hizmet seviyelerini oldukça arttırmıştır. Ticari anlamda çağımızın en büyük yeniliklerinden olan e-ticaret uygulamaları ve mobil operatörler ile yapılan anlaşmalar sonucu anlık kargo takibi, online hizmet, alıcıya ulaşan veya ulaşamayan kargoların durum bilgileri v.b. bir

çok uygulama son yıllarda kargo şirketlerinin müşteriye anında ulaşabilmelerine ve çeşitli hizmet seçenekleri ile (acil kargo, 24 saat içinde teslim, aynı gün teslim v.b.) müşteriler için bir tercih olabilmelerine imkân sağlamaktadır.

Kargo şirketleri operasyonel yapılarını oluştururken farklı yöntemler izleyebilmektedir. Bir kargo şirketinin bir günlük operasyonlarını ele alacak olursak, müşterilerden kargonun alınmasından alıcıya ulaştırılmasına kadar geçen süre içerisinde çok farklı operasyonel tercihlerin farklı şebeke tasarımları ile karşımıza çıktığını görebiliriz. Örneğin bazı şirketler toplanan kargoları her şehirde bulunan talep birleştirme ve transfer merkezlerine, buradan alıcının bulunduğu ilin transfer merkezine ve son olarak da söz konusu transfer merkezinden alıcıya ulaştıran bir şebeke tasarımını uygun görmektedir. Bazı şirketler ise her şehirde bir talep birleştirme merkezi yerine belirlenen birkaç bölgede bu merkezleri kurarak, toplanan kargoları önce bu istasyonlara ardından alıcıya ulaştırmayı hedef alan şebeke tasarımları tercih etmiştir. Bazı özel durumlarda ise müşteriden alınan kargolar hiçbir talep birleştirme ve transfer merkezine uğramadan doğrudan alıcıya ulaştırılmaktadır. Genellikle bir kargo şirketinin operasyonel başarısı, şubelerini talep birleştirme merkezlerine ne denli başarılı olarak atayabildiği ve şube kapanış zamanlarını ne derecede erteleyebildiği ile ölçülebilir. Bunun nedeni şirket yapısına ve müşteri profiline uygun bir şebeke düzenlemesi ile ertelenen şube kapanış saatleri sonucunda, müşterilerden daha fazla kargonun toplanabilmesi fırsatının bulunmasıdır [3].

Şebekelerin tasarımı sırasında ele alınması gereken diğer konular genel olarak şube ve transfer merkezi yer seçimi, ağ tasarımı, araç rotalarının belirlenmesi ve taşıma modlarının seçimi olarak sıralanabilir. Bu konuların her biri zamanla ortak bir amaca hizmet eden ayrı problemler olarak ele alınmış ve literatürde farklı araştırma alanlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Bu tez çalışmasında Türkiye’de faaliyet gösteren Aras Kargo ile bir proje yapılmış ve şirketin Ankara ili operasyonları araştırılmıştır. Yöneticilerle yapılan görüşmeler sonucunda, şirketin Ankara ana transfer merkezinin boşaltma alanına gelen şube araçlarının boşaltma kapılarına atanmasına ve daha sonra her bir kapıya atanan şube araçlarının çizelgenerek şube kapanış zamanlarının koordine edilmesine karar verilmiştir. Burada amaç, araçları boşaltma bölgesinde en az süre geçirecek şekilde şube

kapanış zamanlarının belirlenmesi ve araçların kapılara atanıp çizelgelerinin oluşturulmasıdır. Bunu yaparken şube kapanış saatlerini mümkün olan en geç zamana çekmek, müşteri taleplerini karşılamada yaşanan kaybı en aza indirecektir.

Tez çalışması kapsamında ilk olarak, Bölüm 5'te incelenen sistemin operasyonel detaylarına değinilecektir. Daha sonra Bölüm 6'da literatürde konu ile ilgili benzer çalışmalara, tez çalışmasının literatürdeki çalışmalardan farklarına değinilerek yararlanılabilecek modelleme yaklaşımları belirtilecektir.

Ardından Bölüm 7'de boşaltma kapılarında şube araçlarının çizelgelemesinin ve şube kapanış zamanlarının koordinasyonunun deterministik olarak optimizasyonu, tamsayılı modelleme yardımıyla ele alınacaktır. Yapılan varsayımlar ve incelenen sistemin boyutu düşünüldüğünde tamsayılı olarak bu model için optimal bir çözüm bulmak çok uzun çözüm süresi gerektirmektedir. Bu nedenle söz konusu model için sezgisel bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiş ve sezgisel metodun etkinliği, çeşitli problem boyutları ve parametreleri için test edilmiştir. Ek olarak belirtmek gerekir ki sistemin yapısı gereği bünyesinde barındırdığı yüksek seviyedeki belirsizliği deterministik modelleme ile incelemek zordur. Deterministik model kullanılarak elde edilecek çözümler, sistemde var olan belirsizlikten dolayı uygun çözümler vermeyebilir. Bu olumsuzluğu gidermek ve matematiksel model ile elde edilecek çözümün pratikte uygulanabilir olması için bir yaklaşım düşünülmüştür. Bu yaklaşımda hedeflenen kapanış zamanı, belirli bir güvenlik süresi kadar geriye çekilerek modelleme yapılmıştır. Eğer olası gecikmeler gerçekleşirse söz konusu güvenlik zamanı bir tampon vazifesi görerek, transfer merkezi operasyonlarının aksamasını engelleyecektir.

Bahsedilen deterministik modele ek olarak sistemde bulunan tüm belirsizliği ve dinamik işleyişi olduğu gibi benimseyecek bir çözüm yaklaşımı geliştirebilmek adına simülasyon modellemesinden yararlanılmıştır. Oluşturulan simülasyon modeli, farklı seviyedeki belirsizlikleri, sistemin dinamik kuyruk oluşturma yapısında göz önüne alıp inceleyen, kaliteli çizelge ve şube çıkış saatlerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar belirsizliği belirlenen bir seviyede ele alabilen ve sabit kuyruk sıralamasını belirleyen deterministik optimizasyon modelinin etkinliğini test etmede kullanılmıştır.

Son bölümde, gerçekleştirilen tüm modelleme yaklaşımlarının sonuçları bir araya getirilerek, şirket için en uygun çözümün bulunması planlanmıştır.

2. FİRMA TANITIMI

Aras Kargo, kargo sektöründe Türkiye genelinde 22 bölge müdürlüğü, 27 transfer merkezi, 757 irtibat bürosu (şube ve acente), 2500 araçlık filosu ve 7500 kişilik kadrosu ile her ay 6 milyon kişi, kurum ve kuruluşlara hizmet eden bir şirkettir. Kargo sektörüne yönelik ilginin son yıllarda artmasına neden olarak, e-ticaretin yaygınlaşması ve bu alandaki rekabetin artan şirket sayısı ile doğru oranda artması gösterilmektedir.

3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE AMACI

Aras Kargo’da yapılması düşünülen projenin kapsamı, Ankara Ana Transfer Merkezindeki (ATM) yük boşaltma kapılarına gelen şube araçlarının atanmasını yapacak bir yöntem belirlemek olarak belirlenmiştir. ATM’de bulunan 7 boşaltma kapısına, Ankara genelindeki Aras Kargo’ya ait 63 şubeden ve Aras Holding bünyesinde bulunan Fillo Kargo’ya ait 17 şubeden gelen toplam 80 araç, bu bölümde yaşanabilecek kuyrukta beklemeleri önlemek için bir kaliteli bir çizelgeleme ihtiyacını doğurur.

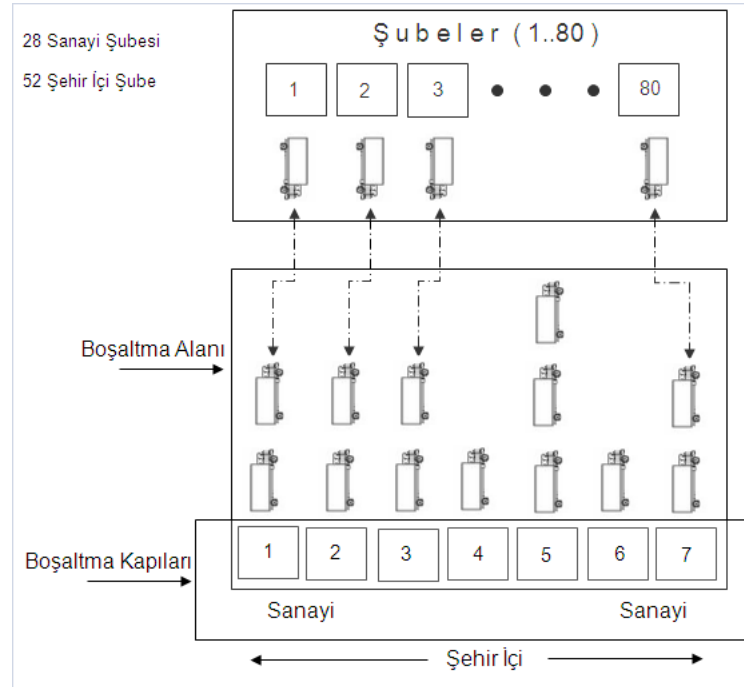
Bu çalışmadaki amaç, araçları boşaltma bölgesinde en az süre geçirecek şekilde boşaltma kapılarına atayacak, her bir kapıya atanan araçların o kapıdaki sırasını ve araçların şubelerden çıkış saatlerini bir yöntem bulunmasıdır.

Deterministik modelde ele alınmayan ve yapısında belirsizlik içeren veriler ve sistemin dinamik kuyruk yapılanması, sonradan oluşturulacak olan benzetim modeli ile incelenerek her iki modele ait sonuçlar birbirleriyle kıyaslanacaktır. Böylece sistemde, farklı seviyelerdeki belirsizlikler altında ne tür değişimler olduğu gözlemlenebilecektir. Ayrıca talepteki olası dalgalanmaların sistem üzerindeki etkileri, olumsuz etkileri minimuma indirmek için kapasite planlamasının nasıl olması gerektiği, ek şube açma veya var olan şubelerden bazılarının kapatılması gibi senaryolarda sistem işleyişinde ne gibi değişiklikler olacağı da oluşturulacak simülasyon modeli ile gerçekleştirilmesi düşünülen analizlerdir.

Şubelerin kapanış saatlerini mümkün olan en geç saate ayarlamak, müşteri taleplerini karşılamada yaşanan kaybı en aza indireceğinden dolayı, oluşturulacak çizelge modelinin sonuçları firma için önemlidir.

4. ÇALIŞMA YAPILAN SİSTEMİN TANIMI

ATM’de, akşam şubelerden gelen araçlar 7 boşaltma kapısından birisine atanarak boşaltılırlar. Bu kargolar daha sonra gidecekleri şehirlere göre farklı turlara yüklenirler. Toplamda 22 yükleme noktası vardır. Bu çalışma, sadece boşaltma kapılarını ele alacaktır. Boşaltma noktaları sınırlı olduğundan olası yığılmaları önlemek için Ankara genelindeki 80 şubeye farklı kapanma ve araç çıkış saatleri bildirilmiştir. Her şubeye verilen kapanma ve araç çıkış saatlerinin belirlenmesinde şubelerin özellikleri dikkate alınmıştır. Genel yaklaşım, yoğun ve daha az yoğun şubelerin araçlarına, aynı anda ATM’de olacak şekilde çıkış saatleri verilerek ATM’deki yük boşaltma alanı ve konveyördeki ortalama yük miktarını belirli bir seviyede tutmaktır. Eğer çok yoğun şubelerin araçları aynı anda ATM’ye varış yaparsa, boşaltılan yükler ATM’deki iş gücünün ve donanımının altından kalkabileceğinden fazla olur. Tam tersi bir durumda ise var olan iş gücü ve donanım boş bekler. Ayrıca tüm boşaltma operasyonlarının saat 23:30’a kadar bitirilmesi hedeflenmektedir. Ana transfer merkezinin genel yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Ana Transfer Merkezi şematik gösterimi

Şubelerden gelen araçlar farklı boyut, ağırlık ve sınıfta kargolar taşımaktadırlar. Bu nedenle ana transfer merkezine geldiklerinde farklı özellikteki kapılarda boşaltılmaları gerekmektedir. Sanayi bölgesinden gelen araçlar genel olarak ağır ve geniş hacimli kargolar taşıdıklarından dolayı önlerine sadece forkliftlerin yanaşmasına imkân sağlayan boşaltma bölgesindeki kenar kapılara, şehir içinden gelen araçlar ise öncelikli olarak boşaltma bölgesinin ortasında bulunan ve kargolarını doğrudan otomatik konveyör sistemine yükleme imkânı veren kapılara yönlendirilmektedir. Eğer bu kapılarda yer bulunmaz ise şehir içi araçları, boş olan ve sanayi bölgesi araçlarına ayrılmış olan boşaltma bölgesindeki kenar kapılarına da yönlendirilebilmektedirler. Fakat sanayi bölgelerinden gelen araçlar, fiziksel kısıtlardan dolayı ortada bulunan kapılara atanamamaktadır.

Uygulanabilecek araç – kapı atamaları incelendiğinde karşımıza 3 farklı çeşit çıkmaktadır. Bunlar; sanayi araçlarının kenar kapılarına atanması, şehir içi araçlarının konveyöre yakın kapılara atanması ve şehir içi araçlarının sanayi bölgesi araçlarına ayrılan kenar kapılarına atanmasıdır.

İncelenen problemin ATM'deki boşaltma operasyonunu özellikleri dikkate alındığında, Paralel Makine Çizelgeleme Problemi ile benzer olduğu görülmüştür. Burada işler boşaltma kapısına gelen araçları, makineler ise boşaltma kapılarını temsil etmektedir. İşlem süreleri her bir araç için atandıkları kapıya göre değişkenlik göstermektedir. Söz konusu problem modellenirken tüm araçlar aynı amaç için ortak olarak ele alınmıştır.

Şube kapama ve dolayısıyla araç çıkış saatlerinde bir erteleme yapılarak şubelerde daha fazla talep toplanabilir. Şubelerdeki araç çıkış saatlerinde meydana gelecek olan gecikmeler sistem boyunca ilerleyerek, ana transfer merkezindeki boşaltma kapılarının önünde yığılmalara ve boşaltma işleminin zamanında tamamlanamamasına yol açmaktadır. Bu ikilem tüm şubeler bazında düşünülerek en uygun şube kapanış saatleri belirlenmelidir.

ATM'deki konveyör sisteminin 7 yükleme, 22 yük boşaltma ve 1 adet de barkod okuyucu tarafından tanımlanamayan parçalar için çıkış noktası bulunmaktadır. Yükleme veya

boşaltma yapılan her bir araçta 4 – 5 kişi çalışmaktadır. ATM’de bir vardiyada yaklaşık 65 kişi görev alır.

Bir araç boşaltma noktasına yanaştığında araç içindeki küçük çaplı yükler el ile konveyöre taşınır, geniş hacimli olanlar ise birkaç kişi tarafından araçtan indirilir ve aracın yanında, araç tamamen boşaltılana kadar biriktirilir. Aracın boşaltılması bittikten sonra kenarda birikmiş olan geniş hacimli yükler tek tek yüklenmeleri gereken araçlara el arabaları yardımıyla taşınır. Yük teslim edildikten sonra çalışan, el arabası ile tekrar boşaltma alanına gelir.

Yükleme noktalarında çalışan işçiler, araca ait konveyör bölümüne gelen yükleri teker teker alır ve aynen boşaltma noktasında olduğu gibi küçük boyutlu yükleri el ile alarak, boşaltma bölümünden gelen büyük hacimli yüklerin aracın zeminine istiflenmesinden sonra bunların üzerine yerleştirir.

Yükleme noktalarındaki araçların dizilimi, araçların gidecekleri mevkilerin birbirlerine olan yakınlıkları ile ilişkilidir. Bu sayede eğer bir paket, aracın kapasitesinin dolması sonucu araca yüklenmemeye durumu ile karşılaşırsa, hemen yanında bulunan ve aynı güzergâhı kullanacak olan diğer araca aktarılabilir.

ATM’de en son araç çıkış saatleri yüklenen tırlar için 23:30 – 24:00, şube araçları için ise 19:00 – 21:30’dur.

5. PROBLEMİN TANIMI

Aras Kargo Ankara ili akşam operasyonlarında sistemin etkinliğinin azalmasına yol açan bazı problemler mevcuttur. İlk olarak şube araçlarının, belirlenen zamandan 25 dakikaya varan gecikmelerle şubelerden çıkması ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu aksamanın nedeni, şube yöneticilerinin şubelerini daha geç kapatarak müşterilerden daha fazla kargo toplanmasını istemesidir. Fakat şirket tarafından, her bir şubeye bildirilen araç çıkış saatinin aksamasına yol açan bu uygulama hedeflenen operasyonların seyrinden çıkmasına neden olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için transfer merkezine gelen araçların varış saatleri kaydedilir ve her bir şube için hedeflenen varış saati ile

karşılaştırılır. Eğer bu fark yarım saatten fazla ise, şubeye o gün için belirli bir tutar ceza kesilir.

İkinci bir sorun olarak, şube kapanış zamanlarının belirlenmesinde etkin koordinasyon olmaması ve muhtemel sorunların dikkate alınmaması belirtilebilir. Var olan şube kapanış zamanlarının düzenlenmesi, şubelerin sanayi veya şehir içi bölgesinde bulunması ve transfer merkezinin mevcut durumdaki otomatik konveyör sisteminin anlık kapasitesi dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre 5 sınıfa ayrılan şubelerden en yüksek getiriye sahip olanlar için daha geç şube kapanış saatleri belirlenmek istenmiş, böylece mümkün olan en geç saate kadar kargo toplamalarına imkân verilmek istenmiştir. Fakat daha önce de bahsedildiği gibi transfer merkezinde bulunan otomatik konveyör sistemi birim zamanda belirli bir sayıda, boyutta ve ağırlıkta kargoyu taşıyabilmektedir. Bu nedenle yapılan sınıflandırma etkin olarak uygulanamamaktadır. Konveyörün kapasitesi dikkate alındığında, transfer merkezinin boşaltma kapılarında aynı anda bulunacak olan araçların bir kısmının fazla kargo sayısına sahip şubelere, diğer kısmının ise onlara göre daha az sayıda kargo sayısına sahip şubelere ait araçlardan oluşturulması istenmiştir. Bu yaklaşım şu anda belirli bir ölçüde işler nitelikte gözükse de, daha iyi bir planlama ile tekrar düzenlenecek olan şube kapanış saatlerinin firma açısından daha kârlı sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

Son olarak, şubelerin kargo toplama potansiyelleri, dolaylı olarak getirileri, optimize edilerek düzenlenecek olan olası şube kapanış saatleri, buna uygun olarak şubelerin doğru boşaltma kapılarına atanması ve ardından bu kapılarda sıralanmaları şube araçlarının sorunsuz bir şekilde, mevcut durumda katlandıkları bekleme zamanları en aza indirilerek boşaltılacağı beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilen problemlerin daha iyi anlaşılabilmesi için var olan sistemde ne gibi sonuçlara yol açtığı bilinmesi gerekmektedir. Söz konusu sonuçlara bakacak olursak, şube kapanış zamanlarının doğru planlanmaması ve şubelerden çıkan araçların gecikmesinden dolayı ana transfer merkezinin boşaltma alanında belirli zaman aralıklarında araçların yığılması ve belirli zaman aralıklarında ise iş gücünün boş beklemesi önemli bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan kapanış zamanlarının optimize edilmemesi sonucu talep kaybı ve son olarak ana transfer

merkezindeki günlük boşaltma operasyonlarının çoğunun izin verilen zamanda bitirilememesi diğer önemli sonuçlar olarak sıralanabilir.

Özet olarak incelenen problemin net tanımı, şube araç çıkış zamanlarının ve boşaltma kapılarındaki çizelgelerin belirlenmesidir. Buradaki amaç, şubelerden araç çıkış zamanlarının diğer kısıtları bozmayacak şekilde, mümkün olduğunca geciktirmektir.

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Transfer merkezlerinde boşaltma kapılarına araç atama problemi, özellikle son yıllarda ilgi duyulan bir konudur. Yapısı itibariyle durağan olan bir iş gücü dengeleme problemi özelliğini gösterir. Literatürde konu ile ilgili çalışmaları parsel dağıtımı (kargo) sektörü ile ilgili çalışmalar, simülasyon modellemeleri ve transfer merkezlerinde boşaltma kapılarındaki işleyişin benzerliğinden yola çıkarak, paralel makine çizelgeleme modelleri olarak üç ana başlık altında toplayabiliriz.

Kargo sektöründe, şube kapanış zamanlarını dikkate alarak mevcut hizmet seviyesini arttırmayı amaçlayan ilk çalışma Cheung ve ark.'na [4] aittir. Birbirlerini besleyen optimizasyon ve simülasyon modelleri planlayarak, DHL Hong Kong şubelerinin kapanış zamanlarındaki değişikliğin, firmanın hizmet seviyesi ve güvenilirliği üzerindeki etkilerini göstermek istemişlerdir. Sonuç olarak, şubelerin kapanış zamanlarının belirli bir seviyede ertelenmesinin, mevcut duruma göre daha çok müşteri talebini karşılanmasına olanak sağlarken, sistemin güvenilirliğinin belirli bir ölçüde azalmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeni ise, sistemde var olan saatlik müşteri talebi ve taşıma süresi gibi belirsizliklerin, kapanış zamanlarının ertelenmesi ile daralan mümkün işlem zamanı aralığında, işlerin tam olarak tamamlanamamasına yol açabilmesidir.

Lee ve ark. [3] Kore'deki bir kargo şirketinden yola çıkarak, bu sektör için kâr amaçlı bir ağ tasarımının nasıl olması gerektiği üzerine çalışmışlardır. Kapanış zamanlarını hesaba katarak şubeleri, çoklu talep birleştirme merkezlerine bağlayan bir proje gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma; kapsamı itibariyle, ağ tasarımı projeleri için öncü niteliğindedir. Bu tez çalışmasında incelenen sistem ile büyük benzerlik gösteren söz konusu problemde, hizmet merkezlerinin (şubelerin) buldukları yerleri göz önünde

bulundurarak talep birleştirme merkezlerine yeniden atanması ve şube kapanış zamanlarının ayarlanması tamsayılı modelleme yaklaşımı ile incelenmektedir. Problem, FIFO kuralının uygulandığı tek makine çizelgeleme yaklaşımı ile formülize edilmiştir. Çözüm için genetik algoritma tabanlı bir yöntem izlenmiştir.

Ko ve ark. [5] Kore'deki bir kargo şirketinin şubelerine ait kapanış zamanlarının koordinasyonunu belirlemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İncelenen tez konusu ile benzerlik gösteren bu çalışmada müşterilerin kargoları bir servis merkezine (şube) oradan da talep birleştirme merkezine yönlendirilmektedir. Gerçekleştirilen tez çalışmasından farklı olarak bu çalışmada, şubelerden çıkan araçların talep birleştirme merkezine sabit bir sürede geldiği ve kapanış zamanlarının ertelenmesi durumunda müşterilerden toplanan kargoların sabit bir oranda arttığı varsayılmıştır. Aksi durumda, yani kapanış zamanlarının öne çekilmesinde ise ilk durumdaki varsayıma benzer olarak müşterilerden toplanan kargoların sabit bir oranda azaldığı düşünülmektedir. Ayrıca sistemde çalışan işgücü miktarı saatlik olarak değişkenlik göstermektedir. Yapılan tez çalışmasıyla benzer olarak bu çalışmada, talep birleştirme merkezinin gün içinde sabitlenmiş belirli bir zaman diliminde hizmet vermekte olduğu ve gelen araçların işlem sürelerinin taşıdıkları hacim ile orantılı olarak gerçekleşmekte olduğu varsayılmaktadır. Oluşturulan tamsayılı model bir genetik algoritma yaklaşımı ile çözülmüştür.

McWilliams ve ark. [6] bir çizelgeleme algoritması geliştirerek transfer merkezine gelen araçların boşaltma kapılarına atanmasını incelemiştir. Öncekilerin aksine bu çalışmada, şube araçlarının farklı hacimlerde kargo taşıdığı ve boşaltma kapılarında bir aracın tamamen boşaltılmasından sonra diğer aracın anında o kapılarda işleme alındıkları varsayılmıştır. Tez çalışmasından farklı olarak söz konusu çalışmada, tüm boşaltma kapıları aynı özelliktedir ve kapılardaki boşaltma işlemi sabit bir sürede gerçekleşmektedir. Ayrıca boşaltma kapılarına gelen araçların tamamen dolu oldukları varsayılmıştır.

Tsui & Chang [7], Bartholdi & Gue [8], Larbi ve ark. [9] ve Boysen [10] paket dağıtım sektöründeki transfer merkezlerinde boşaltma kapılarına araç atama problemini incelemişlerdir. Bu çalışmalar genel itibarıyla, transfer merkezlerine ait gelen şube araçlarının ve giden şehirlerarası tırların operasyonel koordinasyonu üzerinedir. Tsui & Chang [7] yaptıkları çalışmada, bir yükleme boşaltma terminaline sahip nakliye şirketine

boşaltma için gelen ve yüklendiği malları nakil etmek için çıkacak olan tırların görev aldığı bir sistemi incelemişlerdir. Bu çalışmada, incelenen tez probleminden farklı olarak terminal kapılarının gelen ve giden araçlara atanmasını incelemişlerdir. Bartholdi & Gue'nin [8] incelediği problem, parça ürün taşımacılığı (LTL) endüstrisinde hizmet veren şirketlere yönelik bir çalışmadır. Söz konusu endüstride görev alan şirketlerin talep birleştirme merkezlerinde karşılaşılan yoğunluk kaynaklı problemleri, araçların transfer maliyetlerini de göz önüne alarak modellemişlerdir. Larbi ve ark.'nın [9] yaptığı çalışmada ise tek bir boşaltma ve bir yükleme kapısına sahip bir çapraz sevkiyat (crossdock) merkezindeki araç çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bu çalışmada araçların merkeze geliş saatlerinin bilindiği fakat her bir araç içerisindeki yük dağılımının bilinmediği varsayılmaktadır. Söz konusu çalışmada, çözüm olarak grafik temelli bir model önerilmiştir. Son olarak Boysen [10] yaptığı çalışmada, bir yemek şirketine ait çapraz sevkiyat merkezinde, gelen araçların boşaltma kapılarına atanmasını incelemiştir. Tez çalışmasından farklı olarak, boşaltılan yüklerin yükleme bölgesindeki araçlara atanmalarını da ele alan çalışma, farklı amaç fonksiyonları için modellenmiştir.

Tedarik zinciri ve lojistik sektöründe simülasyon kullanımının yarattığı yüksek katma değere rağmen, gerçekleştirilen uygulamalar düşük seviyededir (Almanya ve Avusturya'da 10%'un altında). Bunun nedenleri olarak, simülasyon uzmanlarının yetersizliği ve bu programların var olan sektörel amaçlı yazılım programları ile entegre çalışmaması sayılmıştır [2]. Tez çalışmasında incelenen sistemin yüksek seviyede değişkenlik ve operasyonel karmaşıklık içermesi nedeniyle kullanılan simülasyon modellemesi ile etkili performans tahminleri ve değerlendirmeleri vermesi amaçlanmaktadır. Literatürde, konu ile ilgili simülasyon çalışması azdır. Masel & Goldsmith [11] paket dağıtım sektöründeki transfer merkezlerinde, çeşitli bölgelerden gelen araçların yüklerine göre kapılara atanmasını benzetim yardımıyla incelemiştir. McWilliams [12] ise tavlama benzetimi algoritmasını kullanarak transfer merkezinin boşaltma kapılarına gelen araçlar için kaliteli çizelgeler oluşturulması konusu üzerinde durmuştur.

Daha önceden de belirtildiği gibi bu çalışmada, tamsayılı modele ek olarak bir simülasyon modellemesi kullanılmıştır. Bunun amacı, tamsayılı model ile belirli ölçüde ele alınan belirsizliklerin olduğu gibi problemin yapısına dahil edilmek istenmesidir.

Simülasyon modellemesinde, bir kesikli olay modelleme programı olan Arena 12.0 yazılımı kullanılmıştır [13].

İncelenen problem yapısı itibariyle, hem özdeş hem de özdeş olmayan paralel makinaların çizelgelenmesi problemiyle benzerlik göstermektedir ve bu problemler NP-zor sınıfındadır [14]. Hall ve ark. [15] özdeş paralel makinaların çizelgelenmesini zaman endeksli değişkenler kullanarak, her bir makina için belirlenen özdeş işlem aralıklarında gerçekleştirecek bir model oluşturmuşlardır ($R/r_{ij}/\sum w_j C_j$). Burada r_{ij} , $i=1..m$, $j=1..n$, j işinin i makinasında r_{ij} zamanına kadar işlenemeyeceğini göstermektedir. Problem farklı özellikteki paralel makinalardaki ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanını, işlerin makinalar bazında hazır olma zamanlarını göz önünde bulundurarak minimize etmeyi amaçlamaktadır. Yani bir iş, bir makinede yalnızca o iş için söz konusu makinede belirlenen işlenme zaman aralığında işlenebilmektedir.

Biskup ve ark. [16] özdeş paralel makinaların çizelgelenmesini, işlerin öncüllük ilişkilerini göz önünde bulundurarak karma tamsayılı programlama ile modelleyerek toplam gecikmeyi minimize etmek amacıyla incelemişlerdir ($P//\sum T_i$). Burada, tüm işlerin sıfır zamanında sistemde hazır bulunduğu varsayılmaktadır. Makinelerde işlem gören işlerin bölünmesine, iptal edilmesine veya ertelenmesine izin verilmemektedir. Bu varsayımlar altında işler makinelere atandıktan sonra her bir makine bazında işlerin çizelgelenmesi gerçekleştirilmektedir. Modelin NP – zor sınıfında yer almasından dolayı çözüm için yeni bir sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan modellemede, sanayi bölgesi ve şehir içi araçları için boşaltma kapılarına araç atamanın yanı sıra şube kapanış zamanlarının koordinasyonu da söz konusu olduğundan dolayı, incelenen problem, $Q/R//\sum C_j$ problemlerinin özel bir formu olan $Q/R//\sum w_j C_j$ [17] yapısındadır. Yani benzer veya benzer olmayan paralel makinalarda, ağırlıklandırılmış toplam tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Ancak söz konusu çalışmadan farklı olarak tez çalışmasında ele alınan modelde, araçların transfer merkezinde hazır olma zamanları da karar değişkenidir. Çalışmada kullanılan deterministik model için temel oluşturan bu modelde, boşaltma kapılarına gelen işler yalnızca bir kapıya atanır ve söz konusu kapıda bu işler ya ilk iş olur ya da kendisinden önce başka bir iş bulunur. İşlerin tamamlanma zamanları, işlem süreleri ile kendilerinden önce bir iş var ise o işin bitiş zamanının toplamına eşittir. Eğer

bir iş bir kapıda ilk sırada ise tamamlanma zamanı, o işin işlem süresidir. İncelenen çalışmalarda ele alınan modellerden yola çıkarak oluşturulan bu modelde, her araca ait birer hazır olma zamanı düşünülmüştür ve bu, bir değişken olarak formülasyona dahil edilmiştir. Buna göre herhangi bir kapıdaki bir araca ait işlem tamamlanma zamanı, kendinden önce bir araç var ise o araca ait tamamlanma zamanı ve aracın boşaltma kapısında hazır olma zamanından büyük olanı ile aracın işlem süresinin toplamına eşittir. Eğer herhangi bir kapıda bir araç ilk sırada ise o araca ait işlem tamamlanma zamanı, aracın boşaltma kapısında hazır olma zamanı ile işlem zamanının toplamına eşittir.

Tez çalışmasında incelenen sisteme ait problemde, baz alınan formülasyondan yani özdeş veya özdeş olmayan işler için ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanının minimasyonu probleminden $(Q/R//\sum w_j C_j)$ farklıdır. Bir değişken olarak ele alınan şube kapanış zamanları modele dahil edilmiştir. Buna göre tez çalışmasındaki modelin amaç fonksiyonu, ağırlıklandırılmış şube kapanış zamanlarının maksimizasyonu $(Q/R//\sum w_j C_j)$ şeklindedir. Bu şekilde şube kapanış zamanlarını mümkün olan en geç saate erteleyerek istenilen tamamlanma zamanında işlerin tamamlanması amaçlanmaktadır. Diğer yandan, şubelere ait kapanış zamanlarının ertelenmesinin ya da öne alınmasının müşterilerden toplanan kargo sayısında önemli bir değişikliğe neden olmayacağı varsayılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında düşünülen bir diğer varsayım, transfer merkezinde boşaltım işlemine giren araçların işlerinin ertelenmesi, bölünmesi ve iptal edilmesine izin verilmemesidir. Yani bir araç herhangi bir kapıda, belirlenen bir sırada boşaltma işlemine başladıysa, araç tamamen boşaltılmadan kapıdan ayrılmayacaktır.

Ek olarak, transfer merkezi belirlenen çalışma saatleri içerisinde çalışmakta ve saatlik olarak sahip olduğu kapasite ve işgücü değişkenlik göstermemektedir. Bu şekilde, tez çalışmasının incelediği sisteme ait problem, literatürde bulunan diğer çalışmalarla benzerlik gösterse de yapısı itibariyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Problemin deterministik tam sayılı programlama modelinin çözdürülmesinde AMPL 11.2 yazılımı kullanılmıştır [18].

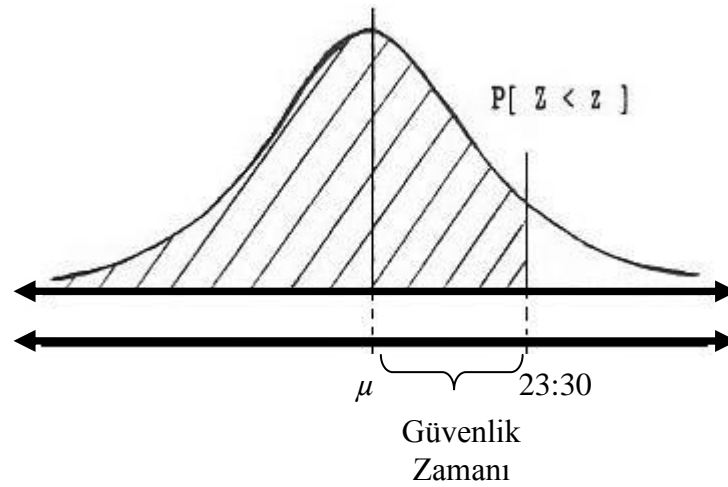
7. MATEMATİKSEL MODEL

Tez çalışmasında incelenen sisteme ait problemlerin çözümü için tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Söz konusu sistemde darboğaz, şube araçlarının boşaltılması operasyonudur. Bu model, 52'si şehir içinde ve 28'i sanayi bölgesinde olmak üzere toplamda 80 şubeye ait aracını; sanayi bölgesi araçlarının yalnızca 4'ünü, şehir içi araçlarının ise tümünü kullanabildiği, toplamda 7 adet boşaltma kapısının bulunduğu, transfer merkezinin boşaltma kapılarına atanmasını ve kapılara atanan araçların çizelgelenmesini sağlamaktadır.

Şube araçları, saat 19:00 ile 21:30 arasında şubelerden çıkışlarını gerçekleştirmektedir. Araçlar, şubelerden transfer merkezine, mesafelerine bağlı olarak 10 – 60 dakikalık bir transfer süresi sonunda gelmektedir. Sistemde var olan 28 sanayi bölgesi şubesine ait araç, boşaltma bölgesindeki 1, 2, 6 ve 7. kapılara atanabilmektedir. Geri kalan 52 şehir içi şubesine ait araç ise öncelikli olarak 3, 4 ve 5. kapılar olmak üzere, uygun oldukları sürece tüm boşaltma kapılarına atanabilmektedir. Sanayi bölgesine ait şubelerin araçlarının taşıdıkları kargolar büyük hacimli, ağır olabilmektedir ve insan gücü ile taşınabilecek yapıda olmayabilirler. Bu durumda, sanayi bölgesinden gelen araçların kargolarını boşaltmak için transfer merkezinde bulunan forkliftler veya el arabaları araçlara yanaştırılır ve bu yükler araçlardan çıkartılır. Şehir içi araçlarına ait kargolar ise çoğunlukla insan gücü ile taşınabilecek yapıdadır ve araçlar boşaltma kapılarına yanaştığında işçiler paketleri otomatik konveyöre yükleyerek aracı boşaltırlar.

Transfer merkezinde şube araçlarının boşaltılması operasyonunun, ilk şube aracının boşaltma alanına geliş hedef saati olan 19:30'da başlaması ve ideal olarak son şube aracının boşaltma işleminin 23:30'da bitmesi öngörülür. Bu yaklaşım vaka probleminin deterministik olarak modellenmesinde, araçların işlem tamamlanma zamanını ifade eden bir değişkenin tüm şubeler bazında toplanmasıyla kontrol edilmektedir. Bir araca ait işlem tamamlanma zamanı; ilgili aracın şube çıkış zamanı, transfer merkezine ulaşım süresi ve atandığı boşaltma kapısındaki işlem sürelerinin toplamı olarak ifade edilmektedir. Modelde, toplam tamamlanma zamanının normal olarak dağıldığı varsayılmaktadır. Toplamda sistemde bulunan 80 şubeye ait araçlar 7 boşaltma kapısına atandığında, her bir kapı başına yaklaşık olarak 12 araç düşmektedir.

Vaka probleminde, diğer tüm sistemlerde bulunduğu gibi belirsizlik kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların, sistem üzerindeki tüm etkilerini deterministik modellerde tam olarak yansıtmak her zaman mümkün olmamaktadır. Ele alınan çalışmada, sistemde var olan en önemli belirsizlik kaynakları olan araç boşaltma sürelerinde ve araç transfer sürelerindeki değişkenlik modele yaklaşık bir şekilde yansıtılmıştır. Bu işlem yapılırken izlenen yöntem, gün sonu hedef saatinin (23:30) istenilen bir güvenlik düzeyinde belirli bir güvenlik zamanı kadar geri çekilmesi ve tüm araçlara ait ortalama boşaltma bitiş süresinin yeni oluşturulan bu zamana kadar bitirilmiş olmasını kapsar (Şekil 7.1).



Şekil 7.1: Sistemdeki değişkenlik için belirlenen güvenlik zamanı

Bu şekilde “ μ ” ile gösterilen değer, geri çekilmiş hedef kapanış zamanını belirtmektedir. Şekil 7.1’de ifade edilen güvenlik zamanı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{Güvenlik Zamanı} = z_{1-\alpha} \times \sqrt{N_{ort} \times \sigma_p^2 + \sigma_T^2} \quad (7.1)$$

(7.1)’de belirtilen $z_{1-\alpha}$, $(1 - \alpha)$ güvenlik düzeyindeki standart normal dağılım değerini (z); N_{ort} , her bir kapı başına düşen ortalama araç sayısını ifade etmektedir. σ_p^2 ifadesi, tüm araç boşaltma zamanlarının varyansını, σ_T^2 ise, araçların ulaşım sürelerinin varyansını ifade etmektedir. İzlenen söz konusu prosedür ile tüm araçlara ait boşaltma işlemi hedef bitiş saati 23:30’dan daha erken bir vakite kaydırılacak ve böylece sistemdeki belirsizlik kaynaklarından gelen olası değişkenlikler, belirlenen güvenlik zamanı tarafından absorbe edilecek ve tüm araçlara ait boşaltma işlemlerinin bitiş süreleri büyük olasılıkla saat 23:30’u aşmayacaktır.

Söz konusu sistemde cevabının bulunması istenilen problem yukarıda anlatılan kısıtlar altında; ağırlıklandırılmış şube kapanış zamanlarının toplamını maksimize etmek amacıyla, şube kapanış zamanlarının ne olacağına, şube araçlarının boşaltma kapılarına nasıl atanacağına ve bu kapılardaki işlem sıralarının ne olacağına karar verilmesidir. Şubelere atanan ağırlıklar sistem yöneticileri tarafından belirlenmiştir.

7.1. Model Formülasyonu

Problemin formülasyonunda, özdeş ve özdeş olmayan paralel makinelerin çizelgelenmesini inceleyen Chen ve Powel'in [17] çalışmasından yararlanılmıştır. Bu modelden farklı olarak, şube araçlarının transfer merkezindeki boşaltma alanında hazır olma zamanları ve şubelere ait araç çıkış zamanları değişken olarak alınmıştır ki bu durum modeli çok daha karmaşık hale getirmektedir.

7.2. Modelin Karar Değişkenleri ve Parametreleri

Tamsayıli modelde kullanılan üç temel karar değişkeni vardır. Bunlar şube araçlarının atandıkları kapıları, o kapılardaki sıralarını ve şubelerden araçların çıkış zamanlarını gösteren değişkenlerdir.

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ işi } i \text{ işinden hemen sonra, } k \text{ kapısına atanırsa} \\ 0, & \text{d. d} \end{cases}$$
$$\forall i, j = 1..80, \forall k = 1..7$$

$$X_{0j}^k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ işi } k \text{ kapısında ilk iş olarak atanırsa} \\ 0, & \text{d. d} \end{cases}$$
$$\forall i, j = 1..80, \forall k = 1..7$$

$$Cl_i = i. \text{şubenin araç çıkış zamanı } \forall i = 1..80$$

Modelde kullanılan diğer değişkenler, şube araçlarının boşaltma kapılarındaki işlemlerinin bitiş zamanını ve araçların boşaltma kapılarında hazır olma zamanını gösteren değişkenlerdir.

$$C_i = i. \text{ şubeye ait aracın boşaltma işleminin bitiş zamanı } \forall i = 1..n$$

$$R_i = i. \text{ şubeye ait aracın boşaltma kapılarında hazır olma zamanı } \forall i = 1..n$$

Değişkenlere ek olarak tam sayılı modelde kullanılan çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bunlar, araçların şubelerden çıktıktan sonra transfer merkezine gelene kadar geçirdikleri süreler, atandıkları kapılardaki işlem süreleri ve şirket tarafından belirlenen her bir şubeye ait ağırlık değeridir.

$$T_i = i. \text{ şubeden transfer merkezine ortalama ulaşım süresi } \forall i = 1..80$$

$$P_{ik} = i. \text{ şubenin } k \text{ kapısındaki ortalama boşaltma zamanı}$$

$$\forall i = 1..80, \forall k = 1..7$$

$$w_i = i. \text{ şubeye ait ağırlık değeri } \forall i = 1..80$$

$$M = \text{Yeterince büyük bir sayı}$$

7.3. Modelin Genel Formu

Belirtilen karar değişkenleri ve parametrelerin yer aldığı tam sayılı matematiksel model aşağıdaki gibidir:

$$\max \sum_{i=1}^{80} w_i \times Cl_i \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^7 \left(\sum_{i=1}^{80} X_{ij}^k + X_{0j}^k \right) = 1, \quad \forall j = 1..80 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{80} X_{0j}^k \leq 1, \quad \forall k = 1..7 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{80} X_{ij}^k + X_{0j}^k = \sum_{i=1}^{81} X_{ji}^k, \quad \forall j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^{80} X_{ij}^k = 0, \quad \forall j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (5)$$

$$R_i = Cl_i + T_i, \quad \forall i = 1..80 \quad (6)$$

$$C_j - R_j \geq P_{jk} - (1 - X_{0j}^k) \times M, \quad \forall j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (7)$$

$$C_j - C_i \geq P_{jk} - (1 - X_{ij}^k) \times M, \quad \forall i, j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (8)$$

$$C_j - R_j \geq P_{jk} - (1 - \sum_{i=1}^{81} X_{ij}^k) \times M, \quad \forall j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (9)$$

$$0 \leq Cl_i \leq 150, \quad \forall i = 1..80 \quad (10)$$

$$0 \leq C_i \leq 270, \quad \forall i = 1..80 \quad (11)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i, j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (12)$$

$$X_{0j}^k \in \{0,1\}, \quad \forall j = 1..80, \quad \forall k = 1..7 \quad (13)$$

Amaç fonksiyonu (1) ağırlıklandırılmış şube kapanış zamanlarının toplamını maksimize etmeyi ifade etmektedir. Kısıt (2) bir aracın, her hangi bir kapıda ya ilk araç olabileceğini ya da kendinden önce başka bir aracın gelebileceğini belirtmektedir. Kısıt (3)'te, bir aracın, tüm kapılar değerlendirildiğinde, bunlardan en fazla birinde ilk araç olarak bulunabileceği ifade edilmektedir. Kısıt (4)'te anlatılmak istenen ise, eğer bir kapıda bir araçtan önce başka bir araç bulunuyor ise veya söz konusu araç bir kapıda ilk iş ise, aynı kapıda kendinden sonra da başka bir aracın bulunması gerektiğidir. Söz konusu araç eğer o kapıda son araç olarak bulunuyor ise kendisinden sonra, bir kukla araç olan 81. araç gelmektedir. Kısıt (5), bir kapıdaki araç sıralamasında, bir aracın kendinden sonra gelen araç ile aynı olamamasını sağlar. Kısıt (6), şube araçlarının transfer merkezindeki boşaltma alanında hazır olma zamanlarının, şube kapanış zamanları ile araçların transfer süreleri toplamına eşit olduğunu ifade etmektedir. (7) numaralı kısıtta, bir boşaltma kapısında bir araçtan önce başka bir aracın olması durumunda, bu aracın boşaltma işleminin tamamlanma zamanı ile kendinden önceki aracın boşaltma kapısındaki hazır olma zamanı arasındaki farkın en az, söz konusu aracın boşaltma zamanı kadar olması amaçlanmaktadır. (8) numaralı kısıt ile amaçlanan, bir boşaltma kapısında bir araçtan önce başka bir aracın olması durumunda, bu aracın boşaltma işleminin tamamlanma zamanı ile kendinden önceki aracın boşaltma zamanı arasındaki fark en az, söz konusu aracın boşaltma zamanı kadar olmasıdır. (9) numaralı kısıt, tüm araçlar için geçerlidir ve eğer bir araç bir kapıya atandıysa, bu aracın boşaltma işleminin tamamlanma zamanı ile kendinden önceki aracın boşaltma kapısındaki hazır olma zamanı arasındaki farkın en az,

söz konusu aracın boşaltma zamanı kadar olması gerektiği amaçlanmaktadır. (10) ve (11) numaralı kısıtlar sırasıyla, şubelerden araç çıkış zamanları ve araçların boşaltma işlemi tamamlanma zamanlarının alabilecekleri değerlere ait aralıkları göstermektedir. (12) ve (13) numaralı kısıtlar, karar değişkenlerinin 0 – 1 tamsayı değer alabileceğini ifade eder.

Modelde ifade edilen zaman çizelgesini gerçek hayatta var olan sistem ile karşılaştıracak olursak, saat 19:00 söz konusu modelde zaman çizelgesi üzerinde sıfıra denk gelmektedir. Modeldeki 150. ve 270. dakikalar gerçek hayatta sırasıyla saat 21:30 ve 23:30'u ifade etmektedir.

Oluşturulan modelin tamsayı olarak, olduğu gibi çözülmesi çözüm süresi itibariyle çok zordur. Oluşturulan matematiksel modelde, sadece 0 – 1 tamsayı karar değişkenlerini ele alacak olursak $(80^2 \times 7) + (80 \times 7) = 45.360$ adet ikili tamsayı değişkeni vardır. Toplamda 240 adet olan Cl, C ve R değişkenleri de eklendiğinde modeldeki toplam değişken sayısı 45.600 olmaktadır ve modelin tamsayı olarak çözülememesindeki nedenlerden biri budur. Diğer bir neden ise araçlara ait boşaltma işlemi sürelerinin eşit değil, her kapıda her araca göre farklılık göstermesidir. Her bir şubeye verilen ağırlık değerleri göz önünde bulundurularak üst sınıfa ait araçlar model tarafından, daha geç bir saatte şubelerden çıkarılmak istenmektedir fakat bu noktada araçların farklı kapılardaki farklı işlem süreleri devreye girdiğinde çözüm süresi, 20 araç ve 3 kapılık küçük problemler için yaklaşık 10 dakika olarak gerçekleşmiştir. Problem boyutu 30 araç – 4 kapıya çıkarıldığında ise 3.17 GHZ'lik CPU değerine ve 8 GB'lık hafızaya sahip bilgisayar ile hafıza probleminden dolayı çözüm vermemektedir. Bununla başa çıkabilmek için 0 – 1 tamsayı değişkenlerin gevşetilmesi ve değişkenlerin belirli değerlere sabitlenmesini temel alan, sezgisel bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir.

7.4. Sezgisel Çözüm Yaklaşımı

Uygulanan sezgisel yöntemin temeli, araçları öncelikle boşaltma kapılarına atamak, ardından da bu kapılardaki işleme giriş sıralarına karar vermektir. Matematiksel modelin tamsayı olarak bir çözüm vermemesi üzerine geliştirilen sezgisel yaklaşımın adımları genel hatlarıyla şu şekildedir:

- 1- Şube araçlarının boşaltma kapılarına atanması

- a) 0 – 1 tamsayılı değişkenleri gevşeterek modelin doğrusal olarak çözümlenmesi
- b) Bir aracın, atanma değişkenlerinin (ilk sıra ve diğer sıralar için) en yüksek olduğu üç kapının seçilmesi ve diğer kapıların, söz konusu aracın atanmaması için kapatılması
- c) Seçilen üç kapı için modelin tekrar doğrusal olarak çözümlenmesi
- d) Her bir aracın atandığı kapıyı gösteren atama değerinin en yüksek olduğu kapının seçilmesi ve araçların bu kapılara atanması
- e) Her bir kapıya atanan araç sayılarının kontrol edilerek, kapılara atanan en az ve en çok sayıdaki araç değerlerinin farkının belirlenen denge parametresine eşit veya bu değerden küçük olmasının sağlanması. Böylece kapılara atanan araç sayıları dengeli olacaktır. Örneğin bir kapıya 15 araç atanmışken diğer bir kapıya 7 araç atanması durumunun önüne geçilecektir. Dengeleme işlemi sırasında her hangi bir kapıdan çıkartılacak araç seçilirken, doğrusal model çözümüne göre o kapıya atanması kararı en zayıf olan araç seçilir.

2- Kapılara atanan şube araçlarının işlem sıralarına karar verilmesi

- a) İlk kısımda gerçekleştirilen araç – kapı atamalarının temel alınarak problemin, her bir kapı bazında tamsayılı olarak “Tek Makine Çizelgelenmesi Problemi” şeklinde çözümlenmesi (önceden oluşturulan matematiksel modelin tek kapı için çözümlenmesi)
- b) Her bir ayrı kapı probleminin amaç fonksiyonu değerlerinin toplanarak toplam amaç fonksiyonu değerinin, araçların atandıkları kapıların, bu kapılardaki çizelgelerin ve araçların şube çıkış saatlerinin elde edilmesi

Uygulanan sezgisel çözüm yaklaşımının etkinliği, sayısal deneyler tasarlanarak test edilmiştir. Deneyler, farklı ölçekte problemler için rassal olarak oluşturulmuş ve yaklaşımın etkinliği orijinal modelin küçük çaplı bir örneği ile karşılaştırılarak incelenmiştir. İlgili AMPL dosyaları EK A’da verilmiştir.

7.5. Sayısal Deneyler

Sezgisel yaklaşımın etkinliğinin ölçülmesi için oluşturulan deneylerin tasarımında, 30 ve 40 şubelik farklı iki problem kümesi ele alınmıştır. Bu problemlerin her birinde

modeldeki araç transfer süresi ve boşaltma kapılarındaki işlem sürelerine ait parametreler rassal olarak oluşturulmuş ve bu şekilde oluşturulan 100 problem çözdürülmüştür. Araç transfer süreleri en düşük değeri 10 en büyük değeri 60 dakika, boşaltma kapılarındaki işlem süreleri ise en düşük değeri 5 en büyük değeri 25 dakika olan düzgün dağılımla oluşturulmuştur. Bu değerler, gerçek sistemde gözlenen değerlere göre verilmiştir. Şubelere ait ağırlık değerleri firmadan alınmış olup 0,5 ile 2,5 arasında, birim artışı 0,5 olan değişken değerler almaktadır. Bu varsayımlar altında dört farklı senaryo oluşturulmuştur ve her bir senaryo için 100 rassal problem çözdürülmüştür. Bu senaryolar, kapılardaki araçlara ait denge parametresinin sırasıyla iki ve üç olduğu durum ile araçların boşaltma kapılarındaki işlem bitiş sürelerinin 30 araçlık deney kümesi için sırasıyla 120 ve 140 dakika olduğu durumlar olarak tasarlanmıştır (Çizelge 7.1). Ayrıca 40 araçlık deney kümesi için ise sırasıyla 140 ve 160 dakikalık senaryolar incelenmiştir (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.1: 30 Araçlık deney kümesi için incelenen farklı senaryolar

Denge Parametresi	Boşaltma İşlemi Bitiş Zamanı	
	120(dk)	140(dk)
2	Senaryo 1	Senaryo 2
3	Senaryo 3	Senaryo 4

Çizelge 7.2: 40 Araçlık deney kümesi için incelenen farklı senaryolar

Denge Parametresi	Boşaltma İşlemi Bitiş Zamanı	
	140(dk)	160(dk)
2	Senaryo 5	Senaryo 6
3	Senaryo 7	Senaryo 8

Çizelge 7.1’de verilen ilk dört senaryo ve Çizelge 7.2’de verilen diğer dört senaryo incelenerek en uygun denge parametresi seçilecektir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için ele alınacak birincil performans ölçütü, her bir rassal problem için sezgisel yaklaşımın verdiği çözüm ile tamsayılı modelin direk çözümü sonucu elde edilen değer arasındaki

farktır. Ek olarak bu farkların standart sapmaları da performans ölçütü olarak ele alınacaktır (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3: Sayısal deney sonuçlarına ait performans ölçütleri

	Senaryolar	Denge Parametresi	Hedef Tamamlanma Zamanı (dk)	Optimale göre Ortalama Fark (%)	Standart Sapma (%)
30 Araçlık Problem	1	2	120	4,96	2,10
	2		140	0,89	0,69
	3	3	120	4,64	4,40
	4		140	0,65	0,77
40 Araçlık Problem	5	2	140	8,01	2,35
	6		160	1,13	0,75
	7	3	140	5,59	1,80
	8		160	1,37	0,83
Ortalama				3,405	

Çizelge 7.3'te yer alan ortalama fark değerleri incelendiğinde görülmektedir ki düşünülen sezgisel yaklaşım kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Sezgisel yaklaşımın amaç fonksiyonu ile tamsayılı modele ait amaç fonksiyonu değerlerinin farkı 0,7% – 8% arasında dağılan bir görüntü oluşturmaktadır ve bu, özellikle de sezgisel yaklaşımın çözüm süresi göz önüne alındığında söz konusu deneyler için makûl bir aralık olduğu söylenebilir. 30 ve 40 araçlık problem kümelerinde, oluşturulan 100 rassal probleme ait çözüm sürelerinin ortalaması yaklaşık 40 dakikadır.

Sezgisel yaklaşımın performansının, tamamlanma zamanının daralması ile kötüleştiği Çizelge 7.3'te görülmektedir. Senaryo 1 ve Senaryo 3'e ait ortalama fark değeri, Senaryo 2 ve Senaryo 4'e göre daha fazla gerçekleşmiştir. Bu, söz konusu senaryolarda, üst sınır değeri olan gevşetilmiş modele ait sonuçtan daha fazla uzaklaşma belirtir ki bir maksimizasyon probleminde bu kötü bir sonuç anlamına gelmektedir. Aynı şekilde Senaryo 5 ve Senaryo 7'ye ait fark değerleri, Senaryo 6 ve Senaryo 8'e göre daha

büyüktür. Bu karşılaştırma da göstermektedir ki Senaryo 5 ve Senaryo 7’de incelenen düşük tamamlanma zamanı hedefi, sezgisel yaklaşımın performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun nedeni, üst sınır değeri gevşetildiğinde atama problemi itibariyle optimal ya da optimale yakın çözümlerin sayısının artması ve sezgiselin bu çözümlerden birini bulma olasılığının artmasıdır.

Sezgisel yaklaşımın performansı, rassal problemlere ait ortalama fark değerlerinin standart sapmalarından yola çıkarak da değerlendirilebilir. Burada önceki yorumlara benzer olarak, düşük tamamlanma zamanı hedeflerinde, yüksek olanlara göre daha yüksek standart sapma değerlerinin göze çarptığı görülmektedir. Sırasıyla Senaryo 1 ve Senaryo 3’te, Senaryo 2 ve Senaryo 4’e göre; aynı şekilde Senaryo 5 ve Senaryo 7’de de, Senaryo 6 ve Senaryo 8’e göre daha fazla değişkenlik olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.3’ten çıkarılabilecek bir diğer sonuç da, araç sayısındaki artışın, sezgisel yaklaşımın performansı üzerinde olumsuz etki yarattığıdır. 40 araçlık senaryolara ait ortalama fark değerlerinin, 30 araçlık senaryolara ait ortalama fark değerlerinden daha büyük olduğu, yani kabul edilebilir üst sınır değerinden uzaklaştığı görülmektedir.

Son olarak, denge parametresinin yüksek değerli olmasının, ortalama fark üzerinde azaltıcı etki yarattığı görülmüş ve 80 şubelik vaka probleminin sezgisel yaklaşımla çözümünde, bu parametreye ait değer üç olarak alınmasının mantıklı olacağına karar verilmiştir.

7.6. Vaka Probleminin Çözümünde kullanılan Sezgisel Yaklaşımdaki Değişiklikler

Tüm şubelerin yer aldığı orijinal probleme ait çözüm için 80 şubenin araçlarına ait transfer süreleri, her bir kapıdaki boşaltma işlemi süreleri ve şube ağırlıkları modele dâhil edilmiştir. Daha önceden açıklanan sezgisel yaklaşım adımlarının izleneceği çözüm yönteminde, orijinal problemin çözümü için bir takım modifikasyonlar yapılmıştır. Bunun nedeni, 80 şubelik orijinal problemin çözüm süresinin artarak, bellek yetersizliği problemine yol açmasıdır. Ortaya çıkan bu problem irdelendiğinde, matematiksel modelin çözümünde kullanılan CPLEX’in çalışma prensiplerinin, mevcut modelin oluşturulan sezgisel yaklaşımla çözümü için yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır. Tez çalışmasında ele alınan problem için oluşturulan modelde literatürdeki benzerlerinden

farklı olarak, şubelere ait araç çıkış saatlerinin de değişken olarak belirlenmesi, modelin çözüm için ihtiyaç duyduğu bellek miktarını ve çözüm süresini oldukça arttırmaktadır.

Sorunun çözümü için, atama ve daha sonra sıralama olmak üzere iki aşamalı olarak belirtilen sezgisel yaklaşımın ikinci adımı olan sıralama kısmında bazı değişiklikler yapılmıştır. İlk olarak, sezgisel yaklaşımın genel yapısından sıralama adımı çıkarılarak yöntemin sadece atama adımından oluşması sağlanmıştır. Bunun sonucu olarak araçların transfer merkezi kapılarına atanmalarını çıktı olarak elde edilmiş olmaktadır. Daha sonra elde edilen araç – kapı bilgisinden yararlanılarak her bir kapı problemi, şubelerin ağırlıkları bakımından yüksek ve düşük öncelikli iki grup oluşturulması şeklinde ele alınmıştır. Bu şekilde her bir kapıya atanan araç miktarı aynı kalmakla birlikte araçların kapılardaki sıralamaları, tek bir modelde değil, iki farklı modelde çözülerek belirlenecektir. Bu yaklaşım ile daha önceden çözülemeyen bütünleşik yaklaşım, alt parçalara ayrılmış ve çok kısa bir süre içerisinde sonuç verebilir hale getirilmiştir. Böylece ilk belirlenen sezgisel yaklaşımda bazı kapı problemlerin hafıza sorunu nedeniyle çözülemediği durumlar, yapılan değişikliklerle hesaplama zamanı olarak ortalama 15 saniyenin altındaki bir sürede çözülebilmektedir.

7.7. Vaka Probleminin Farklı Güvenilirlik Seviyelerine Ait Senaryoları

Tez çalışmasında ele alınan sistemin ele alındığı orijinal problem, her bir kapı bazındaki güvenlik düzeyleri %90, %95 ve %99 olan üç farklı senaryo ile incelenmiştir. Bunun nedeni, araçların farklı güvenlik seviyelerindeki çizelgelerinin ne şekilde oluştuğunu, oluşturulan çizelgelerin uygulanabilir olup olmadığını görmek ve sistem yöneticilerine farklı alternatifler sunmaktır.

Eşitlik (7.1)'de verilen formülasyon ile hesaplanan güvenlik zamanları, ele alınan her bir güvenlik düzeyi için hesaplanmıştır (Çizelge 7.4). %90 güvenlik düzeyinde, sistemde var olan değişkenliği absorbe etmesi istenen güvenlik zamanı, %95 ve %99'luk düzeylerdeki güvenlik zamanlarına göre daha düşük çıkmaktadır. Bunun nedeni kabul edilebilir hata payının ilk durumda daha büyük olmasıdır. Fakat tüm araç boşaltma işlemlerinin %99 ihtimalle, transfer merkezi boşaltma işlemi hedef saati olan 23:30'dan önce tamamlanmasının istendiği durumda, söz konusu güvenlik zamanı %90 ve %95'lik güvenlik düzeylerine göre daha büyük olacaktır.

Çizelge 7.4: Farklı güvenlik düzeyleri için belirlenen yeni hedef saatler

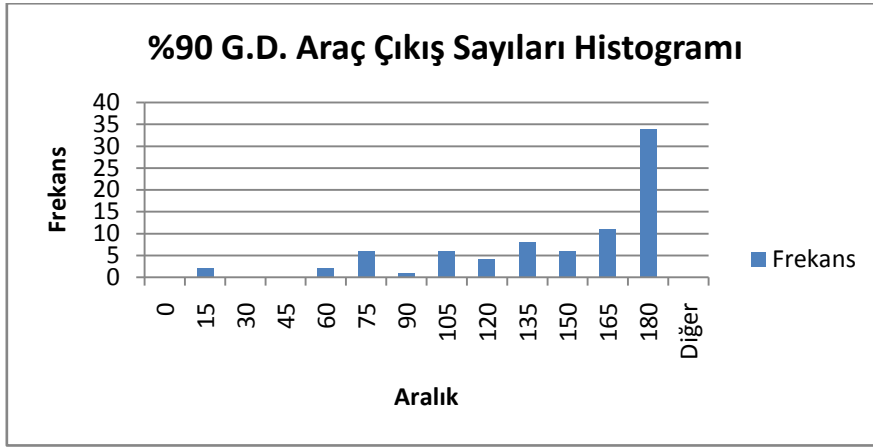
Senaryolar	Güvenlik Düzeyi (%)	Güvenlik Zamanı (dk)	Yeni Hedef Zaman
1	90	25	23:05
2	95	32	22:58
3	99	46	22:44

Çizelge 7.4'te hesaplanan yeni hedef zamanlara göre çözülen alternatif problemlerde oluşan farklı araç çizelgeleri EK B'de verilmiştir. Buna göre araçlara ait toplam tamamlanma zamanının %90 ihtimalle 23:30'dan önce bitirilmesi için, bu son sınır değerinin 25 dakika öne alınarak yeni hedef sürenin 23:05 olarak belirlenmesi gerekmektedir. Aynı şekilde eğer araçlara ait toplam tamamlanma sürelerinin %95 ve %99 ihtimalle 23:30'dan önce bitirilmesi istenirse, son sınır değerlerinin sırasıyla 32 ve 46 dakika öne alınarak, yeni hedef zamanlarının saat 22:58 ve 22:44 olarak planlanması uygun olacaktır.

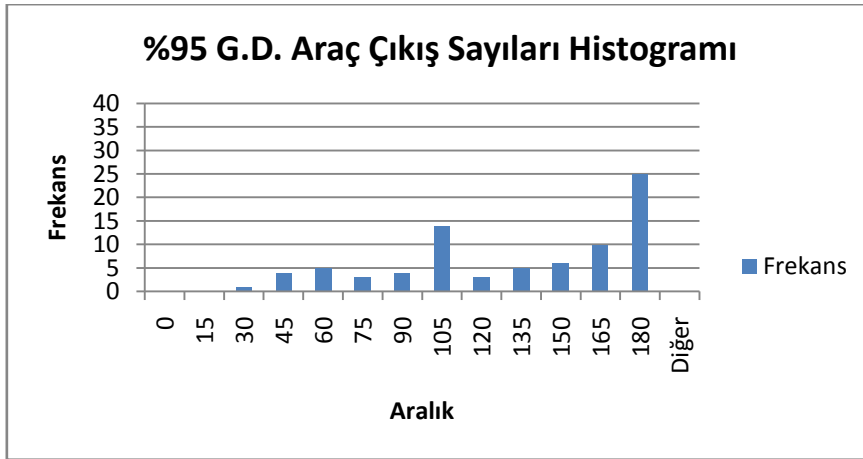
7.8. Vaka Problemine Ait Çözümler ve Çözümlerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, tez çalışmasında ele alınan orijinal vaka probleminin deterministik modelleme ile çözülmesinin ardından elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait yorumlar ele alınacaktır.

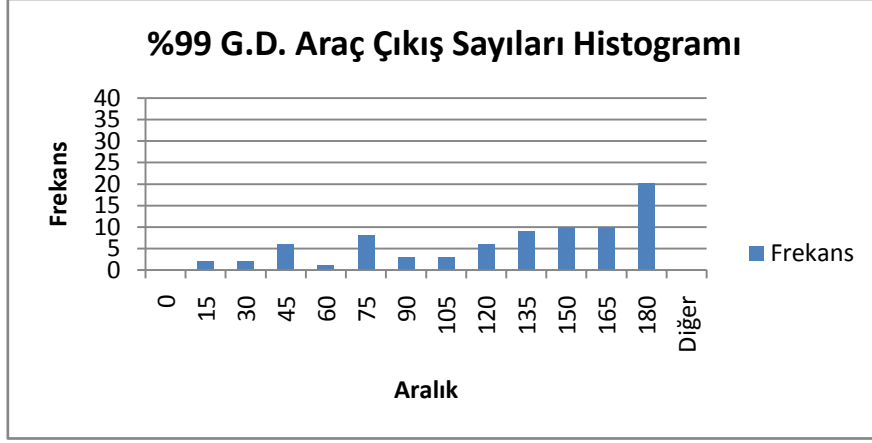
İncelenen problemin modellenmesinde temel performans ölçütü olarak araçların şubelerden çıkış zamanları ele alınmıştır. Matematiksel model senaryolarına ait araç çıkış zamanları EK C'de verilmiştir. Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te verilen histogramlar, farklı güvenlik düzeylerindeki araç çıkış sayılarının değişimini göstermektedir. %90 güvenlik düzeyinde araç çıkış zamanlarının zamana göre dağılımının gösterildiği Şekil 7.2'de, izin verilen en son araç çıkma saati olan 22:00'ye denk gelen 180. dakikada 34 aracın şubelerden çıkış yaptığı görülmektedir. Birinci senaryoda, tüm boşaltma işlemlerinin %90 olasılıkla saat 23:30'dan önce bitirilmesi hedeflendiğinden dolayı bu kadar fazla sayıda aracın saat 22:00'de çıkış yapmasına izin verilen bir çözüm oluşturulmuştur.



Şekil 7.2: 90% güvenlik düzeyinde araç çıkış sayılarının zamana göre dağılımı



Şekil 7.3: 95% güvenlik düzeyinde araç çıkış sayılarının zamana göre dağılımı



Şekil 7.4: 99% güvenlik düzeyinde araç çıkış sayılarının zamana göre dağılımı

Şekil 7.3 incelendiğinde görülmektedir ki, eğer transfer merkezindeki tüm boşaltma işlemlerinin saat 23:30'dan önce bitirilmesi istenirse, izin verilen en son araç çıkma saati olan 22:00'ye denk gelen 180. dakikada, şubelerden çıkan araç sayısının 25'e düştüğü görülmektedir. Son olarak Şekil 7.4'te, eğer tüm boşaltma işlemlerinin %99 olasılıkla limit değeri olan 23:30'dan önce bitirilmesi istenirse, izin verilen en son araç çıkma saati olan 22:00'ye denk gelen 180. dakikada, en fazla 20 aracın şubelerden çıkış yaptığı ve diğer araçların da mümkün olduğunca dengeli bir şekilde diğer zaman dilimlerinde çıkış yapacak şekilde düzenlenmiş oldukları görülmektedir.

80 şubelik orijinal problemin matematiksel modelin çözümü ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde ilk dikkati çekenin, mevcut duruma göre birçok şubeye ait araç çıkartma saatlerinin değişiyor olmasıdır. Bunun nedeni mevcut durumda firma tarafından uygulanan sistemin herhangi bir optimizasyon yapılmadan benimsenmiş olmasıdır. İncelenen senaryolarda görülmektedir ki, sistemin mevcut durumundaki amaç fonksiyon değeri (ağırlıklandırılmış araç çıkış zamanları toplamı) diğer üç senaryoya göre daha kötü bir sonuç vermektedir (Çizelge 7.5). Çizelge 7.5'te görüldüğü gibi düşünülen alternatiflerin, uygulanmaları durumunda mevcut duruma göre iyileştirme sağlayacağı anlamına gelmektedir.

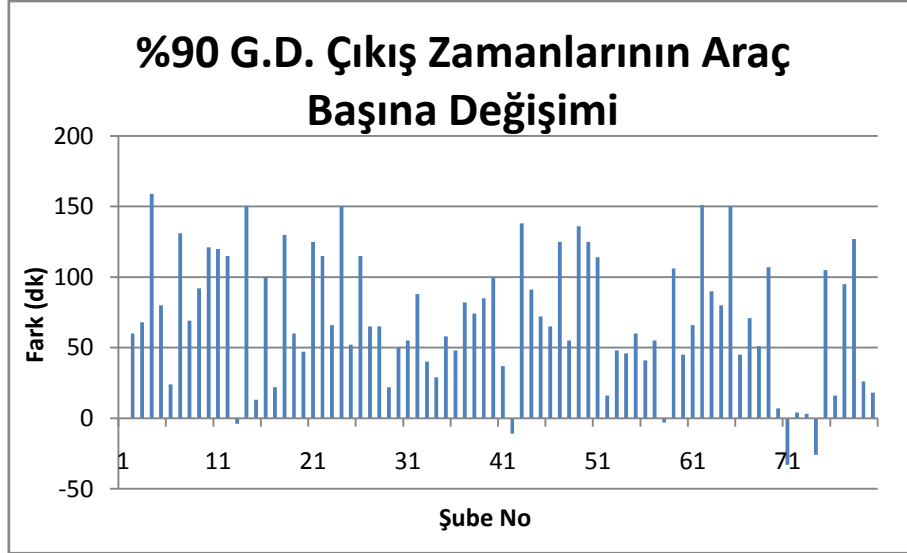
Çizelge 7.5: Farklı senaryolara ait amaç fonksiyonu değerleri

Sistem Durumu	Amaç Fonksiyonu Değeri
Mevcut Senaryo	9.609,5
Senaryo 1 (%90 G.D.)	19.449,5
Senaryo 2 (%95 G.D.)	18.808,5
Senaryo 3 (%99 G.D.)	17.196

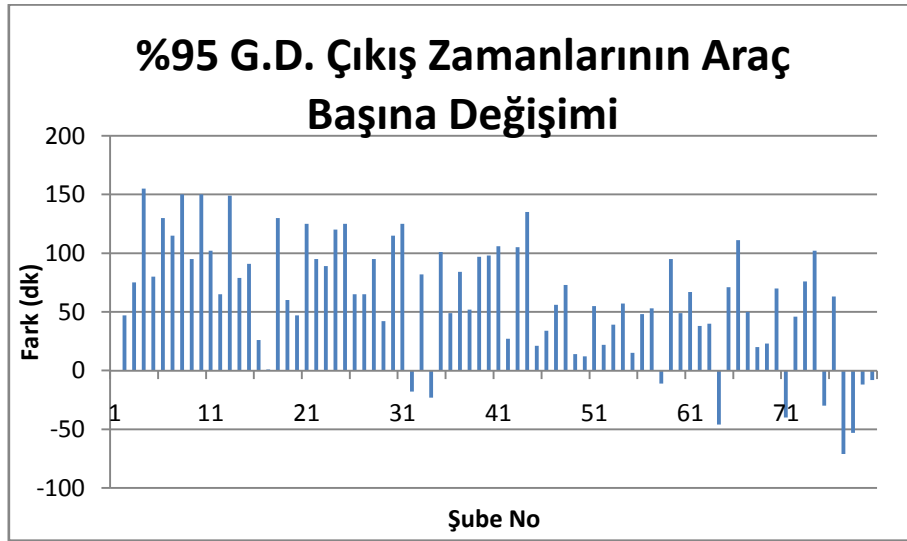
Elde edilen diğer bir önemli sonuç, transfer merkezine gelen araçların mevcut duruma göre daha dengeli bir şekilde boşaltma kapılarına atanmalarının sağlanmış olmasıdır. Mevcut durumda boşaltma kapılarına gelen araçlar, herhangi bir atama dengesi gözetmeksizin kapılara atanırken, alternatif senaryolarda en fazla iki veya üç araçlık bir farkla bu atamalar gerçekleştirilerek kapılarda çalışan personel için eşit yük dağılımı sağlanmıştır.

Orijinal problem için oluşturulan matematiksel modelin çözülmesi sonucu elde edilen diğer bir önemli çıktı da, araçların transfer sürelerine ve boşaltma sürelerine ait değişkenliğin hesaba katılarak, tüm işler için planlanan hedef bitiş zamanının son sınır olan 23:30'dan aşağı çekilmesidir. %90, %95 ve %99'luk güvenlik düzeylerinde bu düşüncenin mümkün olduğu görülmüştür ve bu yaklaşım sistemde meydana gelebilecek herhangi bir değişkenlik sonucunda son sınır olan 23:30'un aşılması şehirler arası dağıtım operasyonlarının aksamasını engellemiş olacaktır.

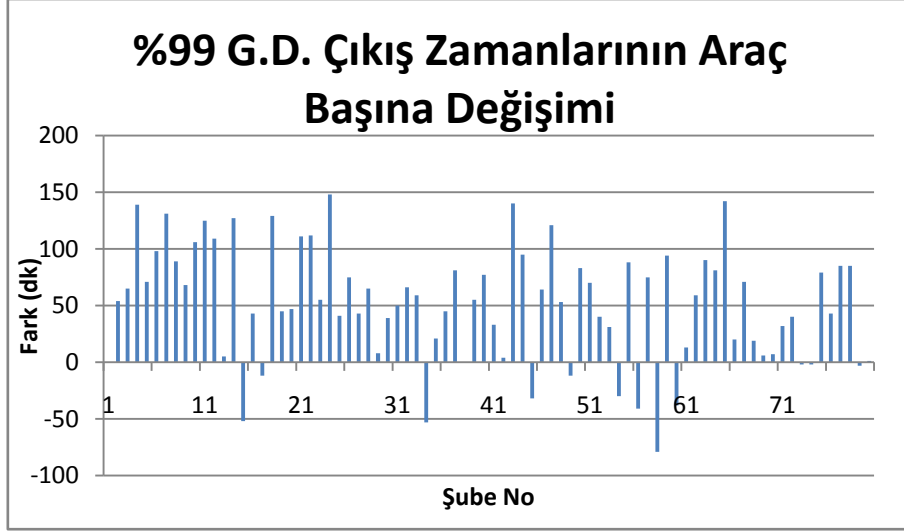
Yapılan bir diğer analiz ise incelenen senaryolarda her bir aracın, mevcut durumdakine göre şubelerden ortalama kaç dakika daha geç çıktığının belirlenmesidir. Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de her bir senaryoya ait, mevcut duruma göre araç çıkış zamanı farkları gösterilmektedir.



Şekil 7.5: 90% G.D. Senaryo 1 – Mevcut durum şubelerden araç çıkış zamanları farkı (ağırlıklara göre büyükten küçüğe sıralanmış halde)



Şekil 7.6: 95% G.D. Senaryo 2 – Mevcut durum şubelerden araç çıkış zamanları farkı (ağırlıklara göre büyükten küçüğe sıralanmış halde)



Şekil 7.7: 99% G.D. Senaryo 3 – Mevcut durum şubelerden araç çıkış zamanları farkı (ağırlıklara göre büyükten küçüğe sıralanmış halde)

%90 güven aralığında Senaryo 1 ile mevcut durumdaki şube çıkış zamanlarının farkının gösterildiği Şekil 7.5'te fark değerlerinin büyük bölümünün pozitif değer aldığı görülmektedir. Bu sonuç Senaryo 1'de, mevcut duruma göre araçların daha geç çıkış saatleri aldığını gösterir ve bir iyileştirme gerçekleştirildiğini ifade eder.

Şekil 7.6'da ise %95 güvenlik düzeyinde yine fark değerlerinin büyük bölümünün pozitif olduğu ve Senaryo 2'nin mevcut duruma göre daha iyi bir çözüm olduğu görülmektedir. Fakat Şekil 7.5'de Şekil 7.6'ya göre daha çok pozitif değer olması, Senaryo 1'in Senaryo 2'ye göre amaç fonksiyonu açısından daha iyi bir çözüm olduğunu ifade etmektedir.

Bir diğer analiz olan, %99 güvenlik düzeyinde Senaryo 3'ün mevcut durumla şube çıkış zamanları açısından değerlendirildiği durumda ise, 2. karşılaştırılmada olduğu gibi Şekil 7.7'de fark değerlerinin büyük bölümünün pozitif değer aldığı ve mevcut duruma göre daha iyi bir çözüm sağladığı görülmektedir. Yine 2. karşılaştırmada olduğu gibi, Şekil 7.5'te Şekil 7.7'ye göre daha çok pozitif değer olması, Senaryo 1'in Senaryo 3'e göre amaç fonksiyonu açısından daha iyi bir çözüm olduğunu ifade etmektedir.

Senaryo 2 ile Senaryo 3'ün kendi aralarında karşılaştırılmasını inceleyecek olursak, Şekil 7.7'de Şekil 7.6'ya göre 100 dakikadan büyük olan fark değerleri açısından daha fazla

veri olması Senaryo 2'nin, Senaryo 3'e göre amaç fonksiyonu değeri baz alındığında daha iyi bir çözüm olduğunu göstermektedir.

Her bir şube bazında, senaryolar ile mevcut durum şube çıkış zamanlarının karşılaştırılması incelenmiştir (Çizelge 7.6).

Çizelge 7.6: Şube çıkış zamanları açısından senaryoların mevcut durum ile karşılaştırılma ortalamaları

Senaryo	Ortalama Şube Çıkış Zamanlarındaki Değişim (dk)
1	70
2	56
3	52

Çizelge 7.6'da görüldüğü gibi Senaryo 1 şube çıkış zamanı açısından, mevcut duruma göre araç bazında 70 dakikalık bir erteleme sağlamıştır. İkinci olarak Senaryo 2, 56 dakikalık bir erteleme sağlamıştır ve son olarak Senaryo 3, şube çıkış zamanlarında mevcut duruma göre ortalama 52 dakikalık bir erteleme ve amaç fonksiyonu değerlerinde iyileştirme sağlamışlardır. Genel olarak bakıldığında matematiksel model senaryolarına ait sonuçlarda, mevcut duruma göre yaklaşık bir saatlik bir iyileştirme söz konusudur. Ancak sonuç itibariyle en anlamlı ve uygulanabilir senaryo, Senaryo 3'tür.

8. SİMÜLASYON MODELİ

Tez çalışmasında incelenen sistem yapısı itibariyle belirsizlikler içermektedir. İlk olarak, şube kapanış zamanlarında görülen 25 dakikaya varan sapmalar sistemin işleyişinde sorunlara yol açmaktadır. Araçların şubelerden belirlenen saatlerden daha geç çıkmaları, transfer merkezi boşaltma kapılarında belirli zaman dilimlerinde yığılmaya, belirli zaman dilimlerinde ise işgücünün boş beklemesine yol açacaktır.

İkinci olarak ele alabileceğimiz sistemdeki diğer bir belirsizlik kaynağı ise şubelerden çıkan araçların, transfer merkezine ulaşana kadar yolda geçirdikleri zaman dilimidir.

Doğası gereği bir belirsizlik içeren trafik faktörü, sistemin her aşamasında yapılan incelemelerde düşünülmesi gereken bir belirsizlik yaratmaktadır.

Son olarak ise transfer merkezi boşaltma kapılarındaki FIFO kuralı ile işleyen kuyruk yapısı sonucu oluşan beklemeler, bir belirsizlik kaynağı olarak belirtilebilir. Mevcut sistemde, farklı şubelere ait araçlar için bir öncelik tanımlanmadığından dolayı trafikte veya şube çıkış zamanlarında ortaya çıkan ve küçük gibi gözükken aksamlar, kırbaç etkisi olarak da bilinen bir etki ile sistemde yayılır ve sistemin son ayağı olan boşaltma kapılarında büyük bir sorun olarak kendini gösterir. Söz konusu belirsizliğin etkilerini bir örnek ile açıklamak gerekirse, mevcut planlamada A ve B şubeleri için belirlenen, transfer merkezine varış saatleri, sırasıyla 19:30 ve 19:55 olsun. A şubesine ait araç, çeşitli sebeplerden ötürü şubeden 15 dakika geç çıkmıştır. Transfer merkezinin bulunduğu Kazan ilçesinde yoğun olarak bulunan fabrika ve sanayi sitelerine gelen ve giden araçlardan dolayı söz konusu saat diliminde yoğun olan trafikten dolayı, A şubesine ait araç 10 dakika kadar da yol durumundan dolayı gecikmiş olsun ve saat 19:55'te transfer merkezindeki boşaltma alanına gelsin. A şubesine göre şehrin başka bir kısmından gelen ve trafiğe yakalanmayan, ayrıca şubesinden zamanında çıkan B aracı da hedeflendiği gibi saat 19:55'te, yalnız A aracından birkaç saniye sonra boşaltma alanında bulunsun. Bahsedilen senaryoda, diğer boşaltma kapılarının dolu olduğu bir durumda ve saat 19:55'te B aracı için ayrılan N numaralı boşaltma kapısına, yukarıda belirtilen aksamalardan ve şube araçları için bir öncelik belirlenmediğinden dolayı, A aracı yanaştırılarak boşaltma işlemine başlanmış olacaktır ve bir kez başlanan boşaltma işleminin yarıda kesilememesinden dolayı B şubesine ait araç, tüm planlamalara uymasına rağmen kuyrukta bekleyecektir. Söz konusu senaryo, 80 farklı şubeye ait araçlar için düşünüldüğünde boşaltma alanındaki kuyruklarının işleyişinin sistemin performansına etkisi daha iyi anlaşılmaktadır.

Gerçek hayatta var olan tüm bu belirsizliklerin, oldukları gibi kabul edilerek incelenmesi için simülasyon modellemesi kullanılmıştır. Deterministik modellemeden bağımsız olan bu modellemede, farklı senaryolar incelenerek sistemin değişik ortamlarda nasıl tepkiler verdiği gözlenmek istenmiştir.

8.1. Simülasyonla Cevaplanması Beklenen Sorular

Oluşturulan simülasyon modeli, sistem ile ilgili bazı soruların cevaplanması için kullanılacaktır. Bu sorular şu şekildedir:

- 1- Şube kapanış zamanlarındaki belirsizlik ortadan kalkarsa, var olan sistemin işleyişi ne şekilde olur?
- 2- Simülasyon modeli kullanılarak optimal araç çıkış zamanları nasıl olur?
- 3- Talepteki artış durumunda sistemin performansı nasıl etkilenir? Ek talebin karşılanması için mevcut boşaltma kapı sayısı ne olmalıdır?

Yukarıdaki sorular incelendiğinde, elde edilecek cevapların mevcut sistemin gerçek hayatta karşılaşılabileceği sorunların cevaplarına yakın olduğu anlaşılmaktadır. Cevaplanması düşünülen ilk soruda daha önceden bahsi geçen şube kapanış zamanlarındaki belirsizliğin en aza indirilmesi veya sıfırlanması, yani araçların şubelerden belirlenen zamanlarda çıkmaları durumunda sistem performansının ne olacağı araştırılmak istenmektedir. İkinci soruda ise mevcut sistemde bilimsel bir temele dayandırılmadan düzenlenen şube kapanış zamanları ve boşaltma kapılarına araç atamalarının, simülasyon yardımıyla sistemde bulunan söz konusu tüm belirsizlikler modele dahil edilerek optimize edilmesi istenmektedir. Optimizasyon için Arena simülasyon programının [13] OptQuest aracı kullanılmıştır. Optimizasyon aracı kullanıcı tarafından belirlenen amaç fonksiyonunu göz önünde bulundurur ve tüm kısıtların sağlandığı olurlu çözümler elde etmek için çalışır. Söz konusu optimizasyon aracının çalışması için optimize edilmek istenen parametreler, modelde değişken olarak belirtilir ve program bu değişkenlerin tüm olurlu çözümlerini göz önünde bulundurarak iyi bir amaç fonksiyonu değerine sezgisel olarak ulaşır. OptQuest optimizasyon aracı, saçılım analizi, doğrusal/tamsayılı programlama, tabu arama ve yapay sinir ağları ile çalışmaktadır ve isteğe bağlı olarak tek bir çözüm yerine belirli sayıdaki denenmiş en iyi çözümleri listeleterek en uygun olanının kullanıcı tarafından seçilmesine imkân vermektedir.

8.2. Model Varsayımları

İncelenen vaka probleminin simülasyon modeli oluşturulurken bir takım varsayımlar temel alınarak sürece başlanmıştır. Bu varsayımlardan yapısal olanları transfer, boşaltma ve araçların kapıya yanaşma sürelerinin, elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan dağılımlardan geldiğine dayanmaktadır.

Söz konusu çalışmada, incelenen mevcut durum ve farklı alternatif senaryolarda (talep artışı, kapı sayısının değişimi vb.), şubelerde mevcut kargo hacmini kaldırabilecek yeterli sayıda aracın bulunduğu varsayımı benimsenmiştir. Değişen kargo hacmine göre söz konusu gün için şubeden çıkan araç sayısı diğer günlere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Gerçek hayattaki sisteme bakıldığı zaman da, bazı değişiklikler dışında genel yapı itibariyle bu tarz bir yaklaşımın benimsendiği görülmektedir.

Gerçek hayatta sistemdeki günlük boşaltma operasyonu toplam tamamlanma zamanı 6 saat (300 dakika) olarak alınmış ve sistem yöneticileri tarafından gerçekleştirilmesi düşünülen 270 dakikalık hedef süre senaryo analizlerinde denenmiştir.

Simülasyon modeli her biri bir günü ifade etmekte olan 500 tekrardan oluşmaktadır ve bu 500 günlük çalışmada gerçekleşen, günlük boşaltma operasyonu toplam tamamlanma zamanı performansı yüzdesi temel performans ölçütü olarak benimsenmiştir.

8.3. Performans Ölçütleri

Oluşturulan simülasyon modellemesinde mevcut durum ile alternatifler karşılaştırabilmek için bazı performans ölçütleri belirlenmiştir. İlk olarak, transfer merkezi boşaltma alanındaki işlerin tamamlanma zamanı performansı, kullanılacak olan performans ölçütlerinden en önemlisini oluşturmaktadır. Transfer merkezinde akşam operasyonunu oluşturan şube araçlarının boşaltma işlemi, merkezde bulunan şehirler arası çalışan tırların hazırlanarak yola çıkabilmesi için en geç saat 23:30'da, modelde kullanılan zaman çizelgesine göre ifade edilecek olursa 270. dakikadan önce bitmiş olmalıdır. Bu noktada, sistemin performansının güvenilir bir tahminci olabilmesi için incelenecek senaryolara göre, örneğin 500 ya da 1000 günlük bir çalışma periyodunda, boşaltma işlerinin yüzde

kaçının 270 dakikadan az bir sürede bitirildiği bilgisi etkin bir performans ölçütü olacaktır.

Modelde incelenen bir diğer performans ölçütü ise transfer merkezinin boşaltma alanında bulunan, ortalama araç sayısıdır. Bu performans ölçütü, simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde ve alternatif sistemlerin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Boşaltma alanına gelen araçların sayıları, belirli zaman aralıkları içerisinde kaydedilmiş ve ortalama değerleri not edilmiştir. Bu bölüm daha detaylı olarak Bölüm 8.8, Doğrulama ve Geçerlilik Analizinde incelenecektir.

Gerçek sistemden elde edilen bu ortalama değer, simülasyon modelinden elde edilen aynı performans ölçütüne ait ortalama değer ile karşılaştırılır. İkili – t testi kullanılarak 95% güven aralığında gerçekleştirilen, performans ölçütlerine ait ortalamaların farklarının karşılaştırılması sonucu elde edilen yarı genişlik değeri, eğer sıfırı içeriyor ise söz konusu iki sistem arasında belirgin bir fark olmadığı kabul edilir yani iki sistem birbirlerine benzer özellik göstermektedir ve bu, simülasyon modelinin gerçek hayattaki sistemi iyi bir şekilde yansıttığını ifade eder.

Söz konusu test, farklı senaryoların sistemde uygulanmasında da kullanılmaktadır. Bu defa, farklı senaryoların incelendiği simülasyon deneylerine ait çıktılar birbirleri ile karşılaştırılarak, bu senaryoların istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olup olmadıkları incelenmektedir.

Tez çalışmasında incelenen sistemin simülasyon modellemesinde, gözlemlenen son performans ölçütü, her bir şubeye ait kapanış zamanlarıdır. Bu zamanlara ait liste, farklı senaryolara ait diğer listeler ile karşılaştırılarak, ilgili senaryoda hangi şubenin kapanış saatinin ne derece değiştiği ve bu değişikliğin mantıklı olup olmadığı incelenmektedir.

8.4. Simülasyon ile Optimizasyon için Gerekli Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar

İncelenen problemin simülasyon modellemesinde şube kapanış zamanlarına ve bunlara uygun boşaltma kapısı – araç atamalarına optimal olarak karar verilmek istenmektedir. Bunun için kullanılacak optimizasyon aracının çalışması için bir amaç fonksiyonu

belirlenmeli ve uygun kısıtlara karar verilmelidir. Bu nedenle söz konusu amaç fonksiyonu, ağırlıklandırılmış şube kapanış zamanlarının toplamının maksimizasyonu şeklinde belirlenmiştir. Burada söz konusu şube ağırlıkları firma tarafından, her bir şubenin firma için olan önemine göre belirlenmiştir. Tüm şubeler göz önünde bulundurulduğunda amaç fonksiyonu (8.1)'teki gibi olacaktır:

$$\sum_{i=1}^{80} Cl_i \times w_i \quad (8.1)$$

Belirtilen amaç fonksiyonun bağlı olacağı kısıtlar ise temel olarak sistemin zaman kavramı üzerinedir. Şubelerden araç çıkışları için bir alt sınır ve transfer merkezinin çalışma saati göz önüne alınarak, boşaltma operasyonlarının tümünün bitişi için bir üst sınır belirlenmiştir. Arena simülasyon yazılımında, sistemin o anki işlem zamanını ifade eden TNOW isimli değişken kullanılarak oluşturulan kısıt (8.2)'dedir.

$$0 < TNOW \leq 270 \quad (8.2)$$

(8.2)'de transfer merkezindeki araç boşaltma işlemleri toplam tamamlanma hedef zamanı 23:30'a karşılık gelen sistem zamanı olan 270. dakikada tüm operasyonların bitmesi hedeflenmektedir. (8.1)'de açıklanan amaç fonksiyonunu, (8.2)'deki kısıt bağlamında maksimize edilmek istenmektedir. Böylece sistemdeki araç çıkış zamanları mümkün olan en geç zamana çekilirken, transfer merkezindeki boşaltma operasyonları en geç 23:30'da bitirilecektir. Bu amacı gerçekleştiren tüm olurlu çözümler, optimizasyon aracı tarafından denenerek en uygun olanı kullanıcıya sunulacaktır.

8.5. Simülasyon Modelinde Kullanılan Verilerin Analizi

Bir simülasyon modelinin, üzerinde çalışılan sistemi doğru bir şekilde yansıtabilmesi için, gerçek hayattaki sistemden ihtiyaç duyulan yeterli sayıdaki verinin, doğru varsayımlarla modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, Aras Kargo'nun Ankara ili akşam operasyonlarının, tez çalışması kapsamındaki tüm süreçlerine ait doğru ve yeterli sayıda veriye ulaşılmış ve bu veriler simülasyon modelinde ihtiyaç duyuldukları noktalara entegre edilmiştir.

Tez çalışmasında incelenen transfer merkezinin boşaltma kapılarına şube araçlarının atanması, atanan araçların her bir kapıda çizelgelenmesi ve bu çizelgeye göre şube kapanış zamanlarının koordinasyonunun simülasyon ile modellenmesinde beş tip veriye ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- 1- Kargo hacimleri
- 2- Araçların şubelerden çıkış zamanları
- 3- Şubelerden transfer merkezine ulaşım süreleri
- 4- Bir boşaltma kapısından bir aracın çıkması ile bir başkasının bu kapıya yanaşması arasında geçen süre
- 5- Boşaltma zamanları

İlk olarak ele aldığımız kargo hacmi verisi, oluşturulan model için büyük önem taşıyan bir veridir. Bunun nedeni, sistemin dayandığı temel noktalardan birini oluşturmasındandır. Bu veri, her bir şubeden bir gün içinde toplanan kargo miktarını, bir hacim ölçü birimi olan desimetreküp cinsinden belirtir ve yapısı itibariyle yüksek derecede değişkenlik gösterir. Söz konusu veri, firma tarafından rutin olarak tutulmaktadır. Simülasyon modelinde kullanılan veri 2010 yılı şubat ayından itibaren toplamda 5 aylık bir süre için alınmış olup güncel niteliklidir. Alınan ham veri, Arena simülasyon programının [13] Input Analyzer isimli girdi analizi aracı ile değerlendirilerek uygun dağılıma oturtulmuştur. Şubelere ait kargo hacmi verilerinin oturtulduğu dağılımlar EK D’de verilmiştir.

Simülasyon modelinde kullanılan bir diğer veri araçların şubelerden çıkışlarına ait bilgidir. Firma bünyesinde, bu verinin elde edilmesine yönelik bir çalışma daha önceden yapılmıştır. Firma kendi belirlediği ölçütler doğrultusunda şubelere bir çıkış saati bildirmiştir. Bu bilginin güncel hali firmadan alınarak, modelin mevcut durumuna ait başlangıç çözümü için kullanılmıştır (Çizelge C.1 ve Çizelge C.2)

Araçların şubelerden transfer merkezine ulaşım süreleri, modelin kurulmasında ihtiyaç duyulan bir başka veridir. Yapısı gereği büyük değişkenlik içeren transfer sürelerini elde etmek için, diğer verileri elde ederken kullanılan farklı bir yol izlenmiştir. Daha

önceden firma tarafından bu veriyi elde etmek için yapılan çalışmanın, tez çalışmasında kullanılan model için yetersiz olmasından dolayı, yöneticilerle yapılan görüşmeler sonucu ihtiyaç duyulan verinin tanımı yapılarak, araçlara ait transfer süresi verisinin uygun bir formda yeniden oluşturulması gerektiği anlatılmıştır. Buna göre daha önceden firma tarafından tek bir ortalama bir değer olarak tutulmuş olan araçlara ait transfer sürelerinin, her bir şube aracı için en çok rastlanan değerlerine ek olarak, bu sürelerin olabilecek minimum ve maksimum değerlerinin de veriye eklenerek, söz konusu verinin üçgensel dağılım formuna oturtulması amaçlanmıştır (EK E). Böylece trafik koşullarından dolayı değişkenlik içeren ulaşım sürelerinin belirli bir aralıkta tutularak modelde gerçekçi bir temsil ile bulunmaları sağlanmıştır.

Simülasyon modelinin gerçek sistemi daha iyi ifade edebilmesi açısından ihtiyaç duyulan bir başka veri türü, bir boşaltma kapısından bir aracın çıkması ile bir başkasının söz konusu kapıya yanaşması arasında geçen süredir. Bu veri, boşaltma alanında yaklaşık 30 araç için tutulmuştur. Elde edilen ham veri, Arena Input Analyzer aracı ile uygun dağılıma oturtularak modelde kullanıma uygun hale getirilmiştir (EK F).

Simülasyon modelinin kurulmasında ihtiyaç duyulan son veri türü, şube araçlarının kapılardaki boşaltma zamanı verisidir. Bu veri, ihtiyaç duyulan diğer verilerle kıyaslandığında, kargo hacmi verisi ile birlikte önem derecesi yüksek olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca araçların boşaltma süresine ait veri tek başına, bağımsız olarak sistemden elde edilebilecek bir veri değil, kargo hacimleri ile birebir ilişkili olan bir veri türüdür. Bu nedenle, şube araçlarının kapılardaki boşaltma zamanı verisinin elde edilmesi için, kargo hacmi verisi ile tüm araçlar için tutulan boşaltma süresi bilgisi ilişkilendirilerek ortak regresyon modelleri kurulmuştur. Öncelikle modeldeki kargo hacmi verileri rassal olarak belirlenir ve daha sonra kapılardaki boşaltma süreleri, elde edilen kargo hacmine ve rassallıktan kaynaklanan bir hata değerine göre regresyon modeli kullanılarak hesaplanır.

Regresyon modellerinde kullanılan veriler EK G'dedir. Kurulan tek değişkenli regresyon modellerinde, kargo hacmi verisi bağımsız değişkeni ve boşaltma süresi verisi de bağımlı değişkeni oluşturmaktadır. Regresyon modellerinin genel formu (8.3)'de görüldüğü gibidir.

$$Y = a + b \times X + \varepsilon \quad (8.3)$$

(8.3)'te verilen a değeri, regresyon modellerine ait sabit değerdir. Bu değer, kapılardaki boşaltma işlemi sürelerinin, kargo hacminden bağımsız olan bölümünü oluşturmaktadır. (8.3)'te görülen diğer bir parametre olan b ise, regresyon modellerine ait değişken katsayısıdır ve kapılardaki boşaltma işlemi sürelerinin, kargo hacmine bağımlı kısmını ifade etmektedir. (8.3)'de görülen ε değeri de, ortalaması sıfır ve varyansı σ^2 olan normal dağılıma sahip bir hata değeridir ve genel formu (8.4)'de gösterilmiştir.

$$\varepsilon = NORM(0, \sigma^2) \quad (8.4)$$

Farklı şube tipleri için 3 farklı regresyon modeli kurulmuştur. Bunlardan birincisi şehir içi bölgesine ait şube araçlarının transfer merkezinde, yalnızca şehir içi araçlarının boşaltıldığı orta kapılarda boşaltılması durumu içindir. İkinci regresyon modeli, sanayi bölgesi şubelerine ait araçların, yalnızca bu araçlara ait kenar kapılarda boşaltıldığı durum için oluşturulmuştur. Şube araçlarının boşaltma kapılarındaki işlem sürelerinin belirlenmesinde kullanılmak için kurulan üçüncü ve son regresyon modeli ise şehir içi araçlarının, orta kapıların dolu olması durumunda, sanayi bölgesi araçlarına ait kenar kapılarda boşaltıldığı durum için kurulmuştur.

$1 - \alpha = 95\%$ güvenlik düzeyinde oluşturulan regresyon modellerinin uyum iyiliklerini ölçmek amacıyla, her bir model için belirleme katsayısı, R^2 , değerleri kontrol edilmiş ve F -testi uygulanmıştır. Regresyon modellerine ait R^2 ve F değerleri ile modellere ait gözlem sayıları Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1: Regresyon modellerinin uyum iyiliklerinin kontrolü için R^2 ve F değerleri ile modellere ait gözlem sayıları

Regresyon Modeli	Şube Tipi	R^2 (%)	F	Gözlem sayısı
1	Şehir İçi	78,37	$6,67 \times 10^{-17}$	48
2	Sanayi	57,93	$2,57 \times 10^{-6}$	28
3	Şehir İçi Aracı – Sanayi Kapısı	95,47	$2,86 \times 10^{-16}$	24

Çizelge 8.1 incelendiğinde görülmektedir ki şehir içi araçları için elde edilen gözlemlerle oluşturulan ilk regresyon modelinin belirleme katsayısı, R^2 , 78,37% değer almıştır. Bu değer, gözlem değerlerindeki değişkenliğin 78,37'sinin, oluşturulan regresyon modeli tarafından açıklanabildiğini göstermektedir. Ayrıca ilk regresyon modelinin anlamlılık düzeyi, F , $6,67 \times 10^{-17}$ değerini almıştır. F değeri, $\alpha = 0,05$ değerinden küçük olduğundan dolayı regresyon denkleminin tümünün anlamlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 8.1'deki ikinci regresyon modeli incelendiğinde belirleme katsayısı, R^2 'nin, 57,93% ile düşük bir değer aldığı görülmektedir. Bu değer, gözlem değerlerindeki değişkenliğin ancak 57,93%'ünün, oluşturulan regresyon modeli tarafından açıklanabildiğini göstermektedir. Bu durumda, modelin tümünün geçerliliğinin onaylanması için F anlamlılık testinin yapılması gerekmektedir. İkinci regresyon modeline ait anlamlılık düzeyi, F , $2,57 \times 10^{-6}$ değeri ile $\alpha = 0,05$ 'ten küçük olduğundan dolayı söz konusu model, R^2 değeri küçük olsa da, bütün itibarıyla anlamlıdır denilebilir.

Son olarak üçüncü regresyon modeline bakılacak olursa bu modelin, belirleme katsayısı, R^2 'nin, %95,47 değeri ile gözlem verilerine ait değişkenliğin tamamını yansıtabildiği görülmektedir. Ayrıca üçüncü regresyon modelinin anlamlılık düzeyi, F , $2,86 \times 10^{-16}$ değerini almıştır. Bu modele ait F değeri, $\alpha = 0,05$ değerinden küçük olduğundan dolayı regresyon denkleminin tümünün anlamlı olduğu söylenebilir.

Tanımlanan regresyon modellerine ilişkin parametre değerleri Çizelge 8.2’de verilmiştir. Bu verilere göre şehir içi şubelerine ait araçların transfer merkezindeki boşaltma süreleri, sanayi bölgesi araçlarına göre kargoya daha az bağımlıdır. Bu çıkarımı, şehir içi araçlarının değişken parametresi olan “*b*” değerinin sanayi bölgesi araçlarına ait olan değerden küçük olmasından yapabiliriz. Bunun yanında şehir içi şubelerine ait orta kapılarda boşaltılan araçlarda sabit parametre değerinin sanayi bölgesi araçlarına göre daha büyük, tahmin edilen değişkenliğin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Değişkenliğin şehir içi araçlarında daha az olmasının nedeni, bu araçlardaki kargoların yapısal olarak birbirlerine benzer olmasıdır. Doluluk bakımından benzer şehir içi araçlarının boşaltılması yaklaşık olarak yine benzer zamanlarda gerçekleşir. Bunun nedeni bu araçlardan çıkan kargoların boşaltma bölgesindeki işçiler tarafından rahatlıkla konveyöre aktarılabilmesi, ek olarak forklifte ihtiyaç duyulmamasındandır.

Çizelge 8.2: Farklı şube tipleri için boşaltma zamanı regresyon modellerine ait parametre değerleri

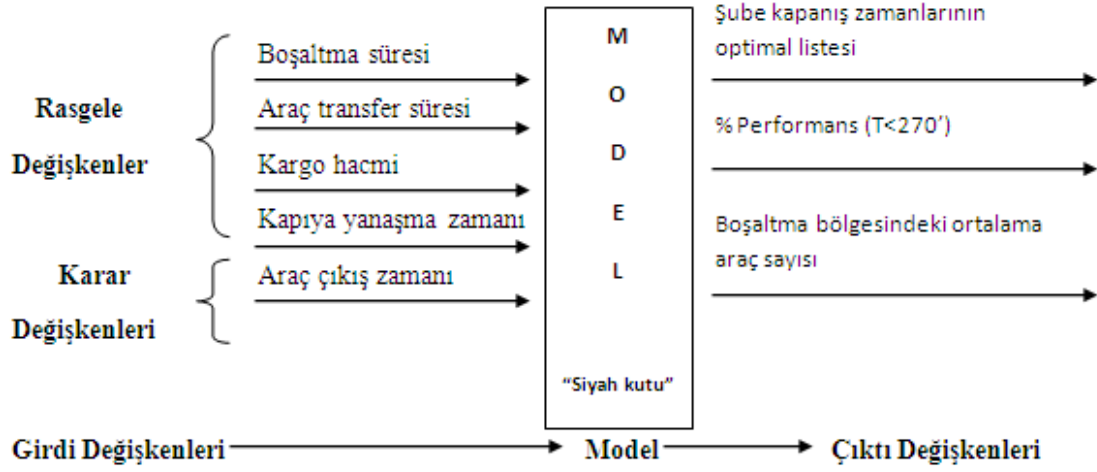
Regresyon Modeli	Şube Tipi	<i>a</i>	<i>b</i>	ϵ
1	Şehir İçi	2,6196	0,0024	<i>NORM</i> (0; 2,8836)
2	Sanayi	1,9153	0,0046	<i>NORM</i> (0; 11,7134)
3	Şehir İçi Aracı – Sanayi Kapısı	4,3721	0,0026	<i>NORM</i> (0; 0,509)

Sanayi bölgesi araçlarının boşaltılma süreleri ise, Çizelge 8.2’de de görüldüğü gibi, daha çok kargo hacmine bağlıdır. Bunu nedeni araçlardaki kargoların boşaltılmasında forkliftlerin ağırlıklı olarak kullanılmasıdır. Sanayi bölgesine ait araçlardaki kargoların yapısal özellikleri bakımından daha ağır ve büyük hacimli olmaları, insan gücü ile aktarımlarının yapılmasını zorlaştırmakta, dolayısıyla boşaltım süresinin forkliftin hız ve yükleme kabiliyetine bağlamaktadır. Araca yanaşarak bir kargo yüklenen forkliftin ne kadar sürede geri döneceği, kargoyu yükleyeceği tırın, araca olan uzaklığına bağlı olmasından dolayı çok değişkenlik gösterir. Bu nedenle bir sanayi aracının boşaltılma süresi yüksek seviyede değişkenlik göstermektedir.

Son olarak sanayi bölgesi araçlarına ayrılan kenar kapılarında boşaltılan şehir içi şubelerine ait araçları inceleyecek olursak, bu araçların boşaltma sürelerinin, araçtaki kargo sayısına bağlı olma durumunun normal şehir içi araçlarıyla benzer özellik gösterdiği görülmektedir. Bu sonuç, her iki sınıftaki aracın da aslında benzer yapılarda kargo taşımalarından dolayı mantıklıdır. Fakat üçüncü sınıftaki bu araçların boşaltım sürelerine ait sabit parametre değeri diğer tüm sınıflara göre daha yüksektir. Bunun nedeni, kenar kapılara yanaşan şehir içi araçlarından bir kargo alan işçinin, konveyöre kadar, orta kapıdaki bir işçiye göre daha fazla yol kat ederek ulaşmasıdır. Bir paket için düşünüldüğünde saniyelerle ölçülen bu sürenin, ortalama 200 paketin taşındığı bir araç için düşünüldüğünde boşaltım süresine ciddi bir ek olması kaçınılmazdır. Bu nedenle, kenar kapılarda boşaltılan şehir içi araçlarının boşaltma sürelerini ifade eden regresyon modelindeki sabit parametre değeri, diğer sınıftakilere göre oldukça fazladır. Diğer yandan bu sınıftaki araçların boşaltım sürelerindeki değişkenlik diğer sınıftakilere göre oldukça düşüktür. Bunun nedeni ise kenar kapılara yanaşan araçların genel olarak benzer hacimde kargolar taşıyan aynı araçlar olmasıdır. Hatırlanacağı üzere, orta kapıların uygun olmaması durumunda şehir içi araçları kenar kapılara aktarılabilirdi. Transfer merkezinin boşaltma alanında her gün yaklaşık olarak benzer saatlerde yığılma olduğundan ve kenar kapılara atanan araçların geliş saatlerinin de gün bazında çok değişmemesinden dolayı, her gün aynı araçların sanayi kapılarına atanması ihtimali yüksektir. Bu durumda araçların kargo hacimleri benzerlik göstermekte ve boşaltma sürelerine ait değişkenlikleri düşük çıkmaktadır.

8.6. Simülasyon Modelinin Genel Yapısı

Tez çalışmasında incelenen sistemin analizinde yararlanılan simülasyon ile modellemesine ait genel form Şekil 8.1’de gösterilmektedir.



Şekil 8.1: Simülasyon modelinin genel yapısı

Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, simülasyon modeline ait girdi değişkenleri rasgele ve karar değişkenleri olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Rastgele değişkenler, yapıları itibariyle rassallık içermektedir ve aynı zamanda kontrol edilemeyen değişken sınıfındadırlar. Yani sistem yönetimi tarafından, yapıları kontrol altında bulundurulamazdır. Ayrıca simülasyon modelinde farklı dağılım fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Karar değişkenleri ise sistem yönetimi tarafından kontrol edilebilir özelliktedir ve rassallık içermemektedir.

Rasgele değişkenlerden kargo hacmi, her bir şube bazında farklılık göstermektedir ve şubelere ait günlük kargo hacmi değeri değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, her bir şubeye ait kargo hacmi verisi ayrı bir dağılımla ifade edilmektedir. Araçların boşaltma süreleri de kargo hacmi verisi ile ilişkili olduğundan dolayı her bir şube aracına ait boşaltma süresi ayrı olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca kapılardaki araç boşaltma süresi, aracın yanaştığı kapıya ve taşıdığı kargo miktarına göre değişkenlik içermektedir.

Araçların şubelerden transfer merkezine transfer süreleri, her bir şubenin şehir içinde bulunduğu konuma ve aracın şubeden çıkış yaptığı saatteki trafik durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu veri de her bir şubeye ait belirlenen farklı dağılım fonksiyonları ile modelde ifade edilmektedir.

Boşaltma kapısında bir aracın işlemini bitirerek yerine başka bir aracın aynı kapıya yanaşması arasında geçen ve kapıya yanaşma zamanı olarak adlandırılan veri, şubeye

veya aracın bulunduğu kapıya göre farklılık göstermemektedir ve modelde bir beta dağılımı fonksiyon ile ifade edilmektedir.

Bir karar değişkeni olan şubelerden araç çıkış zamanları ise tüm şubeler ve bu şubelerden çıkan araçlar için farklılık göstermektedir. Bir şubede toplanan günlük kargo hacminin değişkenlik göstermesi ve bazı günler çok bazı günler de daha az olması, bu kargoları transfer merkezine taşımak için şubelerden çıkan araçların sayılarını etkilemektedir. Aras Kargo'nun filusunda bulunan şube araçlarının 80%'i 3700 desimetreküp hacimlik kapasiteye sahiptir ve sistemin simülasyon ile modellenmesinde bu değer tüm araçlar için geçerli kabul edilecektir. Özellikle sanayi bölgesine ait şubelerin kargoları yapıları itibarıyla geniş hacimli olduğundan dolayı, bu şubeler çoğu günler birden fazla araç çıkarmak durumunda kalmaktadır. Bu durum simülasyon modelinde dikkate alınarak, şubelerde toplanan kargoların araç kapasiteleri göz önünde bulundurularak, söz konusu gün şubeden çıkacak araç sayısı hesaplanmaktadır.

8.7. Sistemin Mevcut Durumuna Ait Arena Modelinin Genel Yapısı

Tez çalışmasında incelenen sistem, Arena simülasyon programı ile modellenirken her bir süreç birbirinden ayrılmıştır. Böylece takibi kolay ve anlaşılabilirliği yüksek bir model oluşturulurken, özellikle bu tarz büyük çaplı problem modellemelerinde ortaya çıkan karmaşıklık giderilmek istenmiştir. Simülasyon modeli beş ana süreç ve animasyon bölümünden oluşmaktadır. Söz konusu süreçler aşağıdaki gibidir:

- 1- Günlük olarak sistemdeki şube araçlarının yaratılması
- 2- Şubelerdeki kargo hacmi ve araçların transfer sürelerinin hesaplanması
- 3- Belirlenen kargo hacmine göre şubelerden çıkacak araç sayılarının hesaplanması
- 4- Şube operasyonları
- 5- Transfer merkezi operasyonları

Simülasyon modelinin ilk süreci olan şube araçlarının sisteme dahil edilmesi, günlük olarak gerçekleştirilecek bir işlemdir. Şubelerden çıkacak gerçek araç sayıları modelin diğer aşamalarında, kargo hacimlerinin hesaplanmasından sonra belirlenecektir. O

nedenle, bu adımda yapılan, şubelerden araç çıkışlarını tetiklemek için kullanılacak varlıkların yaratılmasıdır.

Yaratılan varlıklara, model içerisinde çeşitli özellikler atanmaktadır. Bu özellikler şube tipleri, şube indisleri, şubelerin kargo hacimlerine ait dağılım tipleri, bu dağılımlara ait fonksiyon parametreleri ve şubele araçlarına ait transfer zamanı fonksiyonlarının parametreleridir. Söz konusu özelliklerin atanması, model içerisinde yapılabilir. Tez çalışmasında oluşturulan simülasyon modelinde ise varlıklara ait özellikler modelin dışından, hazırlanan bir Excel dosyasından çekilmektedir. Böylece olası karışıklıklar giderilecek ve modelde bu özelliklerin atanması için kullanılacak ekstra modüllerin artmasının önüne geçilecektir. Modelleme aşamasından önce gerçekleştirilen veri analizi çalışmasında, sistemden toplanan verilerin işlenmesi sonucu elde edilen parametre ve dağılım türleri Excel dosyasına kaydedilmiştir ve ihtiyaç duyulduğunda model şube araçlarına ait tüm bilgilere bu kayıtlardan ulaşabilmektedir. Bu aşamada ayrıca varlıkların sisteme giriş zamanları kaydedilmektedir.

İkinci aşamada ise şubelere ait Excel dosyasındaki kayıtlı verilerin, günlük bazdaki değişkenlik doğrultusunda hesaplanmasını sağlayan bir hesaplama adımı oluşturulmuştur. Bu adımda şubelere ait kargo hacimleri ve şube araçlarının transfer süreleri hesaplanmaktadır. Önceden belirlenen dağılım tiplerine göre ayrılan varlıklar, ilgili parametre değerlerini kayıtlardan çeker ve hacimleri ile transfer süreleri söz konusu gün hesaplanmış olur.

Daha sonra yine bir hesaplama adımı olan, şubelerden çıkacak araç sayılarının hesaplandığı adımda, bir önceki kısımda belirlenen şubelere ait kargo hacimlerine göre o gün için şubeden kaç aracın transfer merkezine gideceği hesaplanır. Araç sayılarına karar verildikten sonra hepsi şube indisleri doğrultusunda ait oldukları şubeleri temsil eden modüllere yönlendirilmektedir.

Şube operasyonlarının modellendiği adımda ilk olarak şubelere gelen temsili varlıklar sayılır ve her birine araç numaralarını belirten bir özellik atanır. Belirlenen sayı ve özelliğe göre, söz konusu gün eğer yalnızca bir adet araç şubeden çıkış yapacak ise bu aracın dolumu yapılır ve araç için şubeden çıkış zamanı geldiğinde transfer merkezine gitmek üzere ayrılır. Eğer birden fazla aracın transfer merkezine gönderilmesi gerekiyor

ise, belirlenen araç numaralarına göre sırayla araçların dolumu yapılır ve transfer merkezine gönderilir. Burada ilk duruma göre farklı olan yaklaşım iki araç arasında, en küçük değeri 15, en büyük değeri 20 dakika olan düzgün dağılım sahip bir araç çıkarma süresinin olmasıdır. Araçların şubelerdeki dolumu bittikten sonra mevcut durumda sistemde var olan, araçların şubelerden çıkış zamanlarındaki aksama, en küçük değeri 5, en büyük değeri ise 25 dakika olan düzgün dağılıma sahip bir süre ile modele eklenir ve daha sonra araçlar transfer merkezine yönlendirilir.

Son adımda ise şubelerden çıkan araçların, transfer merkezine ulaşarak atanacakları kapılara ve bu kapılardaki işlem sıralarına karar verilmesi bulunmaktadır. İlk olarak transfer merkezinin boşaltma bölümüne gelen araçlar, daha sonra sistem içerisindeki ortalama araç sayısını belirlemede kullanılmak üzere sayılır. Daha sonra şube tipine göre ayrılarak boşaltma kapılarına yönlendirilir. Sanayi bölgesine ait şubeler doğrudan kenar kapılarına yönlendirilir. Şehir içi şubelerine ait araçlarının geçtiği süreç ise sanayi bölgesine ait olanlara göre biraz karmaşıktır. Şehir içi bölgesi şubelerinin araçları boşaltma alanına geldiklerinde öncelikle tüm kapılar kontrol edilir ve boş olan bir kapı var ise, şube tipine bakılmaksızın söz konusu kapıya yönlendirilir. Eğer boşta bir kapı yok ise o zaman yine tüm kapılara bakılarak aracın, kuyruğu olmayan kapıya yönlendirilmesi sağlanır. Bu koşulun da sağlanmadığı durumda, yani boşaltma kapılarının hepsinin dolu ve önlerine kuyrukların bulunduğu durumda, şube araçları sadece şehir içi bölgesi şubelerine ait orta boşaltma kapılarından, kuyruktaki araç sayısı fazla bir olanının önünde kuyruğa girmektedir. Tüm bu anlatılan durumların sağlanmadığı durumlarda yani, tüm boşaltma kapılarının dolu ve önlerinde birden fazla aracın kuyrukta beklediği durumda gelen araçlar tüm kapılara arasında, en kısa kuyruk uzunluğuna sahip kapıya yönlendirilir.

Araçların boşaltma kapılarına ilk yönlendirilmelerinin ardından, seçilen kapı önündeki süreç başlar. Bu süreçte boşaltma kapısına gelen aracın, öncelikle işlem için uygun durumdaki kapıyı beklemesi ve söz konusu kapıya yanaşması sağlanır. Daha sonra kapıdaki aracı simgeleyen varlığın, hem kuyrukta kalan araç sayısını kontrol etmesi hem de kapıdaki işlemlerine devam etmesi için kopyalanması gerçekleştirilir. Kontrol için oluşturulan kopya varlık, aracın bulunduğu boşaltma kapısının bir sağındaki ve de bir solundaki kapıya ait kuyrukları kontrol eder ve eğer bu kapılardan birinde boşluk bulursa, kendinden sonraki aracı bulunduğu kuyruktan çıkararak uygun bulunan kapıya yönlendirir. Bu yaklaşım, hâlihazırda transfer merkezi boşaltma alanında çalışanlar

tarafından uygulanmaktadır ve dinamik olarak kuyruktaki beklmeleri en aza indirmeyi amaçlar.

Diğer kopya varlık ise eğer bulunduğu kapı 1, 2, 6 ve 7 numaralı kenar kapıları ise, aracın Şube tipine göre bir işlem süresine tbi tutulacaktır. Bunun nedeni, söz konusu kenar kapılarına hem sanayi bölgesine ait Şube araçlarının, hem de Şehir içindeki Şube araçlarının yanaŐabiliyor olması ve her iki farklı Şube tipine ait aracın farklı srelerde işlem grmelerindedir. Bu yaklaşım 3, 4 ve 5 numaralı orta kapılarda geçerli değildir nk bu kapılara sadece Şehir içindeki Şubelere ait araçlar yanaŐabilmekte, dolayısıyla tek tip boşaltma süresi fonksiyonu geçerli olmaktadır.

Boşaltma kapısındaki iŐlemin bitmesinden sonra araçlar ayrılırken tekrar saydırılır ve boşaltma bölgesindeki araç sayısı, çıkan araçlardan dolayı azaltılır. Daha sonra ayrılan araçların sistem içerisinde geçirdikleri zaman kaydedilir ve bu veri, başka bir Excel dosyasına çıktı olarak gönderilir. Bu Şekilde, yapılacak yüzlerce günlük simülasyon süresince sistemin 270 dakikalık performans ltn ne derecede karşıladığı llebilirilmektedir. Verilerin Excel dosyasına gönderilmesinden sonra varlıklar sistemden çıkarılır.

Simülasyon modelinde kaynak olarak boşaltma kapıları ve Şubelerde yükleme yapan elemanlar ele alınmıştır. OptQuest optimizasyon aracı ile optimize edilmek istenen parametreler olan Şube kapanış saatleri değişken olarak tanımlanmıŐtır ve modelin koşturma süresi 270 dakika olarak belirlenmiştir.

8.8. Doğrulama ve Geçerlilik Analizi

Gerçek sistemi incelemek için oluşturulan simülasyon modelinin gerçekçi sonuçlar verebilmesi için tutarlı ve mantıklı çalışması ve var olan sistemi belirli bir seviyede, tam olarak yansıtabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle simülasyon modelinin doğrulaması ve daha sonra da doğrulan modelin geçerliliğinin test edilmesi ile gerçek sistemi ne derecede yansıtığı belirlenmek istenmiştir.

8.8.1. Simülasyon Modelinin Doğrulanması

Modelin doğrulanmasının amacı, gerçek sistemi anlatan kavramsal modelin, bilgisayar ortamındaki simülasyon modelinde düzgün bir şekilde yansıtılıp yansıtılmadığından emin olmaktır. Kavramsal model, gerçek sisteme ait operasyonların ve süreçlerin çoğunlukla, belirli varsayımlar altında özeti biçimindedir. Bu nedenle simülasyon modelinin doğrulanması adımında şu soru önemlidir: Kavramsal model, simülasyon modelinde doğru bir şekilde ifade edildi mi? Bu soruya olumlu cevap verebilmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler aşağıdaki gibidir:

- 1- Oluşturulan simülasyon modeli, yapılan görüşmelerde Aras Kargo yöneticilerine anlatılmış ve onayları genel anlamda alınmıştır. Değiştirilmesini istedikleri noktalar düzeltilerek bir sonraki görüşmede onaylatılmıştır.
- 2- Simülasyon modelindeki işleyiş ve süreçler, tez danışmanı Doç.Dr. Kadir Ertoğral tarafından kontrol edilmiştir.
- 3- Modelde kullanılan girdi parametreleri için verilen farklı değerlerde mantıklı çıktılar verdiği görülmüştür. Örneğin girdi parametre değerleri azaltıldığında veya normal değerden fazla olarak verildiğinde çıktı değerleri, tahminlere yakın ve tutarlı olarak görülmüştür.
- 4- Modelde kullanılan girdi parametreleri, modelin koşturulması bittikten sonra incelenerek, çalışma sırasında model tarafından değiştirilmediği ve belirlenen başlangıç değerlerinin sabit kaldığı gözlemlenmiştir.
- 5- Simülasyon modeli oluşturulurken kullanılacak yapılar ayrı ayrı incelenmiş ve doğru çalıştıklarından emin olunduktan sonra ana modele dahil edilmiştir.
- 6- Animasyon araçları kullanılarak simülasyon modelinde oluşturulan süreçlerin ve yapıların doğru ve tutarlı işlediği gözlemlenmiştir.
- 7- Simülasyon modelinin koşturulması sırasında, modele müdahale etme imkânı veren IRC (Interactive Run Controller) yaklaşım ile çalışan model belli aralıklarda ve belirli koşulların sağlandığı durumlarda durdurulmuş, işleyişin mantıklı olduğundan emin olunduktan sonra tekrar koşturuma devam edilmiştir.
- 8- IRC yaklaşımı ile modelin koşturumunun durdurulmasından sonra modele ait durum değişkeni değerlerinin, varlıklara ait değerlerin, kaynakların, kuyrukların, model içerisindeki sayaçların ve parametre değerlerinin mantıklı çalıştıklarına emin olduktan sonra koşturuma devam edilmiştir.

Uygulanan bu yöntemlerden sonra simülasyon modelinin kavramsal modelin doğrulanmış bir formu olduğuna karar verilmiş [19] ve geçerlilik analizi adımına geçilmiştir.

8.8.2. Geçerlilik Analizi

Geçerlilik analizi, simülasyon modelinin ve davranışlarının, gerçek sistemle ve davranışlarıyla tam olarak karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Simülasyon modelinin gerçek sistem ile karşılaştırılması amacıyla, öznel ve nesnel olarak sınıflandırılabilir bir dizi farklı test yöntemi uygulanmaktadır. Öznel testler genel olarak, gerçek sistem hakkında bilgisi olan insanlar yardımıyla, simülasyon modelinin ve çıktılarının doğrulanması üzerinedir ve çoğunlukla gerçek sistemden sağlıklı ve yeterli veri alınmadığı zamanlarda uygulanmaktadır. Nesnel testler ise, simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesi için model çıktılarının yanında mutlaka gerçek sistemden alınacak dataya da ihtiyaç duyar. Bu veriler bazı istatistiksel testler ile sistemin ve modelin karşılaştırılması için kullanılır. Bu süreç, modelin gerçek sistemin gerçek bir tanımı olduğuna ikna olana dek her defasında yinelenir.

Bu tez çalışmasında oluşturulan simülasyon modelinin geçerlilik analizinde, literatürde uzun süredir kullanılan ve Üç – Adım Yaklaşımı [20] olarak bilinen bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- 1- Yüzeysel olarak geçerli olan bir modelin kurulması
- 2- Model varsayımlarının geçerliliğinin sağlanması
- 3- Modele ait girdi – çıktı dönüşümlerinin, gerçek sisteme ait girdi – çıktı dönüşümleri ile karşılaştırılması

Sonraki üç başlıkta, modelin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan yukarıdaki üç adım detaylandırılmıştır.

8.8.2.1. Yüzeysel Geçerlilik

Yüzeysel geçerlilik, bir testin ölçtüğü söylenen şeyi ölçüyor gibi gözükmesidir. Bu, öznel bir izlenimdir ve yanıltıcı olabilir, yani böyle gözükmesine rağmen gerçekten amaçlanan şeyi ölçmüyor, dolayısıyla gerçek bir yapısal geçerlilikten ve tahmin gücünden yoksun olabilir. Bu nedenle bir simülasyon modeli oluşturulurken ilk amaç, modelin ilk bakışta yani yüzeysel anlamda geçerli olduğuna ikna olabilmektir. Bu amaca ulaşıp ulaşılamadığını test edebilmek için duyarlılık analizlerinden yararlanılabilir. Modelin yüzeysel olarak geçerli olduğunu kanıtlamak için yapılacak duyarlılık analizinde, birkaç girdi değişkeninin orijinal değerleri değiştirildiğinde, sonuçların gerçek sistem hakkında bilgi sahibi insanlar tarafından tahmin edilen yönde olması beklenir.

Tez çalışmasında oluşturulan simülasyon modelinin yüzeysel geçerliliğinin testi için sisteme giren araç sayısı, boşaltma kapılarındaki işlem süreleri, araç transfer süreleri ve araçların şubelerden çıkış saatlerindeki aksama değerleri değiştirilerek Aras Kargo operasyon yöneticilerinden, sonuçların ne şekilde olacağını tahmin etmeleri istenmiştir. Sistemdeki araç sayısındaki artış, transfer merkezi operasyonlarının mevcut şartlar altında gecikmesine, azalış ise operasyonların sistemdeki değişkenlikler nedeniyle kesin olmasa da muhtemelen bu operasyonların erken bitmesine sebep olacaktır. Aynı şekilde kapılardaki işlem süreleri, araç transfer süreleri ve araçların şubelerden çıkış saatlerindeki aksama değerlerinde meydana gelecek artışlar transfer merkezi operasyonlarını geciktirici yönde, azalışlar ise operasyonlar için muhtemel bir erken tamamlanma yönünde etki edecektir.

Model üzerinde yapılan değişimlerin, operasyon yöneticilerinin belirttiği tahminler doğrultusunda çıkması, simülasyon modelinin yüzeysel olarak geçerli olduğunu göstermektedir.

8.8.2.2. Model Varsayımlarının Geçerliliğinin Test Edilmesi

Modelde varsayımlar, yapısal ve veri varsayımları olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Yapısal varsayımlar gerçek sistemin işleyişi hakkındadır ve sıklıkla sadeleştirme ve kısaltmalardan meydana gelir. Bu şekilde karmaşık sistemlere benzer ve denk modeller, daha az çaba ve maliyet ile göze alınan belirli hata payları ile temsil edilebilir.

Modelde kullanılan veriye ait varsayımlar, güvenilir verinin toplanması ve toplanan bu verilerin doğru istatistiksel analizlere tabi tutulmasıdır. Tez çalışmasında kurulan simülasyon modelinde kullanılmak üzere toplanan data Salı, Çarşamba ve Perşembe günleri transfer merkezi operasyonlarının başladığı 19:30'dan sonra, saat 21:00 ile 22:30 saatleri arasında toplanmıştır. Bunun nedeni, sistemin açıldığı ilk bir buçuk saat boşaltma alanının tam anlamıyla yoğun olmadığı zaman dilimi, sonraki bir buçuk saatlik kısım ise tüm kapıların dolu ve işgücünün aktif olduğu zaman dilimidir. Gerçek sistemden veri toplanırken söz konusu günlerin tercih edilmesinin nedeni ise Pazartesi ve Cuma günleri transfer merkezi operasyonlarının, sıradan işleyişin dışında bir karakteristik göstererek normal temponun üzerinde bir yoğunluk yaşanmasıdır. Verinin toplandığı aralık saha şefi tarafından önerilmiş ve bu aralıkta elde edilen veriler kendisi tarafından onaylanarak simülasyon modelinde kullanılmıştır.

Girdi için kullanılacak datanın analizi Arena yazılımının Input Analyzer aracı tarafından yapılmıştır ve aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- 1- Veri setleri için uygun dağılımın belirlenmesi
- 2- Uygun hipotezin kurulması ile dağılıma ait parametrelerin tahmin edilmesi
- 3- Tahmin edilen istatistiksel modelin geçerliliğinin uygunluk testleri ile onaylanması

Yukarıdaki adımlar, dağılım fonksiyonları ile ifade edilen tüm veri setleri için uygulanmış ve uygunluk testleri ile söz konusu data setlerine ait uygun dağılımlar belirlenerek modele entegre edilmiştir.

8.8.2.3. Modele Ait Girdi – Çıktı Dönüşümlerinin Test Edilmesi

Simülasyon modelinin objektif bir şekilde test edilmesi için tek yol, tahmin edilen girdi parametrelerinin gerçek girdi parametreleri ile uyduğu durumda, gerçek sistemin geleceğe ait davranışlarının, model tarafından tahmin edilmesidir. Yani, modele ait bazı girdi değişkenlerindeki (örn: sistemdeki araç sayısı) artış ve azalış durumlarında modelin,

gerçek sistemin benzer durumlarda ne şekilde davranacağına dair tahmininin kuvvetli olması istenmektedir.

Geçerlilik analizi kısmında, model bir girdi – çıktı dönüşümü şeklinde düşünülmelidir. Yani, simülasyon modeli girdi parametrelerini alarak bunları çıktı olarak performans ölçütlerine dönüştürür. Bu aşamada geçerliliği test edilen olgu, bu yapıya ait ilişkidir.

Bir simülasyon modeline ait girdi – çıktı dönüşümlerinin kullanılabilmesi için, gerçek sistemin bir kısmının veya tamamının hâlihazırda var olması gerekmektedir. Böyle elde edilecek dönüşümler, gerçek sistemden elde edilen verilerle kıyaslanarak geçerlilikleri test edilecektir.

Daha önce Bölüm 8.6’da bahsedilen girdi ve çıktı değişkenleri, Çizelge 8.3’te bir arada listelenmiştir. Kontrol edilemeyen rassal değişkenler X ile, karar değişkenleri D ile ve çıktı değişkenleri Y ile ifade edilmiştir. Şekil 8.1’de belirtilen “siyah kutu” mantığı ile simülasyon modeli girdiler X ve D ’yi alır ve çıktı Y ’yi oluşturur. Bu ilişki matematiksel olarak (8.5)’te gösterilmiştir.

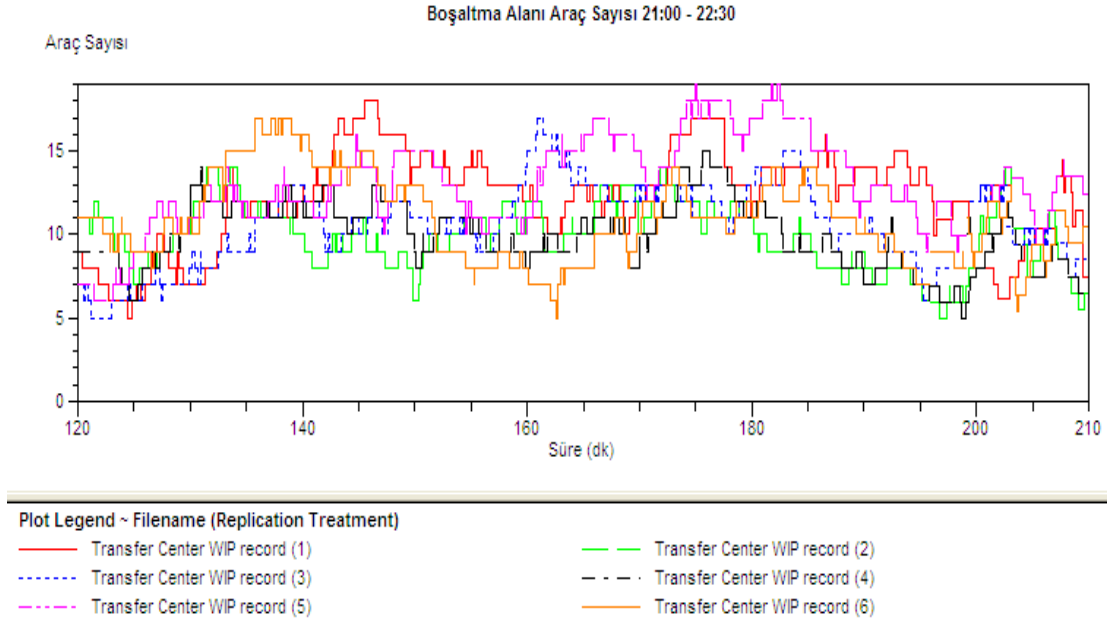
$$f(X, D) = Y \quad (8.5)$$

(8.5)’te belirtilen f , girdi ile çıktı arasındaki dönüşümü ifade etmektedir.

Çizelge 8.3: Mevcut transfer merkezi operasyonlarına ait girdi –çıktı dönüşümleri

Girdi değişkenleri	Çıktı Değişkenleri
D = Karar değişkenleri X = Rassal değişkenler	Çıktı değişkenleri (Y_1, Y_2, Y_3)
Boşaltma süresi, $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1,80}$ Araç transfer süresi, $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2,80}$ Kargo hacmi, $X_{31}, X_{32}, \dots, X_{3,80}$ Kapıya yanaşma zamanı, $X_{41}, X_{42}, \dots, X_{4,80}$ Araç çıkış zamanı, $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{1,80}$	Y_1 = Şube kapanış zamanlarının optimal listesi Y_2 = % Performans ($T < 270'$) Y_3 = Boşaltma bölgesindeki ortalama araç sayısı

Simülasyon modelinden elde edilecek performans ölçütlerinden olan ve geçerlilik analizinde temel kıyaslamada kullanılan, boşaltma bölgesindeki ortalama araç sayısı (Y_4); Salı, Çarşamba ve Perşembe günleri saat 21:00 ile 22:30 arasında toplanan verilerle benzer özellik göstermesi açısından, yine söz konusu zaman aralığında modelden alınmalıdır. Modelden alınacak performans ölçütü değerlerinin, 21:00 – 22:30 aralığından farklı bir zamanda, yani sistemin daha az yoğun olduğu 19:30'dan itibaren veya sistemdeki araçların azalmaya başladığı saat 22:30'den sonra toplanması, iki veri setinin karakteristiklerinin uyuşmamasına neden olacaktır. Sistemin yoğun olduğu 21:00 ile 22:30 saatlerinin, simülasyon modelinde ortaya çıkan zaman aralığıyla olan benzerliği Şekil 8.2'de görülmektedir.



Şekil 8.2: Transfer merkezindeki sistem içi araç sayısının zamana bağlı değişimi

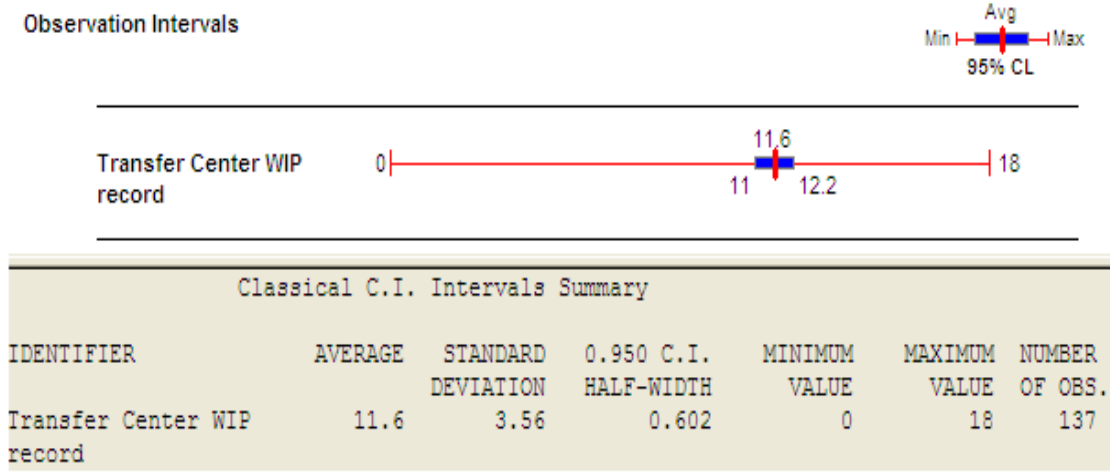
Şekil 8.2’de, simülasyon modelinde gerçekleştirilen 6 tekrarın sonuçları grafiğe yansıtılmıştır. Her bir tekrar koşturma sonucunda ortaya çıkan veriler birbirleriyle benzer yapıdadır ve bu grafikte belirgin bir şekilde görülmektedir.

Gerçek sistemden tutulan zamana bağlı araç sayısı verileri ile simülasyon modelinden elde edilen veriler karşılaştırılarak, oluşturulan simülasyon modelinin istatistiksel olarak geçerliliği test edilmiştir. Bunun için sistemden elde edilen veriler incelenmiştir (EK H). 21:00 ile 22:30 saatleri arasında tutulan veriler kuyruk modellerinde kullanılan basit bir yöntem olan sistem içi varlık sayısını bulmaya yarayan (8.6)’daki formülasyonda kullanılmıştır.

$$\hat{L} = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{\infty} i \times T_i \quad (8.6)$$

(8.6)’da T sistemin incelendiği zamanı, T_i ise sistemin tam olarak i adet müşteri bulundurduğu $[0, T]$ aralığındaki zamanı belirtir. Sistemden elde edilen veriler (8.6)’da uygulanarak, 21:00 ile 22:30 saatleri arasında transfer merkezi boşaltma alanında ortalama olarak kaç adet aracın bulunduğu hesaplanmıştır. Toplamda üç günde

gerçekleştirilen veri toplama işlemi sonucunda $\hat{L} = 9,53$ araç değerine ulaşılmıştır. Bu ifade, 21:00 ile 22:30 saatleri arasındaki her hangi bir anda, sistemde yaklaşık 9-10 aracın bulunduğunu belirtmektedir. Aynı zaman aralığı için simülasyon modelinden alınan veriler de ise Şekil 8.3'te özetlenmektedir.



Şekil 8.3: Simülasyon modelinden elde edilen sistem içi araç verilerine ait 95% güven aralığındaki istatistiksel bilgiler

Şekil 8.3'te de görüldüğü üzere modelden alınan sistem içi araç verisine ait değer ortalama olarak 11,6; bu veriye ait standart sapma ise 3,56'dır. Bu değerleri hesaplamada 137 adet gözlem değeri kullanılmıştır ve bu verilere ait yarı genişlik 95% güven aralığında 0,602'dir.

Elde edilen verilerden sonra, simülasyon modelinin gerçek sistemi birebir yansıtıp yansıtmadığını test etmek için bir hipotez testi hazırlanmıştır. Bu testte boşaltma bölgesinde herhangi bir andaki ortalama araç sayısı Y_3 , gerçek sistemden alınan $\hat{L} = 9,53$ araç verisiyle karşılaştırılacaktır.

$$\begin{aligned}
 & H_0 : E(Y_3) = 9,53 \text{ araç} \\
 \text{vs.} & \\
 & H_1 : E(Y_3) \neq 9,53 \text{ araç}
 \end{aligned}
 \tag{8.7}$$

Bu teste göre eğer H_0 hipotezi reddedilmez ise, simülasyon modelinin geçersiz olduğu söylenemezdir. Eğer H_0 hipotezi reddedilirse, simülasyon modelinin mevcut durumu da reddedilmiş olur ve modelin düzeltilmesi gerektiği sonucuna varılır.

(8.7)'deki ifade için çift taraflı t testini uygulamak mümkündür. Bunun için tablodan 95% güven aralığında gerekli t değeri, $t_{0,025,5} = 2,571$ olarak bulunmuştur. Test istatistiği t_0 ise;

$$t_0 = \frac{\bar{Y}_3 - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (8.8)$$

formülü ile hesaplanır. Burada μ_0 , H_0 'da belirtilen ortalama araç değeridir. Son olarak gerekli değerler (8.8)'de yerlerine koyulacak olursa test istatistiği;

$$t_0 = \frac{11,6 - 9,53}{3,56/\sqrt{6}} = 0,24$$

olarak hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, çift taraflı t testi için H_0 hipotezinin, $|t_0| > t_{\alpha/2, n-1}$ olması durumunda reddedilmesi, aksi halde reddedilmemesi gerektiğidir. İncelediğimiz testte $|t_0| = 0,24 < t_{0,025,5} = 2,571$ olduğundan dolayı, H_0 hipotezi reddedilmez, yani oluşturulan simülasyon modeli, gerçek sistem ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak geçerli bir modeldir denilebilir.

8.9. Simülasyon ile Modellenecek Olan Farklı Senaryolar

Simülasyon modeli ile incelenen farklı sistem senaryolarının analizinde modeller, her tekrar bir güne denk gelecek şekilde 500 gün üzerinden çalıştırılmış. En fazla değişkenlik gösteren şubeler baz alınarak yapılan öncül koşullarda görülmüştür ki simülasyon modellemesi için 500 günlük tekrar sayısı oldukça yeterlidir. Senaryolara ait veriler 95% güvenlik düzeyinde toplanmıştır.

İncelenen sistemde mevcut durumdaki sistem tasarımında, araçlar şubeler için belirlenen hedef araç çıkarma saatinden 5 – 25 dakikalık sapmalarla çıkmaktadır. Şubelerden

transfer merkezine gelen araçlar her gün, 7 adet boşaltma kapısına dinamik olarak, kapıların boşaltma için uygun olmaları esas alınarak ve FIFO (ilk gelen ilk çıkar) kuyruk yaklaşımı kuralı benimsenerek boşaltma işlemine alınmaktadır (Çizelge 8.4).

Çizelge 8.4: Simülasyon modeli ile incelenen farklı sistem tasarımlarına ait bilgiler

Alternatif Sistem Tasarımları	Özellikler
Senaryo 1	Mevcut durum, şube çıkış +5-25 dk. sapma
Senaryo 2	Mevcut durum, tam zamanlı çıkış
Senaryo 3	Senaryo 1, araç çıkış zamanları optimizasyonu
Senaryo 4	Senaryo 2, araç çıkış zamanları optimizasyonu
Senaryo 5	Senaryo 3, şehir içi şubelerinde 10%'luk talep artışı
Senaryo 6	Senaryo 3, şehir içi şubelerinde 15%'lik talep artışı
Senaryo 7	Senaryo 6, sanayi bölgesi araçlarına ait bir kapının şehir içi araçlarına ait olacak şekilde değiştirilmesi
Senaryo 8	Senaryo 3, sanayi bölgesi şubelerinde 10%'luk talep artışı
Senaryo 9	Senaryo 3, sanayi bölgesi şubelerinde 15%'lik talep artışı
Senaryo 10	Senaryo 9, şehir içi araçlarına ait bir kapının sanayi bölgesi araçlarına ait olacak şekilde değiştirilmesi

Çizelge 8.4'te görüldüğü üzere, bahsedilen mevcut sistem ile karşılaştırılması düşünülen dokuz adet farklı sistem tasarımı vardır. Bunlardan ilki olan Senaryo 2, mevcut sistemde var olan, şube çıkış saatlerindeki sapmanın kaldırılması durumunu incelemektedir. Bu alternatif tasarım ile tüm araçların, tam olarak hedeflenen çıkış zamanlarında şubeleri terk etmeleri durumunda, günlük toplam boşaltma işlemi tamamlanma zamanı performansının nasıl değişeceği gözlemlenmek istenmektedir.

Senaryo 3'te incelenen, mevcut durumda sistemdeki şube çıkışlarında var olan sapmalar dahil olacak şekilde, araç çıkış zamanlarının optimizasyonudur. Bu analiz ile, mevcut durumdaki şube çıkış zamanlarının optimal sonuç ile farklılığı gözlemlenecektir.

Senaryo 4, Senaryo 3'e benzer bir prosedür izlemektedir. Bu analizde, Senaryo 2'nin, yani mevcut sistemin, şubelerden araçların sarkma olmadan, tam zamanlı olarak çıkmaları durumundaki, optimal araç çıkış saati çizelgesi incelenecektir.

Senaryo 5'te, Senaryo 3'te elde edilen optimal araç çıkış zamanları baz alınarak, sistemde oluşabilecek 10%'luk bir talep artışının şehir içi şubelerinde etkili olması durumu incelenecektir. Söz konusu durum için optimal araç çıkış zamanları elde edilecektir.

Senaryo 6'da Senaryo 3'te elde edilen optimal araç çıkış zamanları baz alınarak ve Senaryo 5'e benzer bir şekilde, sistemde oluşabilecek 15%'lik bir talep artışının şehir içi şubelerinde etkili olması durumu incelenecektir. Söz konusu durum için optimal araç çıkış zamanları elde edilecektir.

Senaryo 7'de incelenen tasarım, Senaryo 6'daki 15%'lik şehir içi şube taleplerindeki artış durumunda elde edilen araç çıkış zamanlarını baz almıştır. Senaryo 6'dan farklı olarak bu tasarımda dört adet sanayi şubelerine ait kapıdan biri, şehir içi araçlarına ait bir kapı olarak değiştirilmesi incelenmiştir. Bu yaklaşımla, artan şehir içi talebinden dolayı şubelerden, normaldekine göre daha fazla sayıda çıkan araçlara ait boşaltma işlemlerinin, günlük operasyonu aksatmadan bitirilmesi düşünülmektedir.

Senaryo 8'de, Senaryo 3'te elde edilen optimal araç çıkış zamanları baz alınarak, sistemde oluşabilecek 10%'luk bir talep artışının sanayi bölgesi şubelerinde etkili olması durumu incelenecektir. Söz konusu durum için optimal araç çıkış zamanları elde edilecektir.

Senaryo 9'da, yine Senaryo 3'te elde edilen optimal araç çıkış zamanları baz alınarak, sistemde oluşabilecek 15%'lik bir talep artışının sanayi bölgesi şubelerinde etkili olması durumu incelenecektir. Söz konusu durum için optimal araç çıkış zamanları elde edilecektir.

Son olarak Senaryo 10'da incelenen tasarım, Senaryo 9'daki 15%'lik sanayi bölgesi şube taleplerindeki artış durumunda elde edilen araç çıkış zamanlarını baz almıştır. Senaryo 9'dan farklı olarak bu tasarımda üç adet şehir içi şubelerine ait kapıdan biri, sanayi bölgesi araçlarına ait bir kapı olarak değiştirilmesi incelenmiştir. Bu yaklaşımla, artan

sanayi bölgesi talebinden dolayı şubelerden, normaldekine göre daha fazla sayıda çıkan araçlara ait boşaltma işlemlerinin, günlük operasyonu aksatmadan bitirilmesi düşünülmektedir.

Açıklanan senaryolar değerlendirilirken ilk olarak, söz konusu performans ölçütü olan günlük boşaltma işlemi toplam tamamlanma zamanının 270 dakikadan küçük olması hedeflenmektedir. Bu analizin ardından alternatif sistem tasarımları, sistem için hâlihazırda geçerli bulunan fakat sistem yöneticileri tarafından geliştirilmek istenen 300 dakikalık boşaltma işlemi toplam tamamlanma zamanı baz alınarak incelenecektir.

8.10. Simülasyon Modeline Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

Simülasyon modeli ile incelenecek senaryolar, 500 günlük bir zaman aralığı için koşturulmuştur. Transfer merkezindeki günlük boşaltma işlemi toplam tamamlanma zamanı performansı ve ortalama tamamlanma zamanı verilerine ait performans ölçütü değerleri Çizelge 8.5'te verilmiştir.

Çizelge 8.5: Simülasyon modeli ile incelenen senaryolara ait performans ölçütü değerleri

Senaryo	Boşaltma İşlemi Toplam Tamamlanma Zamanı Hedef Değerleri			
	270 dk	300 dk	270 dk	300 dk
	Tamamlanma Zamanı Performansı (%)	Tamamlanma Zamanı Performansı (%)	Ortalama Tamamlanma Zamanı (dk)	Ortalama Tamamlanma Zamanı (dk)
1	55,6	91	272,3	272,02
2	78,6	96,6	257,2	258,06
3	94,4	97,2	262,65	270,78
4	97,6	98,4	251,5	263,95
5	84,6	95,2	267,04	274,81
6	76,8	91,8	268,84	277,21
7	94,2	95	263,96	274,35
8	78,4	93,6	268,32	277,74
9	72,2	91,2	269,8	279,47
10	91,8	92,2	264,52	276,87

Simülasyonu yapılan senaryolar, hem şu anda gerçekleşen hedef süre olan 300 dakikalık günlük boşaltma işlemi toplam tamamlanma zamanına göre hem de bu değer sistem yöneticileri tarafından hedeflenen değeri 270 dakikalık değerine göre olmak üzere iki farklı şekilde analiz edilmiştir.

300 dakikalık güncel zaman değerine göre oluşturulan modellere ait sonuçlar, 270 dakikalık hedef ile oluşturulan deney sonuçlarına göre daha yüksek tamamlanma zamanı performans değerine sahiptir. Bu da göstermektedir ki oluşturulan simülasyon modeli, sistemde şu an gerçekleştirilen operasyonlara ait sonuçlarla benzerlik göstermektedir çünkü, sistemde var olan düzende, çok yoğun olan ve farklı bir karakteristik özellik gösteren Pazartesi, Cuma ve yıl içindeki özel günler dışında boşaltma işlemleri 300 dakikalık zaman içerisinde bitirilmektedir.

Çizelge 8.5'te görüldüğü gibi boşaltma operasyonu, mevcut durumda 270 dakikalık tamamlanma zamanı hedefi ile 55,6% olasılıkla bitirilebilirken, bu süre yarım saat arttırılınca, işlerin büyük bir kısmı bu zaman zarfında bitirilebilmektedir.

Senaryo 2'ye ait sonuçlarda görüldüğü gibi mevcut durumdaki araç çıkış zamanlarında gerçekleşen 5 – 25 dakikalık sapmaların ortadan kalkması durumunda, işlerin 270 dakikada tamamlanması olasılığı 23% artmaktadır. Bu sonuç sistemin, içinde bulundurduğu değişkenliklere karşı çok hassas olduğunu göstermektedir.

Senaryo 3 ve Senaryo 4'e ait sonuçlarda görülmektedir ki mevcut sistem ve Senaryo 2'deki araç çıkış zamanları optimize edildiğinde, operasyonların 270 dakikada tamamlanma olasılığı büyük oranda artmaktadır.

Araç çıkış zamanlarının söz konusu senaryolar için optimize edilmesine karşın yine de 100% tamamlanma olasılığına hiçbir zaman ulaşamadığı görülmektedir. Bunun nedeni daha öncede bahsedildiği gibi, sistemin bünyesinde fazla sayıda ve sistem performansı üzerinde doğrudan etkili değişkenlik kaynaklarının bulunmasından dolayıdır.

Mevcut duruma göre şehir içi şubelerinde meydana gelebilecek olası talep artışlarının incelendiği Senaryo 5 ve Senaryo 6'ya ait sonuçlar göstermektedir ki var olan sistem, ani talep artışlarına karşı korunaklı değildir. 15%'lik şehir içi talep artışına çözüm olarak denenen, sanayi bölgesi araçlarına ait kapılardan birinin şehir içi bölgesine ait araçlar için kullanılması alternatifi incelendiğinde, bu yaklaşımın talep artışını büyük ölçüde karşıladığı görülebilmektedir.

Bir diğer analiz olan sanayi bölgesi şubelerinde gerçekleşebilecek olası talep artışının incelendiği Senaryo 8 ve Senaryo 9'da sistemin, sanayi bölgesine ait şubelerdeki talep dalgalanmalarına şehir içi bölgelerindeki şubelere nazaran daha duyarlı olduğu görülmektedir. Bu çıkarıma varılmasının nedeni Senaryo 8 ve Senaryo 9'a ait tamamlanma zamanı performans değerlerinin, Senaryo 5 ve Senaryo 6'ya oranla daha düşük gerçekleşmesidir. Aynı orandaki talep dalgalanmaları sanayi bölgesi şubelerinde gerçekleşirse, sistem buna şehir içi bölgesi şubelerine göre daha fazla tepki vermektedir.

Senaryo 10'a ait performans değeri göstermektedir ki, sanayi bölgesine ait şubelerde meydana gelebilecek 15%'lik bir talep artışında, şehir içi bölgesi araçları için ayrılan kapılardan birinin, sanayi bölgesi araçlarına tahsis edilmesi, ortaya çıkan sorunu yeterince gidermektedir. Fakat bu çözüm Senaryo 7'deki kadar etkin olmamaktadır.

Bir diğer performans ölçütü olan ortalama tamamlanma zamanına ait sonuçlar incelendiğinde ise, talep artışlarının incelendiği senaryolarda (5,6,7 ve 8,9,10), boşaltma işlemi ortalama tamamlanma zamanlarının baz alındıkları Senaryo 3'e göre arttığı görülebilmektedir. Bunun nedeni, şubelerde artan talebin sonucunda boşaltma alanına gelen araçlardaki kargo sayılarının artması ve bunun sonucunda artan kargoların boşaltılmasının Senaryo 3'e göre daha fazla zaman almasıdır.

Vaka probleminin simülasyon modeli ile incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar, senaryoların mevcut durumdaki sistem ile ve birbirleri ile karşılaştırılmasında kullanılacaktır.

8.11. Sistem Senaryolarının Karşılaştırılması

Sistem senaryolarının karşılaştırılması, simülasyon çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Modelden elde edilen çıktıların rassal değişkenliğe sahip olmasından dolayı, farklı senaryolara ait çıktılardaki değişkenliğin, gerçekten tasarım farklılıklarından mı yoksa modeldeki rassal değişkenlikten mi kaynaklandığının anlaşılması gereklidir. Bunu aydınlatabilmek için farklı istatistiksel analiz teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden en önemlileri bağımsız örnekleme ve ilintili örneklemedir. İlintili örnekleme tekniği, benzer rassal sayılar tekniği olarak da bilinir (CRN, Common Random Numbers) ve farklı senaryoların aynı rassal sayıları kullanarak, modellerde rassallıktan kaynaklanan değişkenliğin minimize edilmesini amaçlamaktadır. Benzer rassal sayılar tekniği, genellikle modelde var olan varyansı azaltır ve performans ölçütlerine ait tahminlerin daha kesin ve tutarlı olmasını sağlar.

Belirtilen varyans azaltma tekniklerinden bağımsız örnekleme tekniği, farklı iki sistemin karşılaştırılmasında farklı ve bağımsız rassal sayıların kullanılabilmesini ifade eder. Birinci sisteme ait tüm gözlemler $\{Y_{r1}, r = 1, \dots, R_1\}$, ikinci sisteme ait tüm gözlemler de

$\{Y_{r2}, r = 1, \dots, R_2\}$ olarak ifade edilsin. Burada farklı iki sistem arasındaki gözlemler birbirlerinden istatistiksel olarak bağımsızdır. Sistemlere ait ortalama (8.9)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{R_i} \sum_{r=1}^{R_i} Y_{ri} \quad (8.9)$$

(8.9)'den ve tekrarların birbirlerinden bağımsız olmasından yola çıkarak, örnek ortalama \bar{Y}_i 'ye ait varyans (8.10)'daki gibi elde edilir.

$$V(\bar{Y}_i) = \frac{V(Y_{ri})}{R_i} = \frac{\sigma_i^2}{R_i}, \quad i = 1, 2 \quad (8.10)$$

Bağımsız örnekleme tekniğinde, \bar{Y}_1 'in ve \bar{Y}_2 'nin istatistiksel olarak bağımsız olduğu bilindiğinden, bu farka ait varyans denklemi (8.11)'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} V(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) &= V(\bar{Y}_1) + V(\bar{Y}_2) \\ &= \frac{\sigma_1^2}{R} + \frac{\sigma_2^2}{R} \end{aligned} \quad (8.11)$$

Simülasyon modellerinde, benzer rassal sayılar tekniğinin varyansı azaltmasının nedenine bakacak olursak, temel olarak alternatif sistemlerde kullanılan veri setleri arasında pozitif korelasyon yaratmak olduğu anlaşılmaktadır. Her birinden eşit ve R adet tekrar alındığı ve her bir tekrarın r olarak varsayıldığı bir çalışmada, mevcut sisteme ait bir performans ölçütü, Y_{r1} ve alternatif sisteme ait aynı performans ölçütü Y_{r2} olsun. Buradaki amaç, performans ölçütlerinin nokta tahmincilerinin farklarının, $\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$, varyansını azaltmaktır. Bu varyansın genel formu (8.12)'deki gibidir.

$$\begin{aligned} V(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) &= V(\bar{Y}_1) + V(\bar{Y}_2) - 2cov(\bar{Y}_1, \bar{Y}_2) \\ &= \frac{\sigma_1^2}{R} + \frac{\sigma_2^2}{R} - \frac{2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2}{R} \end{aligned} \quad (8.12)$$

(8.12)'de belirtilen ρ_{12} , Y_{r1} ve Y_{r2} arasındaki korelasyonu belirtmektedir ve r 'den bağımsızdır. Burada benzer rassal sayılar tekniğinin kullanılması sonucu elde edilen

$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$ ifadesine ait varyans V_{CRN} , (8.11) denklemi vasıtasıyla elde edilen varyans da V_{IND} olarak ifade edilebilir. Buradan (8.12), denklem (8.13)'e dönüştürülebilir.

$$V_{CRN} = V_{IND} - \frac{2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2}{R} \quad (8.13)$$

Denklem (8.13)'ten de anlaşılmaktadır ki eğer benzer rassal sayılar tekniği amaçlandığı gibi çalışırsa ρ_{12} , pozitif olacak ve (8.13)'ün sağ tarafındaki ikinci kısım da pozitif olacaktır. Böylece, $V_{CRN} < V_{IND}$ ifadesi meydana gelecektir. Bu, nokta tahmincisine ait varyansın, simülasyon modelinde benzer rassal sayıların kullanımı ile bağımsız örnekleme göre daha düşük olacağını ifade etmektedir.

8.11.1. Senaryoların İkili Karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde farklı sistem tasarımlarına ait ikili karşılaştırmalar incelenmiştir. Tez çalışmasında analiz edilmek istenen performans ölçütleri, $\{\theta_i^k, i = 1, \dots, 10, k = 1, 2\}$ şeklinde ifade edilmektedir. Burada i senaryoları, k ise incelenen performans ölçütünü belirtmektedir. Değerlendirilen ilk performans ölçütü olan $\{\theta_i^1, i=1, \dots, 10\}$, i . sistem tasarımı için günlük boşaltma işlemlerinin ortalama tamamlanma zamanını ifade etmektedir. Diğer bir performans ölçütü olan, $\{\theta_i^2, i=1, \dots, 10\}$ ise, günlük boşaltma işlerinin tamamlanma yüzde performans değerini ifade eder. Bu analizin amacı, belirlenen bir güvenlik düzeyinde ortalama performans ölçütü değerlerinin farkı, $\theta_1^k - \theta_2^k, \theta_1^k - \theta_3^k, \theta_2^k - \theta_4^k, \theta_3^k - \theta_5^k, \theta_3^k - \theta_6^k, \theta_6^k - \theta_7^k, \theta_3^k - \theta_8^k, \theta_3^k - \theta_9^k$ ve $\theta_9^k - \theta_{10}^k, k = 1, 2$; performans ölçütleri için bir güven aralığı tahmininde bulunmaktadır. Karşılaştırma için eşleştirilen senaryolar, birbirleri üzerinden türetilmiş senaryolar olmalardan dolayıdır. Bu analizde genel rassal sayılar (CRN) yöntemi kullanılmış ve hesaplamalar bu yaklaşıma göre gerçekleştirilmiştir.

Güven aralıkları, 95% güvenlik düzeyinde tekrar sayısı, R , 500 olacak şekilde oluşturulmuştur. $\alpha=0,05$ ve serbestlik derecesi, ν , $500 - 1 = 499$ 'dur. Hesaplamalarda kullanılacak bir diğer ifade olan ortalamaların farklarına ait standart hata, $s.e.(\bar{D})$, S_D/\sqrt{R} olarak hesaplanmıştır çünkü modelleme sırasında genel rassal sayılar (CRN) kullanılmıştır.

İki farklı senaryonun performans ölçütleri bakımından karşılaştırılması için kullanılacak olan güven aralığı (8.14)'te verilmiştir.

$$\bar{D}_{ij}^k - t_{\alpha/2, R-1} s.e. (\bar{D}_{ij}^k) \leq \theta_i^k - \theta_j^k \leq \bar{D}_{ij}^k + t_{\alpha/2, R-1} s.e. (\bar{D}_{ij}^k)$$

(8.14)

(8.14)'te verilen güven aralığında, i ve j karşılaştırılacak senaryoları ifade etmektedir. Ayrıca \bar{D}_{ij}^k , karşılaştırılacak olan i ve j senaryolarının gözlem değerleri arasındaki farkın ortalamasını belirtmektedir.

(8.14)'teki güven aralığında verilen, $t_{\alpha/2, R-1}$ ifadesinin değeri, $t_{0,025,499} = 1,96$ olarak alınmıştır. Transfer merkezinde günlük boşaltma işlemlerinin toplam tamamlanma zamanının, sistem yöneticileri tarafından hedeflenen 270 dakika olarak ele alınması durumundaki güven aralıkları Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Çizelge 8.6: Alternatif sistem tasarımlarının ikili olarak karşılaştırılması için 95% güvenlik düzeyinde oluşturulan güven aralıkları (hedef 270 dakika)

		Ortalama Tamamlanma Zamanı ($k = 1$)		Tamamlanma Zamanı Performansı ($k = 2$)	
		Güven Aralığı Alt Sınırı (dk)	Güven Aralığı Üst Sınırı (dk)	Güven Aralığı Alt Sınırı (%)	Güven Aralığı Üst Sınırı (%)
1	1 vs. 2, $\theta_1^k - \theta_2^k$	10,50	18,87	-23,18	-17,82
2	1 vs. 3, $\theta_1^k - \theta_3^k$	5,55	14,16	-35,61	-32,19
3	2 vs. 4, $\theta_2^k - \theta_4^k$	1,39	11,04	-19,15	-15,91
4	3 vs. 5, $\theta_3^k - \theta_5^k$	-7,71	-1,26	5,52	8,82
5	3 vs. 6, $\theta_3^k - \theta_6^k$	-10,02	-2,39	13,04	15,89
6	6 vs. 7, $\theta_6^k - \theta_7^k$	0,90	7,69	-14,87	-12,33
7	3 vs. 8, $\theta_3^k - \theta_8^k$	-11,26	-0,71	14,19	16,94
8	3 vs. 9, $\theta_3^k - \theta_9^k$	-11,69	-2,86	19,78	22,62
9	9 vs. 10, $\theta_9^k - \theta_{10}^k$	2,39	8,32	-21,07	-18,53

Çizelge 8.6 incelendiğinde ilk göze çarpan, güven aralıklarının sıfırı içermedikleridir. Bu, incelenen tüm senaryoların istatistiksel olarak birbirlerinden farklı oldukları anlamına gelmektedir. Detaylı analize geçilecek olursa, ortalama tamamlanma zamanı performans ölçütü bakımından, birinci güven aralığında görüldüğü üzere 95% güvenlik düzeyinde, Senaryo 2, Senaryo 1'den daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Buradan, araç çıkış zamanlarındaki sarkmanın kaldırılmasının sistem performansı üzerinde önemli bir fark yarattığı görülmektedir. Bu sonuca, oluşturulan güven aralıklarının pozitif tarafta, sıfırı içermemelerinden varılmaktadır. Söz konusu güven aralıklarının sıfırı içermemeleri, karşılaştırılan sistemler arasında ikinci sistemin, istatistiksel olarak daha uygun sonuç verdiğini ifade etmektedir. Mevcut sistemde araçların şube çıkışlarındaki sapmaların ortadan kaldırılması, boşaltma işlemlerinin tamamlanma zamanı üzerinde ortalama 15 dakikalık bir azalma yaratmaktadır.

Benzer şekilde, Senaryo 1'in araç çıkış zamanları optimizasyonunun mevcut durum ile kıyaslandığı ikinci güven aralığında Senaryo 3'te, Senaryo 1'e oranla boşaltma işlemlerinin tamamlanma zamanı açısından ortalama 10 dakikalık bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, araç çıkışlarındaki sapmalar sistemde mevcut bulunurken, sadece Senaryo 1'in optimize edilmesinin etkisidir.

Senaryo 2'nin araç çıkış zamanları optimizasyonunun mevcut durum ile kıyaslandığı üçüncü güven aralığında ise Senaryo 4, Senaryo 2'den boşaltma işlemi tamamlanma zamanı baz alındığında ortalama 6 dakika daha düşük sonuç vermektedir. Diğer bir bakış açısıyla, eğer mevcut sistemdeki araç çıkış zamanlarına ait sapmalar ortadan kaldırılır ve bu durum optimize edilirse (Senaryo 4), boşaltma işlemi toplam tamamlanma zamanında, mevcut duruma göre ortalama 25 dakikalık bir iyileşme gerçekleştirilmiş olur.

Dördüncü ve beşinci güven aralıklarında görülmektedir ki şehir içi şubelerindeki olası talep artış durumlarında sistem performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu sonuca, şehir içi bölgelerindeki olası talep artışlarının incelendiği Senaryo 5 ve Senaryo 6'nın, Senaryo 3 ile kıyaslanması durumunun, negatif tarafta sıfırı içermemesiyle ulaşılabilmektedir.

Yedinci ve sekizinci güven aralıklarında hesaplanan alt ve üst sınırlar göstermektedir ki sanayi bölgesi şubelerindeki olası talep artış durumlarında da sistem performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Sanayi bölgelerindeki olası talep artışlarının incelendiği Senaryo 8 ve Senaryo 9'un, Senaryo 3 ile kıyaslanması durumunun, negatif tarafta sıfırı içermemesi, bu senaryoların Senaryo 3'e göre boşaltma işlemi tamamlanma zamanı performans ölçütü bazında daha kötü sonuç verdiği anlaşılmaktadır. Ek olarak, Çizelge 8.6'dan anlaşıldığı üzere sanayi bölgelerindeki olası talep artışları, şehir içi bölgelerindeki olası talep artışlarına oranla sistem performansı üzerinde daha etkilidir. Bu sonuca, yedi ve sekizinci güven aralıklarına ait sınır değerlerinin, dördüncü ve beşinci güven aralıklarına göre daha fazla sola itelenmesinden ulaşılabilmektedir.

Çizelge 8.6'da verilen sonuçlardan Senaryo 7, Senaryo 6'ya göre sistemin günlük boşaltma işlemi toplam tamamlanma zamanı baz alındığında daha iyi sonuç vermektedir. Günlük boşaltma işlemleri toplam tamamlanma zamanı bakımından Senaryo 7, Senaryo 6'ya göre ortalama 4,5 dakikalık bir iyileşme sağlamıştır. Aynı yaklaşım Senaryo 10 ile

Senaryo 9 arasındaki karşılaştırma için de geçerlidir. Senaryo 10, Senaryo 9'a göre günlük toplam boşaltma işlemleri tamamlanma zamanı açısından ortalama 5,5 dakikalık bir iyileşme sağlamıştır.

Senaryo 6 ve Senaryo 7'nin karşılaştırıldığı birinci güven aralığı ile Senaryo 9 ve Senaryo 10'un karşılaştırıldığı ikinci güven aralığında görülmektedir ki, talep artışının olduğu şube tipine yönelik boşaltma kapısı sayısının arttırılması, öncül sisteme göre daha iyi sonuç vermektedir.

Çizelge 8.6, ikinci performans ölçütü olan günlük boşaltma işlemlerinin tamamlanma zamanı performansı açısından incelenecek olursa ilk olarak birinci ve ikinci güven aralıklarında, Senaryo 2 ve Senaryo 3'ün Senaryo 1 yani mevcut duruma göre sistem performansını oldukça yükselttiği görülmektedir. Aynı şekilde üçüncü güven aralığı incelendiğinde görülmektedir ki Senaryo 4, Senaryo 2'ye göre yüksek bir sistem performansı göstermiştir. İlk üç senaryoya ait tamamlanma zamanı performansları, ilk performans ölçütü olan ortalama tamamlanma zamanı değerleri ile tutarlıdır. Ortalama tamamlanma zamanlarının düştüğü sistemlerde, işlemlerin toplam tamamlanma zamanı performansları artmaktadır.

Şehir içi ve sanayi bölgesi şubelerine ait olası talep artışlarının incelendiği dördüncü, beşinci, yedinci ve sekizinci güven aralıklarında görülmektedir ki olası talep artışları sistem performansı üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Ayrıca sanayi bölgesine ait şubelerdeki olası talep artışlarının, şehir içi bölgesindeki olası talep artışlarına oranla sistem performansı üzerinde daha etkili olduğu Çizelge 8.6'da görülebilmektedir.

Olası talep artışlarına çözüm olarak düşünülen, ihtiyaç duyulan kapı tipinin arttırılması senaryolarının tamamlanma zamanı performansı üzerindeki etkileri, altı ve dokuzuncu güven aralıklarında incelenmektedir. Altı ve dokuzuncu güven aralıkları analiz edildiğinde, ihtiyaç duyulan kapı tipinin sayısının arttırılmasının, sistemin tamamlanma zamanı performansı üzerinde yüksek derecede artışa neden olduğu görülmektedir.

9. MATEMATİKSEL MODEL VE SİMÜLASYON MODELİNE AİT SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Tez çalışmasında vaka probleminin çözümünde kullanılmak üzere matematiksel ve simülasyon modellemesinden yararlanılmıştır. Farklı güvenlik düzeylerindeki matematiksel modellerine ve farklı senaryolara ait simülasyon modellerine ait amaç fonksiyonu değerleri Çizelge 9.1’de listelenmiştir.

Çizelge 9.1: Matematiksel ve simülasyon modellerine ait amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırılması

Matematiksel Model		Simülasyon Modeli	
Tasarım	Amaç Fonksiyonu Değeri	Tasarım	Amaç Fonksiyonu Değeri
Mevcut Durum	9.609,5	Senaryo 1	9.609,5
Senaryo 1 (90% GD)	19.449,5	Senaryo 2	12.634,5
Senaryo 2 (95% GD)	18.808,5	Senaryo 3	13.610,5
Senaryo 3 (99% GD)	17.196	Senaryo 4	14.386,5
		Senaryo 5	13.012
		Senaryo 6	12.461,5
		Senaryo 7	13.071
		Senaryo 8	12.536,5
		Senaryo 9	12.278
		Senaryo 10	13.010,04

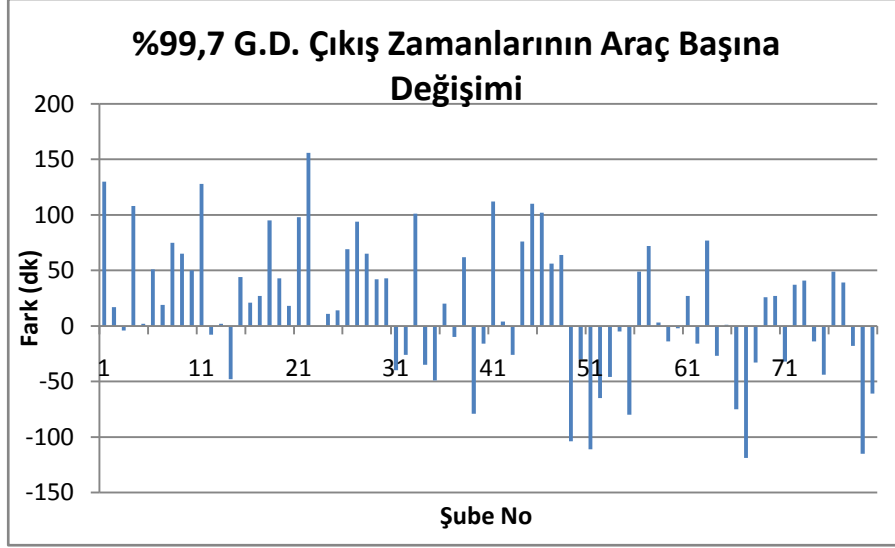
Çizelge 9.1’de görülen farklı güvenlik düzeylerindeki matematiksel modeller ile simülasyon modellerinden sadece Senaryo 4’ün karşılaştırılması anlamlıdır. Bunun nedeni, araç çıkış saatlerindeki sarkmaların sıfır olduğunun varsayıldığı problem yapısı itibariyle, matematiksel modele en yakın senaryonun Senaryo 4 olmasıdır. Simülasyon modellerinden Senaryo 4’ün boşaltma işlemi tamamlanma zamanı bakımından sistem performansı Çizelge 8.7’de, 97,6% olarak hesaplanmıştı. Bu performans oranı sistemin

tümüne (7 kapı) ait bir güvenlik düzeyini ifade etmektedir. Matematiksel model her bir kapı bazında çözüldüğünden, simülasyon modellerinden Senaryo 4'ün güvenlik düzeyine denk düşen değer, $(97,6\%)^{1/7} = 99,7\%$ olarak hesaplanır. Çizelge 9.1'de verilen matematiksel modellere ait güvenlik düzeyleri her bir kapı bazındaki değerlerdir ve görüldüğü üzere simülasyon modellerinden Senaryo 4'ün her bir kapı bazındaki güvenlik düzeyi 99,7% değerinin ele alındığı bir matematiksel model koşturulmamıştır. Simülasyon modellerinden Senaryo 4 ve her bir kapıda 99,7% güvenlik düzeyindeki matematiksel modele ait karşılaştırma Çizelge 9.2'de verilmiştir. Matematiksel model Senaryo 4'ün çözümüne ait araç çıkış zamanları ile simülasyon modeli Senaryo 4'ün sonuçlarını EK I'dadır.

Çizelge 9.2: Matematiksel modele ait Senaryo 4 ile simülasyon modeline ait Senaryo 4'ün amaç fonksiyonu değerleri

Matematiksel Model		Simülasyon Modeli	
Tasarım	Amaç Fonksiyonu Değeri	Tasarım	Amaç Fonksiyonu Değeri
Senaryo 4 (99,7% GD)	16.959	Senaryo 4	14.386,5

Çizelge 9.2'de karşılaştırılan değerler göstermektedir ki 99,7%'lik güvenlik düzeyinde; matematiksel modellerinden Senaryo 4, simülasyon modellerinden Senaryo 4'e göre daha büyük bir amaç fonksiyonu değeri vermiştir. Bunun en önemli nedeni; matematiksel modelde, simülasyon modelinin aksine sadece araç çıkış zamanlarında değil, araçların kapılara atanmasında ve kapılardaki sıralamalarında da optimizasyona gidilmesidir. Ayrıca, sistemde var olan belirsizliğin simülasyon modeli tarafından daha doğru bir şekilde modele yansıtılması da, simülasyon modellerinden Senaryo 4'ün amaç fonksiyonu değerinin daha düşük çıkmasında etkisi vardır. Bu iki çözümün şube çıkış zamanları karşılaştırılması Şekil 9.1'de verilmiştir.



Şekil 9.1: 99,7% G.D. Matematiksel model Senaryo 4 – Simülasyon modeli Senaryo 4, şubelerden araç çıkış zamanları farkı (ağırlıklara göre büyükten küçüğe sıralanmış halde)

Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanları farklarının görüldüğü Şekil 9.1'de, verilerin çoğunun pozitif değer aldığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 9.1'de görülen fark değerlerinin ortalaması 16,11 dakika çıkmıştır. Bu, matematiksel model Senaryo 4'ün simülasyon modeli Senaryo 4'e göre, araç çıkış zamanlarını daha geç bir vakite çekebildiğini göstermektedir.

EK J'de, "2,5" ağırlıklı yüksek öncelikli şubelerin "2" ağırlıklı yüksek öncelikli şubelerin farklı senaryolara ait araç çıkış zamanı grafiklerinde, incelenen olası senaryolara ait araç çıkış zamanlarında, mevcut duruma göre genel anlamda bir artış olduğu görülmektedir.

EK J'de, şehir içi şubelerine ait olası talep artışlarının incelendiği Senaryo 5, Senaryo 6, Senaryo 7 ve sanayi bölgesi şubelerine ait olası talep artışlarının incelendiği Senaryo 8, Senaryo 9, Senaryo 10'a ait sonuçlar incelendiğinde, Senaryo 7 ve Senaryo 10'da diğer senaryolarla kıyaslandığında, bazı şubelere ait araç çıkış zamanlarının iyileşmek yerine daha geriye gittiği görülmektedir. Bunun sebebi, olası talep artışı durumunda bazı şubelerin artan talebi karşılayabilmek için normalden fazla araç çıkarma durumunda olmalarıdır. Bu durum söz konusu şubelerin, mecburen araç çıkış zamanlarının olması

gerekenden daha öne çekilmesine yol açmaktadır. Olası talep artışı senaryolarında artan talebin karşılanmasında, mevcut araçların yeterli olduğu şubelerde, araçların çıkış zamanlarının mevcut durumdan daha geç bir zamana ertelendiği görülmektedir.

10. SONUÇ

Bu çalışma ile Aras Kargo Ankara Bölgesi Ana Transfer Merkezi'nin araç boşaltma kapılarına, şube araçlarının atanması ve kapılara atanan araçların sıralanması problemi, araçların şubelerden çıkış zamanları da koordine edilecek şekilde ele alınmıştır.

Vaka probleminin çözümü için yeni bir matematiksel model geliştirilmiş ve bu model oluşturulan ve kabul edilebilir bir performansa sahip yeni bir sezgisel yaklaşım yardımı ile çözülmüştür. Sonuçlar 90%, 95% ve 99%'luk güvenlik düzeyleri için incelenmiş ve sonuçlar her bir güvenlik düzeyine uygun belirlenen güvenlik zamanları göz önünde bulundurulurken elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu değeri olan ağırlıklandırılmış araç çıkış zamanları toplamı, mevcut durumda 9.609,5 olarak hesaplanmıştır. 90%, 95% ve 99%'luk güvenlik düzeyleri için bu değer sırasıyla 19.449,5; 18.808,5 ve 17.196 olarak bulunmuştur. Buradan, sistemden yüksek düzeyde bir performans beklenmesi durumunda şube çıkış zamanlarının daha erken saatlere çekilmek durumunda kaldığı dolayısıyla amaç fonksiyonu değerinin azaldığı sonucuna varılabilir.

Vaka problemi, matematiksel modele ek olarak simülasyon modeli ile de ele alınmıştır. Sistemden elde edilen veriler yardımı ile oluşturulan simülasyon modelinde, var olan tüm belirsizlik kaynakları oldukları gibi modele yansıtılmaya çalışılmış ve gerçek hayatta var olan sisteme daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Vaka probleminin simülasyon modeli ile çözülmesi sonucunda, mevcut sistem yapısının, günlük operasyonların tamamının hedeflenen 23:30 saatine kadar tamamlanmasında ortalama 58%'lik bir performansla çalıştığı görülmüştür. Bu değer, günlük talebin karşılanabilmesi için düşük bir performans değeridir. Bu nedenle, sistemin günlük boşaltma işlemi tamamlanma performansını arttırabilmek için farklı senaryolar üzerinde durulmuştur. Araç çıkış zamanlarındaki sapmaların var olduğu mevcut durumdaki araç çıkış zamanlarının optimize edilmesi sonucunda, sistem performansında ortalama 34%'lük bir artış gözlemlenmiştir. Sistemde, araç çıkış zamanlarında gözlemlenen sapmaların kaldırıldığı durumda ise, günlük boşaltma işlemleri tamamlanma performansında ortalama 20%'lik bir artış görülmektedir. Diğer bir analizde ise araç çıkış zamanlarındaki sapmaların kaldırıldığı senaryonun optimize edildiği durum incelenmiştir.

Bu durumda, mevcut duruma göre sistem performansının ortalama 38% oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca olası talep artışı durumlarının sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şehir içi bölgelerindeki olası 10%'luk bir talep artışında günlük boşaltma zamanı tamamlanma performansının, mevcut durumun optimizasyonuna göre ortalama 7%'lik bir düşüşle 84% olduğu görülmüştür. Şehir içi bölgelerindeki olası talep artışının 15% olduğu durumda ise, sistem performansının mevcut durumun optimizasyonuna göre ortalama 14%'lük bir düşüşle 78% olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Benzer bir analiz sanayi bölgesi şubeleri için yapıldığında, şube taleplerindeki 10%'luk artışın günlük boşaltma işlemleri tamamlanma performansının ortalama 17%'lik düşüşle 77% olmasına, 15%'lik bir talep artışının ise sistem performansının ortalama 21%'lik bir düşüşle 71% olmasına yol açtığı görülmektedir.

İhtiyaç duyulan kapı tipinin hizmete alınması durumunda sistem performansının oldukça arttığı, 95% güvenlik düzeyinde oluşturulan güven aralıkları ile gösterilmiştir. Şehir içi bölgelerindeki 15%'lik olası talep artışı durumunda, bir sanayi kapısının şehir içi araçlarının hizmetine sunulmasının, günlük boşaltma işlemleri tamamlanma zamanı performansında ortalama 14%'lük bir artış sağladığı ve sistem performansının yaklaşık 92%'ye çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde sanayi bölgelerindeki 15%'lik olası talep artışı durumu incelendiğinde ise, bir şehir içi kapısının sanayi bölgesi araçlarının hizmetine sunulmasının, günlük boşaltma işlemleri tamamlanma zamanı performansında ortalama 20%'lik bir artış sağladığı ve sistem performansının yaklaşık 91%' e çıktığı görülmüştür. Bu analizlerden anlaşılmaktadır ki sistem performansı, sanayi şubelerindeki olası talep değişkenliklerine daha duyarlıdır.

Simülasyon modeli ve matematiksel model ile oluşturulan senaryolardan, benzer koşullara sahip olan bir senaryo, 97,6%'lık ortak bir güvenlik düzeyinde incelenmiş ve matematiksel modellemenin, simülasyon modeline göre daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri ürettiği görülmüştür. Bunun nedeni, simülasyon modellemesinde, sistemdeki araç çıkış zamanları dinamik kuyruk yapısıyla optimize edilirken matematiksel modelde, araç çıkış zamanlarına ek olarak, araçların kapılara atanması ve bu kapılardaki sıralarının da optimize edilmesidir.

Özet olarak, mevcut durumdaki araç çıkış zamanlarının değiştirilmesi ve şube kapanış zamanlarındaki sapmaların en aza indirilmesi gerektiği söylenebilir. Bunların yapılması ile günlük taleplerin yüksek oranda karşılanabildiği görülmektedir. Ayrıca olası talep artış durumlarında, ihtiyaç duyulan şube tipine uygun kapı sayısının artırılması seçeneğinin, ek talebi karşıladığı gözlemlenmiştir.

11. TAVSİYELER

Aras Kargo Ankara Bölgesi akşam operasyonlarının incelendiği bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre şirket için sunulan öneriler şu şekildedir:

1. Mevcut durumdaki araç çıkış zamanları matematiksel modelleme ile veya simülasyon modeli ile yapılan optimizasyon sonucundaki elde edilen iyileştirilmiş araç çıkış zamanları ile değiştirilmelidir.
2. Araç çıkış zamanlarındaki sapmalar en aza indirilmelidir.
3. 1. ve 2. maddelerin gerçekleştirilmesi sonucunda günlük taleplerin karşılandığı görülmüştür. Bu nedenle söz konusu maddeleri hayata geçirebilmek için gerekli adımların atılması ve atılan adımların sistemde sürekli kılınması için ihtiyaç duyulan kararların alınması gereklidir.
4. Şube taleplerindeki olası artış durumunda, ihtiyaç duyulan şube tipine uygun kapı sayısının artırılmasının, şehir içi şubelerinde artan talebi karşılamakta 14%, sanayi bölgesi şubelerinde artan talebi karşılamakta ise 20% daha iyi bir tamamlanma zamanı performansı verdiği görülmüştür.
5. Sistem üzerindeki kontrolün artırılması için sistemden sağlıklı veri elde edilmelidir. Düzenli olarak toplanacak verilerle güncellenen analizler, yöneticilerin sistemin gidişatı konusunda daha doğru fikir sahibi olmalarına yardımcı olacaktır. Ayrıca herhangi bir durumda sistem üzerinde etkin ve hızlı müdahale edebilme şansı yakalanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Singh, S. P., Burgess, G. J., Measurement and Analysis of the Next-day Air Shipping Environment for Mid-sized and Lightweight Packages for DHL, FefEx and United Parcel Service, *Packaging Technology and Science*, 19, 227-235, 2006.
- [2] Wartha, C., Borshchev, A., Peev, M., Filippov, A. E., Decision Support Tool-Suplly Chain, Winter Simulation Conference, San Diego, California, Aralık 2002
- [3] Lee, H. J., Ko, H. J., Sohn, Y. H., Ko, C. S., Profit-based Network Design in Express Courier Services, 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control (ICICIC'08), 112-112, 2008
- [4] Cheung, W., Leung, L. C., Wong, Y. M., Strategic Service Network Design for DHL Hong Kong, ABI/INFORM Global, *Interfaces* 31, 4, 1-14, 2001
- [5] Ko, C. S., Min, H., Ko, H. J., Determination of Cutoff Time for Express Courier Services: A Genetic Algorithm Approach, *International Transactions in Operational Research*, 14, 159-177, 2007
- [6] McWilliams, D. L., Stanfield, P. M., Geiger, C. D., Minimizing the Completion Time of the Transfer Operations in a Central Parcel Consolidation Terminal with Unequal-batch-size Inbound Trailers, *Computers and Industrial Engineering*, 54, 709-720, 2008
- [7] Tsui, L. Y., Chang, C. H., An Optimal Solution to a Dock Door Assignment Problem, *Computers and Industrial Engineering*, 23, 283-286, 1992
- [8] Bartholdi, J. J., Gue, K. R., Reducing Labor Costs in an LTL Crossdocking Terminal, *Operations Research*, Vol.48, No. 6, 823-832, 2000
- [9] Larbi, R., Alpan, G., Baptiste, P., Penz, B., Scheduling of Transshipment Operations in a Single Strip and Stack Doors Crossdock, 19th International Conference on Production Research – ICPR '07. Valparaiso, Şili, 2007
- [10] Boysen, N., Truck Scheduling at Zero-inventory Crossdocking Terminals, *Computers and Operations Research*, Vol. 37, 1, 32-41, 2009
- [11] Masel, D., Goldsmith, D., Using a Simulation Model to Evaluate the Configuration of a Sortation Facility, Winter Simulation Conference, Atlanta, Georgia, Aralık 1997
- [12] McWilliams, D. L., Simulation Based Scheduling for a Parcel Consolidation Terminals: A Comparison of Iterative Improvement and Simulated Annealing, Winter Simulation Conference, Aralık 2005
- [13] Kelton, W. D., Sadowski, R. P., Sturrock. D. T., Simulation with Arena, *The McGraw-Hill*, New York, 2007
- [14] Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G., Shmoys, D. B., Sequencing and Scheduling: Algorithms and Complexity, *Operations Research and Management Science*, Vol. 4, 445-552, 1989
- [15] Hall, L. A., Schulz, A. S., Shmoys, D. B., Wein, J., Scheduling to Minimize Average Completion Time: Off-line and On-line Approximation Algorithms, *Mathematics of Operations Research*, 22, 513-544, 1997

- [16] Biskup, D., Herrmann, J., Gupta, J. N. D., Scheduling Identical Parallel Machines to Minimize Total Tardiness, *International Journal of Production Economics*, 115, 134-142, 2008
- [17] Chen, Z. L., Powell, W. B., Solving Parallel Machine Scheduling Problems by Column Generation, *INFORMS Journal on Computing*, 11, 78-94, 1999
- [18] Fourer, R., Gay, D. M., Kernighan, B. W., AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming, *Boyd & Fraser*, San Francisco, California, 2002
- [19] Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., Nicol, D. M., Discrete-Event System Simulation, *Prentice Hall*, New Jersey, 2005
- [20] Naylor, T. H., Finger, J. M., Verification of Computer Simulation Models, *Management Science*, Vol. 2, B92-B101, 1967

Ek A: Matematiksel Modele Ait Ampl Model Ve Veri Dosyaları İle Sezgisel Ait Kodlar

Modele ait kodlar:

```
maximize min_of_closing_times: sum{i in 1..subeno} S[i] * CL[i];
subject to ready_time {i in 1..subeno}: R[i]= CL[i]+T[i];
subject to assignment_of_trucks {j in 1..subeno}: (sum {i in 1..subeno, k in 1..kapino }
X[i, j,k] + sum{k in 1..kapino} X0[j,k]) = 1 ;
subject to assignment_of_first_truck {k in 1..kapino}: sum {j in 1..subeno} X0[j,k]<=1;
subject to assignment_in_each_machine {j in 1..subeno, k in 1..kapino}: sum {i in
1..subeno} X[i,j,k]+ X0[j,k] = sum {i in 1..subeno+1} X[j,i,k];
subject to i_j_equality {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino}: sum {i in 1..subeno+1: i==j}
X[i,j,k]=0;
subject to completion_time1_first_job {j in 1..subeno, k in 1..kapino}: C[j] - R[j] >= P[j,k]
- (1-X0[j,k])*M;
subject to completion_time1_succeed_job {i in 1..subeno, j in 1..subeno, k in 1..kapino}:
C[j] - C[i] >= P[j,k] - (1 - X[i,j,k])*M;
subject to completion_time2_succeed_job {j in 1..subeno, k in 1..kapino}: C[j] - R[j] >=
P[j,k] - (1-sum{i in 1..subeno+1} X[i,j,k])*M ;
subject to job_door_assignment1 {i in 1..subeno, k in 1..kapino}: sum{j in
1..subeno}(X[i,j,k]+X[j,i,k]) + X0[i,k] <=K[i,k]*3;
```

##Gate 1 Constraints##

```
maximize min_of_closing_times_G1: sum{i in 1..subeno: K[i,1]>0} S[i] * CL[i];
subject to ready_time_G1 {i in 1..subeno: K[i,1]>0}: R[i]= CL[i]+T[i];
subject to assignment_of_trucks_G1 {j in 1..subeno}: (sum {i in 1..subeno, k in
1..kapino:k==1 && K[i,k]>0} X[i, j,k] + sum{k in 1..kapino:k==1 && K[j,k]>0}
X0[j,k]) = 1 ;
subject to assignment_of_first_truck_G1 {k in 1..kapino:k==1 }: sum {j in
1..subeno:K[j,k]>0} X0[j,k] =1;
subject to assignment_in_each_machine_G1 {j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==1 &&
K[j,k]>0}: sum {i in 1..subeno: K[i,k]>0} X[i,j,k]+ X0[j,k] = sum {i in 1..subeno+1:
K[i,k]>0} X[j,i,k];
subject to i_j_equality_G1 {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k==1}: sum {i in
1..subeno+1: i==j && K[j,k]>0} X[i,j,k]=0;
subject to completion_time1_first_job_G1 {j in 1..subeno: K[j,1]>0}: C[j] - R[j] >=
P[j,1]-(1-X0[j,1])*M;
subject to completion_time1_succeed_job_G1 {i in 1..subeno, j in 1..subeno, k in
1..kapino:k==1 && K[j,k]>0 && K[i,k]>0}: C[j] - C[i] >= P[j,k] - (1 - X[i,j,k])*M;
subject to completion_time2_succeed_job_G1 {j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==1 &&
K[j,k]>0}: C[j] - R[j] >= P[j,k] ;
```

##Gate 2 Constraints##

```
maximize min_of_closing_times_G2: sum{i in 1..subeno: K[i,2]>0} S[i] * CL[i];
subject to ready_time_G2 {i in 1..subeno: K[i,2]>0}: R[i]= CL[i]+T[i];
```

subject to assignment_of_trucks_G2 {j in 1..subeno}: (sum {i in 1..subeno, k in 1..kapino:k==2 && K[i,k]>0} X[i, j,k] + sum{k in 1..kapino:k==2 && K[j,k]>0} X0[j,k]) = 1 ;
 subject to assignment_of_first_truck_G2 {k in 1..kapino:k==2 }: sum {j in 1..subeno: K[j,k]>0} X0[j,k] = 1;
 subject to assignment_in_each_machine_G2 {j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==2 && K[j,k]>0}: sum {i in 1..subeno: K[i,k]>0} X[i,j,k]+ X0[j,k] = sum {i in 1..subeno+1: K[i,k]>0} X[j,i,k];
 subject to i_j_equality_G2 {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k==2}: sum {i in 1..subeno+1: i==j && K[j,k]>0} X[i,j,k]=0;
 subject to completion_time1_first_job_G2 {j in 1..subeno: K[j,2]>0}: C[j] - R[j] >= P[j,2]-(1-X0[j,2])*M;
 subject to completion_time1_succeed_job_G2 {i in 1..subeno, j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==2 && K[j,k]>0 && K[i,k]>0}: C[j] - C[i] >= P[j,k] - (1 - X[i,j,k])*M;
 subject to completion_time2_succeed_job_G2 {j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==2 && K[j,k]>0}: C[j] - R[j] >= P[j,k];

##Gate 3 Constraints##

maximize min_of_closing_times_G3: sum{i in 1..subeno: K[i,3]>0} S[i] * CL[i];
 subject to ready_time_G3 {i in 1..subeno: K[i,3]>0}: R[i]= CL[i]+T[i];
 subject to assignment_of_trucks_G3 {j in 1..subeno}: (sum {i in 1..subeno, k in 1..kapino:k==3 && K[i,k]>0} X[i, j,k] + sum{k in 1..kapino:k==3 && K[j,k]>0} X0[j,k]) = 1 ;
 subject to assignment_of_first_truck_G3 {k in 1..kapino:k==3}: sum {j in 1..subeno: K[j,k]>0} X0[j,k] = 1;
 subject to assignment_in_each_machine_G3 {j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==3 && K[j,k]>0}: sum {i in 1..subeno: K[i,k]>0} X[i,j,k]+ X0[j,k] = sum {i in 1..subeno+1: K[i,k]>0} X[j,i,k];
 subject to i_j_equality_G3 {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k==3}: sum {i in 1..subeno+1: i==j && K[j,k]>0} X[i,j,k]=0;
 subject to completion_time1_first_job_G3 {j in 1..subeno: K[j,3]>0}: C[j] - R[j] >= P[j,1]-(1-X0[j,3])*M;
 subject to completion_time1_succeed_job_G3 {i in 1..subeno, j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==3 && K[j,k]>0 && K[i,k]>0}: C[j] - C[i] >= P[j,k] - (1 - X[i,j,k])*M;
 subject to completion_time2_succeed_job_G3 {j in 1..subeno, k in 1..kapino:k==3 && K[j,k]>0}: C[j] - R[j] >= P[j,k] ;

Veri dosyası:

param subeno := 80 ;
 param kapino := 7 ;
 param M := 270 ;

param P: 1 2 3 4 5 6 7 :=

1	12	11	10	10	10	11	12
2	9	8	7	7	7	8	9
3	7	6	5	5	5	6	7
4	12	11	10	10	10	11	12
5	12	11	10	10	10	11	12

6 7	6	5	5	5	6	7
7 7	6	5	5	5	6	7
8 12	11	10	10	10	11	12
9 12	11	10	10	10	11	12
10 10	9	8	8	8	9	10
11 12	11	10	10	10	11	12
12 8	7	6	6	6	7	8
13 12	11	11	11	11	11	12
14 8	7	5	5	5	7	8
15 8	7	5	5	5	7	8
16 7	6	3	3	3	6	7
17 8	7	5	5	5	7	8
18 9	8	6	6	6	8	9
19 8	7	5	5	5	7	8
20 7	6	4	4	4	6	7
21 8	7	5	5	5	7	8
22 7	6	4	4	4	6	7
23 7	6	4	4	4	6	7
24 8	7	5	5	5	7	8
25 8	7	5	5	5	7	8
26 9	8	6	6	6	8	9
27 12	11	10	10	10	11	12
28 8	7	6	6	6	7	8
29 8	7	5	5	5	7	8
30 9	8	7	7	7	8	9
31 7	6	4	4	4	6	7
32 7	6	4	4	4	6	7
33 9	8	6	6	6	8	9
34 7	6	4	4	4	6	7
35 7	6	3	3	3	6	7
36 12	11	10	10	10	11	12
37 8	7	5	5	5	7	8
38 11	10	9	9	9	10	11
39 9	8	7	7	7	8	9
40 9	8	6	6	6	8	9
41 12	11	10	10	10	11	12
42 10	9	8	8	8	9	10
43 7	6	3	3	3	6	7
44 11	10	9	9	9	10	11
45 11	10	9	9	9	10	11
46 10	9	8	8	8	9	10
47 7	6	4	4	4	6	7
48 12	11	10	10	10	11	12
49 9	8	6	6	6	8	9
50 7	6	3	3	3	6	7
51 8	7	6	6	6	7	8
52 7	6	3	3	3	6	7
53 7	6	4	4	4	6	7
54 10	10	100	100	100	10	10
55 19	19	100	100	100	19	19

56	14	14	100	100	100	14	14
57	19	19	100	100	100	19	19
58	19	19	100	100	100	19	19
59	19	19	100	100	100	19	19
60	19	19	100	100	100	19	19
61	19	19	100	100	100	19	19
62	19	19	100	100	100	19	19
63	19	19	100	100	100	19	19
64	19	19	100	100	100	19	19
65	19	19	100	100	100	19	19
66	16	16	100	100	100	16	16
67	19	19	100	100	100	19	19
68	5	5	100	100	100	5	5
69	19	19	100	100	100	19	19
70	18	18	100	100	100	18	18
71	19	19	100	100	100	19	19
72	19	19	100	100	100	19	19
73	11	11	100	100	100	11	11
74	12	12	100	100	100	12	12
75	14	14	100	100	100	14	14
76	10	10	100	100	100	10	10
77	17	17	100	100	100	17	17
78	18	18	100	100	100	18	18
79	19	19	100	100	100	19	19
80	14	14	100	100	100	14	14
81	0	0	0	0	0	0	0

0;

param: S T:=

1	2.5	30
2	2.5	45
3	1	30
4	2.5	45
5	2.5	35
6	0.5	25
7	1	40
8	1.5	45
9	0.5	90
10	0.5	40
11	2.5	40
12	1.5	35
13	1	50
14	0.5	120
15	2	40
16	0.5	40
17	1	40
18	2	45
19	1	35
20	2	35
21	2	50

22	1	45
23	1.5	20
24	1.5	35
25	2.5	40
26	2	20
27	1.5	30
28	0.5	40
29	0.5	45
30	1.5	30
31	0.5	30
32	2	40
33	1	40
34	2.5	30
35	2	90
36	2.5	35
37	1	35
38	2	35
39	2.5	45
40	1	10
41	2.5	35
42	2	35
43	2	35
44	2	20
45	0.5	25
46	2	35
47	1	80
48	0.5	35
49	2	40
50	2.5	35
51	1.5	35
52	2	35
53	1.5	40
54	1	20
55	1.5	20
56	2.5	45
57	2.5	35
58	2	45
59	2	50
60	1.5	45
61	2.5	45
62	2	35
63	2.5	40
64	0.5	15
65	2.5	35
66	0.5	40
67	2	40
68	1.5	30
69	1.5	45
70	2	33
71	1.5	37

```

72 1    35
73 1.5  35
74 0.5  35
75 2    27
76 1.5  20
77 2    33
78 1.5  40
79 2    20
80 2    40
81 0    0;

```

Sezgisele ait kodlar:

```

reset;
param subeno >=0 ;
param kapino >=0 ;
param M >=0;
param T {1..subeno+1} >= 0;
param P {i in 1..subeno+1, k in 1..kapino+1} >= 0;
param Pmin {i in 1..subeno} >= 0;
param K {i in 1..subeno+1, k in 1..kapino}, default 1;
param S {i in 1..subeno+1};
param LP_UB, default 0;
param max_min_fark, default 0;
param max_truck, default 0;
param min_truck, default 0;
param max_gate, default 0;
param min_gate, default 0;
param min_sube, default 0;
param min_sum, default 0;
param min_summ, default 0;
param max_summ, default 0;
param max_door, default 0;
param number_of_trucks {k in 1..kapino};
param unbalance, default 3;
param CG{k in 1..kapino};
param city_branch, default 0;
param industrial_door, default 0;
var CL{i in 1..subeno} >= 0, <=180;
var C {i in 1..subeno} >=0, <= 221 ;
var R {i in 1..subeno} >= 0 ;
var W {i in 1..subeno} >= 0 ;
var X {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino }, binary ;
var X0{j in 1..subeno+1, k in 1..kapino }, binary;
var MCL >= 0 ;

model aras2.mod;
data aras_full.dat;

option solver cplexamp;

```

```

option cplex_options 'timing=1';
option cplex_options 'nodefile=3';
option cplex_options 'vartselect=3';
option cplex_options 'workfilelim=4096';
option randseed 5593;

var summ {i in 1..subeno+1, k in 1..kapino};
param ENB {i in 1..3}, default -1;
param KAPI {i in 1..3}, default 0;
param countfixed, default 0;

#### MAIN PROBLEM DEFINITION;
problem main_prob: min_of_closing_times, ready_time, assignment_of_trucks,
assignment_of_first_truck, assignment_in_each_machine, i_j_equality,
completion_time1_succeed_job, completion_time2_succeed_job,
job_door_assignment1,
CL, C, R, W, X, X0;

#### GATE 1 PROBLEM DEFINITION;
problem gate_1_prob: min_of_closing_times_G1,
ready_time_G1, assignment_of_trucks_G1, assignment_of_first_truck_G1,
assignment_in_each_machine_G1, i_j_equality_G1,
completion_time1_first_job_G1, completion_time1_succeed_job_G1,
completion_time2_succeed_job_G1, CL, C, R, W, X, X0;

#### GATE 2 PROBLEM DEFINITION;
problem gate_2_prob: min_of_closing_times_G2, ready_time_G2,
assignment_of_trucks_G2, assignment_of_first_truck_G2,
assignment_in_each_machine_G2, i_j_equality_G2,
completion_time1_first_job_G2, completion_time1_succeed_job_G2,
completion_time2_succeed_job_G2, CL, C, R, W, X, X0;

#### GATE 3 PROBLEM DEFINITION;
problem gate_3_prob: min_of_closing_times_G3, ready_time_G3,
assignment_of_trucks_G3, assignment_of_first_truck_G3,
assignment_in_each_machine_G3, i_j_equality_G3,
completion_time1_first_job_G3, completion_time1_succeed_job_G3,
completion_time2_succeed_job_G3, CL, C, R, W, X, X0;

#### GATE 4 PROBLEM DEFINITION;
problem gate_4_prob: min_of_closing_times_G4, ready_time_G4,
assignment_of_trucks_G4, assignment_of_first_truck_G4,
assignment_in_each_machine_G4, i_j_equality_G4,
completion_time1_first_job_G4, completion_time1_succeed_job_G4,
completion_time2_succeed_job_G4, CL, C, R, W, X, X0;

#### GATE 5 PROBLEM DEFINITION;
problem gate_5_prob: min_of_closing_times_G5, ready_time_G5,
assignment_of_trucks_G5, assignment_of_first_truck_G5,
assignment_in_each_machine_G5, i_j_equality_G5,

```

```

completion_time1_first_job_G5, completion_time1_succeed_job_G5,
completion_time2_succeed_job_G5, CL, C, R, W, X, X0;

```

```

#### GATE 6 PROBLEM DEFINITION;

```

```

problem gate_6_prob: min_of_closing_times_G6, ready_time_G6,
assignment_of_trucks_G6, assignment_of_first_truck_G6,
assignment_in_each_machine_G6, i_j_equality_G6,
completion_time1_first_job_G6, completion_time1_succeed_job_G6,
completion_time2_succeed_job_G6, CL, C, R, W, X, X0;

```

```

#### GATE 7 PROBLEM DEFINITION;

```

```

problem gate_7_prob: min_of_closing_times_G7,
ready_time_G7, assignment_of_trucks_G7, assignment_of_first_truck_G7,
assignment_in_each_machine_G7, i_j_equality_G7,
completion_time1_first_job_G7, completion_time1_succeed_job_G7,
completion_time2_succeed_job_G7, CL, C, R, W, X, X0;

```

```

###SET MAIN PROBLEM;

```

```

for {iter in 1..1} {

```

```

#produce random problem;

```

```

let {i in 1..subeno} Pmin[i]:= min {k in 1..kapino} P[i,k];

```

```

problem main_prob;

```

```

#relax the binary constraints;

```

```

option relax_integrality 1;

```

```

###Industrial Branches cannot be assigned to inner city unloading
gates;

```

```

    for {i in 54..subeno, j in 1..subeno, k in 3..5} {fix X[i,j,k]; let

```

```

        X[i,j,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0; fix X0[i,k]; let

```

```

        X0[i,k]:=0;}

```

```

#solve the relaxed model for possible 3 best job_door assignment;

```

```

solve main_prob;

```

```

    let LP_UB:= min_of_closing_times;

```

```

    for {i in 1..subeno, k in 1..kapino} let K[i,k]:=0;

```

```

    for {i in 1..subeno} {

```

```

        let {l in 1..3} ENB[l]:=-1;

```

```

        let {l in 1..3} KAPI[l]:=0;

```

```

        for {k in 1..kapino} {

```

```

            let summ[i,k]:= sum {j in 1..subeno+1} (X[i,j,k] + X[j,i,k]) +

```

```

            X0[i,k];

```

```

            if (summ[i,k] > ENB[1] && summ[i,k] > 0) then {

```

```

                let ENB[3] := ENB[2];

```

```

                let KAPI[3] := KAPI[2];

```

```

                let ENB[2] := ENB[1];

```

```

                let KAPI[2] := KAPI[1];

```

```

                let ENB[1] := summ[i,k]; let

```

```

                KAPI[1] := k;

```

```

    }
    else if(summ[i,k] > ENB[2] && summ[i,k]>0) then
{
let ENB[3] := ENB[2];
let KAPI[3]:= KAPI[2];
                                let ENB[2] := summ[i,k]; let KAPI[2]:= k;
                                }
                                else if(summ[i,k] > ENB[3] && summ[i,k]>0) then {
                                    let ENB[3] := summ[i,k]; let KAPI[3]:= k;
                                }
                                }
    for{1 in 1..3} if (KAPI[1]!=0) then let K[i,KAPI[1]]:=1;
}
for{k in 1..kapino} let K[subeno+1, k] :=1;
solve main_prob;

#solve the relaxed model for possible 1 best job_door assignment;
for {i in 1..subeno, k in 1..kapino} let K[i,k]:=0;
for{i in 1..subeno} {
    let ENB[1]:=-1;
    let KAPI[1]:=0;
    for{k in 1..kapino} {
        let summ[i,k]:= sum{j in 1..subeno+1}( X[i,j,k] + X[j,i,k] )+
X0[i,k] ;
                                if(summ[i,k] > ENB[1] && summ[i,k]>0) then {
                                    let ENB[1] := summ[i,k]; let KAPI[1]:= k;
                                }
                                }
                                if (KAPI[1]!=0) then let K[i,KAPI[1]]:=1;
}
for{k in 1..kapino} let K[subeno+1, k] :=1;

###Industrial Branches cannot be assigned to inner city unloading gates;

for{i in 54..subeno,j in 1..subeno, k in 3..5} {
    fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    fix X0[i,k]; let X0[i,k]:=0;
}

#balancing the branches;
for {k in 1..kapino} let number_of_trucks [k]:= sum {i in 1..subeno}K[i,k];
let max_min_fark:= max {k in 1..kapino} number_of_trucks[k] - min {k in 1..kapino}
number_of_trucks[k];

let max_truck:=0; let max_gate:=0;
let min_truck:=100; let min_gate:=0;

repeat while max_min_fark >=unbalance {
    display max_gate;
    display min_gate;
}

```

```

for {k in 1..kapino} let number_of_trucks [k]:= sum {i in 1..subeno} K[i,k];
let max_min_fark:= max {k in 1..kapino} number_of_trucks[k] - min {k in 1..kapino}
number_of_trucks[k];
let max_truck:=0; let max_gate:=0;
let min_truck:=100; let min_gate:=0;

#find max gate;
for {k in 1..kapino} if(number_of_trucks[k]>max_truck) then {
  let max_truck:=number_of_trucks[k]; let max_gate:=k
}
#find min gate;
for {k in 1..kapino} if(number_of_trucks[k]<min_truck) then {
  let min_truck:=number_of_trucks[k]; let min_gate:=k}
let max_min_fark:= max_truck-min_truck;
if(max_min_fark >=unbalance) then {
  #find the branch with min summ in max gate;
  let min_sum:=1000; let min_sube:=0;
  for {i in 1..subeno} {
    if (summ[i,max_gate]<min_sum && K[i,max_gate]==1) then {
      let min_sum:=summ[i,max_gate];
      let min_sube:=i;}
  }
  #assining min sum brach from max gate to min gate;
  let K[min_sube,max_gate]:=0;
  let K[min_sube,min_gate]:=1;
}
} #for while loop;

# remove any industry branch from gates 3,4,5;

for{i in 54..subeno, kk in 3..5} if (K[i,kk]==1) then {
  let min_truck:=100; let min_gate:=0;
  #find min gate among industrial gates;
  for {k in 1..kapino : k<3 || k>5 }

if(number_of_trucks[k] <min_truck) then {let min_truck:=number_of_trucks [k]; let
min_gate:=k}

  let K[i,kk]:=0;
  let K[i,min_gate]:=1;
  for {k in 1..kapino} let number_of_trucks [k]:= sum {ii
in 1..subeno} K[ii,k];
}

#rebalancing the branches;

for {k in 1..kapino} let number_of_trucks [k]:= sum {i in 1..subeno}K[i,k];
let max_min_fark:= max {k in 1..kapino} number_of_trucks[k] - min {k in
1..kapino} number_of_trucks[k];

```

```

let max_truck:=0; let max_gate:=0;
let min_truck:=100; let min_gate:=0;
let max_summ:=0;      let max_door:=0;
repeat while max_min_fark >=unbalance {
for {k in 1..kapino} let number_of_trucks [k]:= sum {i in 1..subeno} K[i,k];
let max_min_fark:= max {k in 1..kapino} number_of_trucks[k] -
min {k in 1..kapino} number_of_trucks[k];
let max_truck:=0; let max_gate:=0;
let min_truck:=100; let min_gate:=0;
let max_summ:=0;      let max_door:=0;
  #find max gate;
  for {k in 1..kapino} if(number_of_trucks[k]>max_truck) then {
    let max_truck:=number_of_trucks[k]; let max_gate:=k
  }

  #find min gate;
  for {k in 1..kapino} if(number_of_trucks[k]<min_truck) then {
    let min_truck:=number_of_trucks[k]; let min_gate:=k
  }
  let max_min_fark:= max_truck-min_truck;
  if(max_min_fark >= unbalance) then {
    let min_summ:= 10;

    #find the city branches assigned to industrial gates with max summ
value in gates 3,4 and 5;
    for{i in 1..53, k in 1..kapino: k<3||k>5} {
      if (K[i,k]==1 && summ[i,k]<min_summ) then {
        let city_branch:=i; let industrial_door:=k;
      }
    }
    if
(number_of_trucks[3]<=number_of_trucks[4]&&number_of_trucks[3]
<=number_of_trucks[5]) then {
      let K[city_branch,industrial_door]:=0;
      let K[city_branch,3]:=1;
    }
    else if
(number_of_trucks[4]<=number_of_trucks[3]&&number_of_trucks[4]
<=number_of_trucks[5]) then {
      let K[city_branch,industrial_door]:=0;
      let K[city_branch,4]:=1;
    }
    else if(number_of_trucks[5]<=number_of_trucks[3]&&
number_of_trucks[5] <=number_of_trucks[4]) then {
      let K[city_branch,industrial_door]:=0;
      let K[city_branch,5]:=1;
    }
  }
display max_min_fark;
}

```

```

for{ i in 1..subeno, k in 1..kapino } if (K[i,k]==0) then {
    for {j in 1..subeno+1} {fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k]; let
X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
                                let countfixed:=countfixed+1;
    }
}
for{ i in 54..subeno, j in 1..subeno, k in 3..5 } {fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X[j,i,k]; let
X[j,i,k]:=0; fix X0[i,k]; let X0[i,k]:=0;}
option relax_integrality 0;

### SOLVING DOOR 1 PROBLEM;
problem gate_1_prob;
option relax_integrality 0;
for{ i in 1..subeno } if (K[i,1]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=1} {
        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    }
}
solve gate_1_prob;

### SOLVING DOOR 2 PROBLEM;
for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
    unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
}
problem gate_2_prob;
option relax_integrality 0;
for{ i in 1..subeno } if (K[i,2]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=2} {
        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    }
}
solve gate_2_prob;

### SOLVING DOOR 3 PROBLEM;
for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
    unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
}
problem gate_3_prob;
option relax_integrality 0;
for{ i in 1..subeno } if (K[i,3]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=3} {
        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    }
}
solve gate_3_prob;

### SOLVING DOOR 4 PROBLEM;

```



```

for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
    unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
}
problem gate_4_prob;
option relax_integrality 0;
for { i in 1..subeno} if (K[i,4]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=4} {
        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    }
}
solve gate_4_prob;

### SOLVING DOOR 5 PROBLEM;
for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
    unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
}
problem gate_5_prob;
option relax_integrality 0;
for { i in 1..subeno} if (K[i,5]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=5} {
        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    }
}
solve gate_5_prob;

### SOLVING DOOR 6 PROBLEM;
for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
    unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
}
problem gate_6_prob;
option relax_integrality 0;
for { i in 1..subeno} if (K[i,6]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=6} {
        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
    }
}
solve gate_6_prob;

### SOLVING DOOR 7 PROBLEM;
for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
    unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
}
problem gate_7_prob;
option relax_integrality 0;
for { i in 1..subeno} if (K[i,7]!=0) then {
    for {j in 1..subeno+1, k in 1..kapino:k!=7} {

```

```

        fix X[i,j,k]; let X[i,j,k]:=0; fix X0[i,k];
        let X0[i,k]:=0; fix X[j,i,k]; let X[j,i,k]:=0;
        }
    }
solve gate_7_prob;
display min_of_closing_times_G1 + min_of_closing_times_G2 +
min_of_closing_times_G3 + min_of_closing_times_G4 + min_of_closing_times_G5 +
min_of_closing_times_G6 + min_of_closing_times_G7 ;

printf "\n LP rleaxation = %f heuristic = %f Gap = %f unbalance =%f", LP_UB,
(min_of_closing_times_G1 + min_of_closing_times_G2 + min_of_closing_times_G3 +
min_of_closing_times_G4 + min_of_closing_times_G5 + min_of_closing_times_G6 +
min_of_closing_times_G7 ), (LP_UB -(min_of_closing_times_G1
+min_of_closing_times_G2 + min_of_closing_times_G3 + min_of_closing_times_G4 +
min_of_closing_times_G5 +
min_of_closing_times_G6 + min_of_closing_times_G7))/min_of_closing_times,
unbalance >> arasresults_full.out;
    display CL >> arasresults_full.out;
    display K >> arasresults_full.out;
    display C >> arasresults_full.out;
    for {i in 1..subeno+1, j in 1..subeno+1, k in 1..kapino} {
        unfix X[i,j,k]; unfix X0[i,k]; unfix X[j,i,k];
    }
}
close arasresults_full.out;
close kout.txt;

```

Ek B: Matematiksel Modelleme İle Elde Edilen, Farklı Güvenlik Düzeylerinde Araçların Atandıkları Boşaltma Kapıları Ve Bu Kapılardaki Sıraları

Çizelge B.1: 90% Güvenlik Düzeyi için araçların numaraları ile atandıkları kapılar ve bu kapılardaki sıraları

Araç Sırası	Kapılar						
	1	2	3	4	5	6	7
1	66	64	48	45	28	9	10
2	74	69	40	13	31	16	8
3	72	14	19	29	51	11	27
4	60	55	24	6	53	54	73
5	33	76	26	37	36	17	7
6	70	3	44	47	46	71	12
7	65	30	38	22	52	78	67
8	80	79	5	42	49	62	58
9	4	57	15	41	39	23	75
10	56	20	32	34	21	68	1
11		2	50	43	18	77	63
12		61	35	25		59	
Araç Sayısı	10	12	12	12	11	12	11
Toplam Araç Sayısı	80						

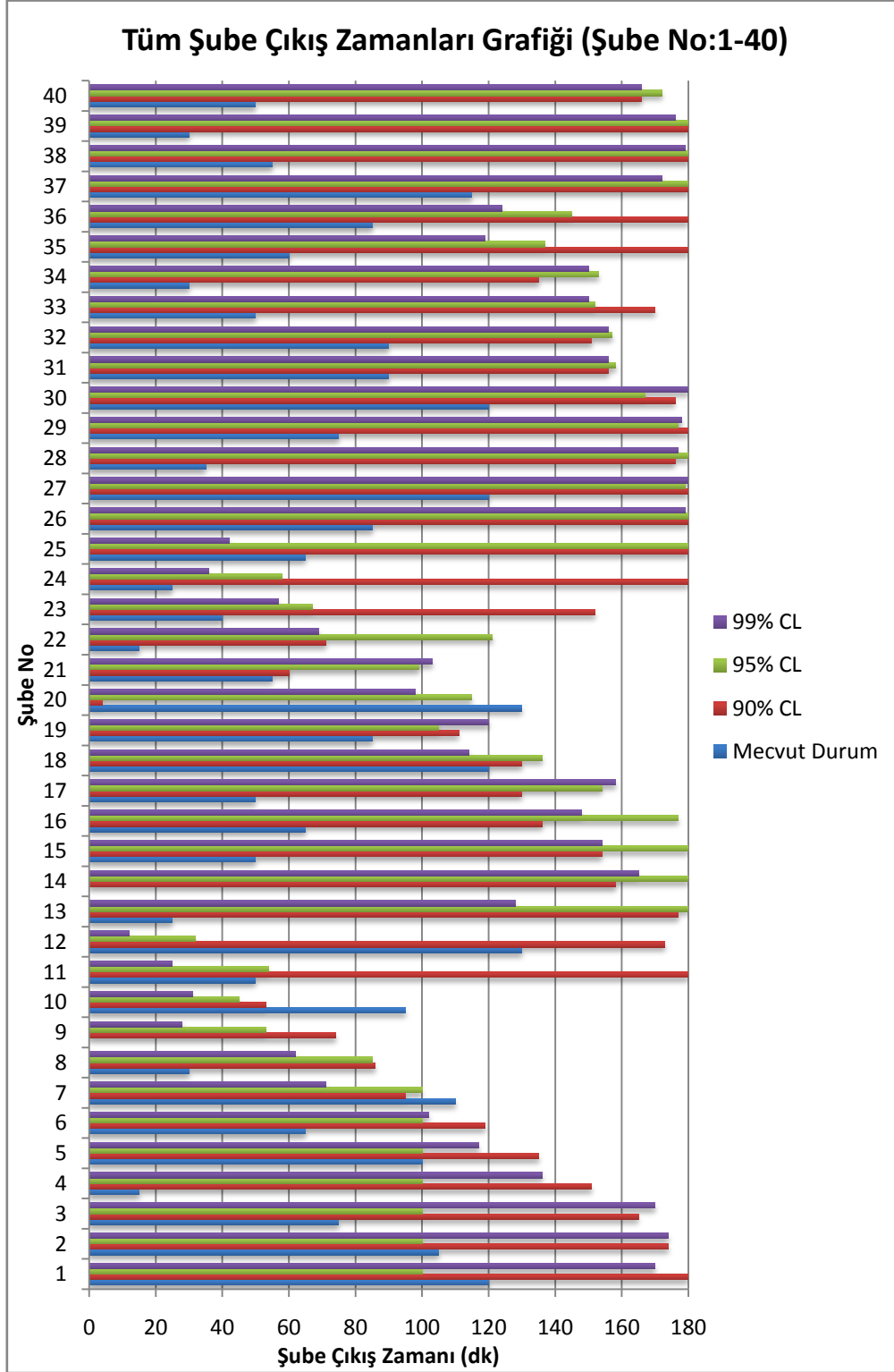
Çizelge B.2: 95% Güvenlik Düzeyi için araçların numaraları ile atandıkları kapılar ve bu kapılardaki sıraları

Araç Sırası	Kapılar						
	1	2	3	4	5	6	7
1	48	72	28	9	14	64	6
2	45	60	31	13	47	66	54
3	29	40	19	16	8	74	33
4	22	7	12	30	27	10	17
5	76	68	53	51	24	37	73
6	63	58	41	1	44	55	3
7	80	70	20	46	26	71	23
8	49	77	52	50	4	69	59
9	36	75	32	5	2	78	61
10	62	43	11	39	18	79	34
11	57	15	25	35		67	42
12	65	21				56	38
Araç Sayısı	12	12	11	11	10	12	12
Toplam Araç Sayısı	80						

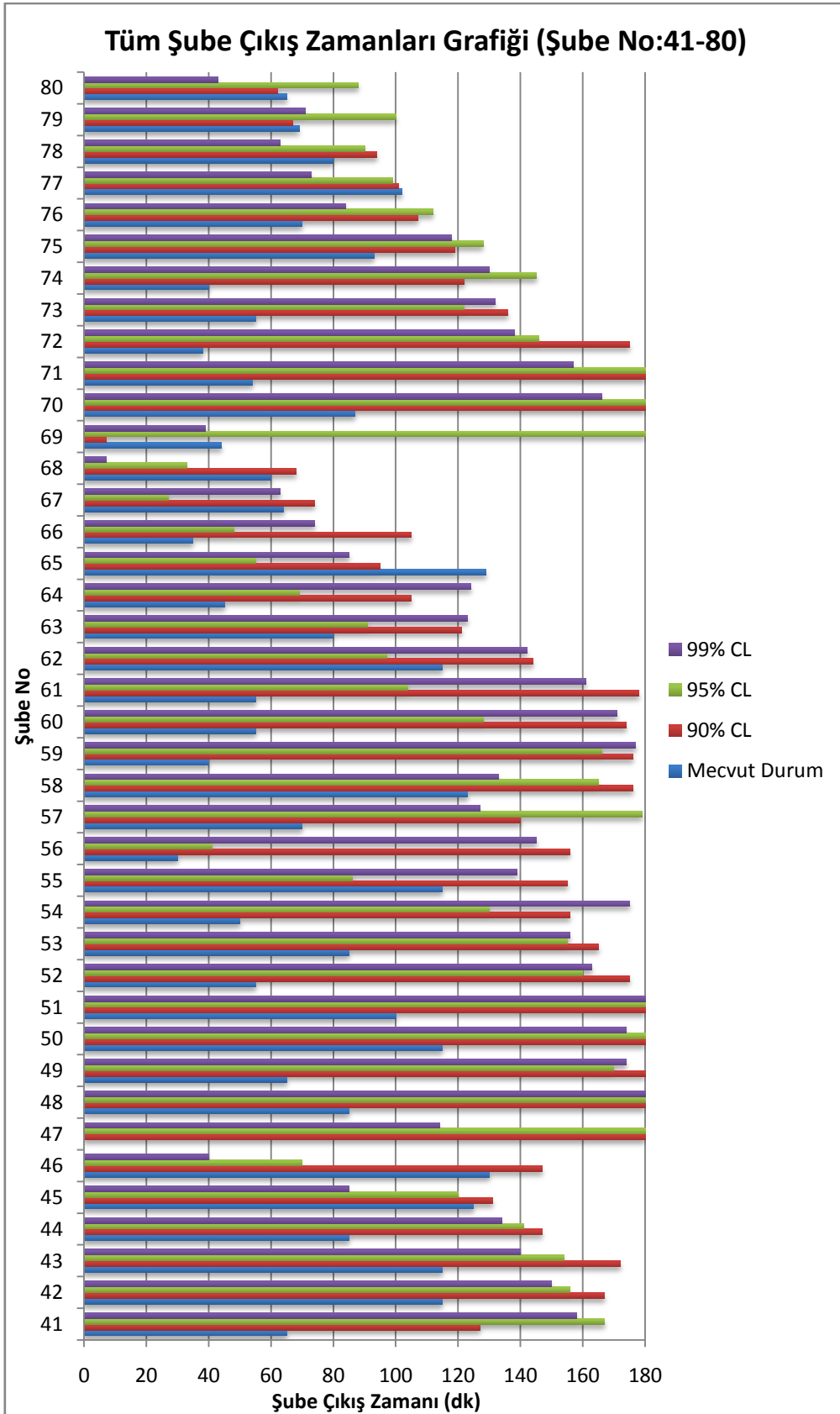
Çizelge B.3: 99% Güvenlik Düzeyi için araçların numaraları ile atandıkları kapılar ve bu kapılardaki sıraları

Araç Sırası	Kapılar						
	1	2	3	4	5	6	7
1	17	64	48	28	45	78	29
2	73	66	13	14	10	9	6
3	7	74	3	47	31	8	16
4	59	72	51	12	33	22	71
5	62	54	24	41	40	67	69
6	58	19	53	46	37	79	27
7	77	55	26	42	30	63	68
8	65	60	34	36	23	80	70
9	57	76	20	52	1	38	61
10	44	11	43	50	49	5	56
11	75	4	15	39	32	25	21
12	2	18					
13		35					
Araç Sayısı	12	13	11	11	11	11	11
Toplam Araç Sayısı	80						

Ek C: Mevcut Duruma Ve Matematiksel Modelleme İle Belirlenen Farklı Güvenlik Düzeylerindeki Senaryolara Ait Araç Çıkış Zamanları



Şekil C.1: Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının grafiksel karşılaştırması (Şube No:1-40)



Şekil C.2: Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının grafiksel karşılaştırması (Şube No:41-80)

Çizelge C.1: Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının değerleri. Saat 19:00 dakika olarak “0”, saat 22:00 dakika olarak “180” olarak ifade edilmektedir (Şube No: 1-40)

Şube No	Araç Çıkış Zamanları (dk)				Şube Ağırlıkları
	Mevcut Durum	90% Güvenlik Düzeyi	95% Güvenlik Düzeyi	99% Güvenlik Düzeyi	
1	120	180	100	170	2,5
2	105	174	100	174	2,5
3	75	165	100	170	1
4	15	151	100	136	2,5
5	100	135	100	117	2,5
6	65	119	100	102	0,5
7	110	95	100	71	1
8	30	86	85	62	1,5
9	0	74	53	28	0,5
10	95	53	45	31	0,5
11	50	180	54	25	2,5
12	130	173	32	12	1,5
13	25	177	180	128	1
14	0	158	180	165	0,5
15	50	154	180	154	2
16	65	136	177	148	0,5
17	50	130	154	158	1
18	120	130	136	114	2
19	85	111	105	120	1
20	130	4	115	98	2
21	55	60	99	103	2
22	15	71	121	69	1
23	40	152	67	57	1,5
24	25	180	58	36	1,5
25	65	180	180	42	2,5
26	85	180	180	179	2
27	120	180	179	180	1,5
28	35	176	180	177	0,5
29	75	180	177	178	0,5
30	120	176	167	180	1,5
31	90	156	158	156	0,5
32	90	151	157	156	2
33	50	170	152	150	1
34	30	135	153	150	2,5
35	60	180	137	119	2
36	85	180	145	124	2,5
37	115	180	180	172	1
38	55	180	180	179	2
39	30	180	180	176	2,5
40	50	166	172	166	1

Çizelge C.2: Matematiksel modelde farklı güvenlik düzeyleri için şube çıkış zamanlarının değerleri. Saat 19:00 dakika olarak “0”, saat 22:00 dakika olarak “180” olarak ifade edilmektedir (Şube No: 41-80)

Şube No	Araç Çıkış Zamanları (dk)				Şube Ağırlıkları
	Mevcut Durum	90% Güvenlik Düzeyi	95% Güvenlik Düzeyi	99% Güvenlik Düzeyi	
41	65	127	167	158	2,5
42	115	167	156	150	2
43	115	172	154	140	2
44	85	147	141	134	2
45	125	131	120	85	0,5
46	130	147	70	40	2
47	0	180	180	114	1
48	85	180	180	180	0,5
49	65	180	170	174	2
50	115	180	180	174	2,5
51	100	180	180	180	1,5
52	55	175	160	163	2
53	85	165	155	156	1,5
54	50	156	130	175	1
55	115	155	86	139	1,5
56	30	156	41	145	2,5
57	70	140	179	127	2,5
58	123	176	165	133	2
59	40	176	166	177	2
60	55	174	128	171	1,5
61	55	178	104	161	2,5
62	115	144	97	142	2
63	80	121	91	123	2,5
64	45	105	69	124	0,5
65	129	95	55	85	2,5
66	35	105	48	74	0,5
67	64	74	27	63	2
68	60	68	33	7	1,5
69	44	7	180	39	1,5
70	87	180	180	166	2
71	54	180	180	157	1,5
72	38	175	146	138	1
73	55	136	122	132	1,5
74	40	122	145	130	0,5
75	93	119	128	118	2
76	70	107	112	84	1,5
77	102	101	99	73	2
78	80	94	90	63	1,5
79	69	67	100	71	2
80	65	62	88	43	2

Ek D: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Şubelere Ait Kargo Hacmi Verilerinin Oturtulduğu Dağılımlar

Çizelge D.1: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan kargo hacmi verilerinin oturtulduğu dağılımlar

Şube No	Dağılım	Şube No	Dağılım
1	1.45e+003 + WEIB(1.55e+003, 1.38)	41	188 + 7.3e+003 * BETA(0.71, 4.99)
2	358 + 1.07e+004 * BETA(1.02, 2.21)	42	1.8e+003 + 3e+003 * BETA(1.13, 1.6)
3	NORM(2.5e+003, 1.27e+003)	43	16 + WEIB(249, 0.81)
4	68 + WEIB(461, 1.25)	44	NORM(7.6e+003, 2.44e+003)
5	TRIA(562, 1.43e+003, 4.61e+003)	45	TRIA(2.1e+003, 5.62e+003, 1.34e+004)
6	-0.001 + EXPO(70)	46	NORM(2.01e+003, 687)
7	TRIA(988, 1.94e+003, 5.41e+003)	47	41 + WEIB(2.74e+003, 0.742)
8	NORM(997, 533)	48	1.33e+003+1.36e+004*BETA(1.82, 4.11)
9	-0.001 + WEIB(286, 0.76)	49	268 + WEIB(801, 1.18)
10	238 + EXPO(1.24e+003)	50	NORM(3.91e+003, 1.31e+003)
11	292 + EXPO(1.1e+003)	51	1.79e+003+8.27e+003*BETA(1.23, 2.23)
12	NORM(3.92e+003, 1.12e+003)	52	74 + WEIB(547, 1.24)
13	52 + WEIB(739, 1.29)	53	TRIA(1.16e+003, 2.45e+003, 4.75e+003)
14	113 + WEIB(489, 1.08)	54	427 + WEIB(2.16e+003, 1.18)
15	111 + WEIB(1.31e+003, 1.05)	55	TRIA(573, 2.34e+003, 6.14e+003)
16	785 + 3.38e+003 * BETA(1.77, 2.3)	56	49 + WEIB(493, 1.08)
17	297 + 4.03e+003 * BETA(1.64, 3.73)	57	1.02e+003 + WEIB(2.75e+003, 1.08)
18	NORM(1.34e+003, 462)	58	NORM(4.95e+003, 2.52e+003)
19	85 + WEIB(3.53e+003, 0.625)	59	179 + 2.41e+003 * BETA(0.906, 3.85)
20	51 + WEIB(1.19e+003, 1.32)	60	251 + 2.22e+003 * BETA(1.3, 2.63)
21	407 + WEIB(2.64e+003, 1.26)	61	-0.001 + WEIB(130, 0.767)
22	115 + 2.6e+003 * BETA(1.59, 3.4)	62	TRIA(578, 3.42e+003, 8.96e+003)
23	52 + WEIB(422, 1.1)	63	456 + 3.46e+003 * BETA(1.39, 4.6)
24	NORM(1.51e+003, 851)	64	205 + 3.06e+003 * BETA(1.49, 1.74)
25	TRIA(344, 1.7e+003, 3.22e+003)	65	TRIA(1.56e+003, 3.14e+003, 8.92e+003)
26	NORM(4.35e+003, 1.45e+003)	66	205 + 3.06e+003 * BETA(1.49, 1.74)
27	NORM(5.92e+003, 4.25e+003)	67	486 + 4.11e+003 * BETA(1.17, 3.67)
28	6 + WEIB(464, 0.86)	68	768 + WEIB(5.54e+003, 0.791)
29	NORM(765, 544)	69	NORM(3.09e+003, 1.23e+003)
30	4.66e+003+7.55e+003*BETA(1.39, 1.91)	70	1.92e+003+5.57e+003*BETA(1.21, 1.37)
31	TRIA(974, 8.66e+003, 1.08e+004)	71	NORM(3.05e+003, 1.19e+003)
32	TRIA(2.33e+003, 6.96e+003, 1.27e+004)	72	17 + WEIB(1.33e+003, 1.41)
33	TRIA(58, 422, 1.29e+003)	73	288 + WEIB(1.51e+003, 0.923)
34	NORM(1.51e+003, 674)	74	832 + WEIB(1.34e+003, 1.14)
35	495 + WEIB(1.11e+003, 1.23)	75	177 + 1.36e+004 * BETA(1.49, 2.25)
36	TRIA(79, 1.48e+003, 4.01e+003)	76	157 + WEIB(1.32e+003, 1.19)
37	NORM(6.14e+003, 1.82e+003)	77	NORM(3.99e+003, 1.42e+003)
38	NORM(2.03e+003, 1e+003)	78	781 + 3.85e+003 * BETA(0.998, 1.76)
39	177 + 9.52e+003 * BETA(0.44, 1.78)	79	NORM(3.44e+003, 1.45e+003)
40	NORM(3.68e+003, 1.69e+003)	80	NORM(3.05e+003, 1.58e+003)

Ek E: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Araç Transfer Sürelerine Ait Üçgensel Dağılım Parametre Değerleri

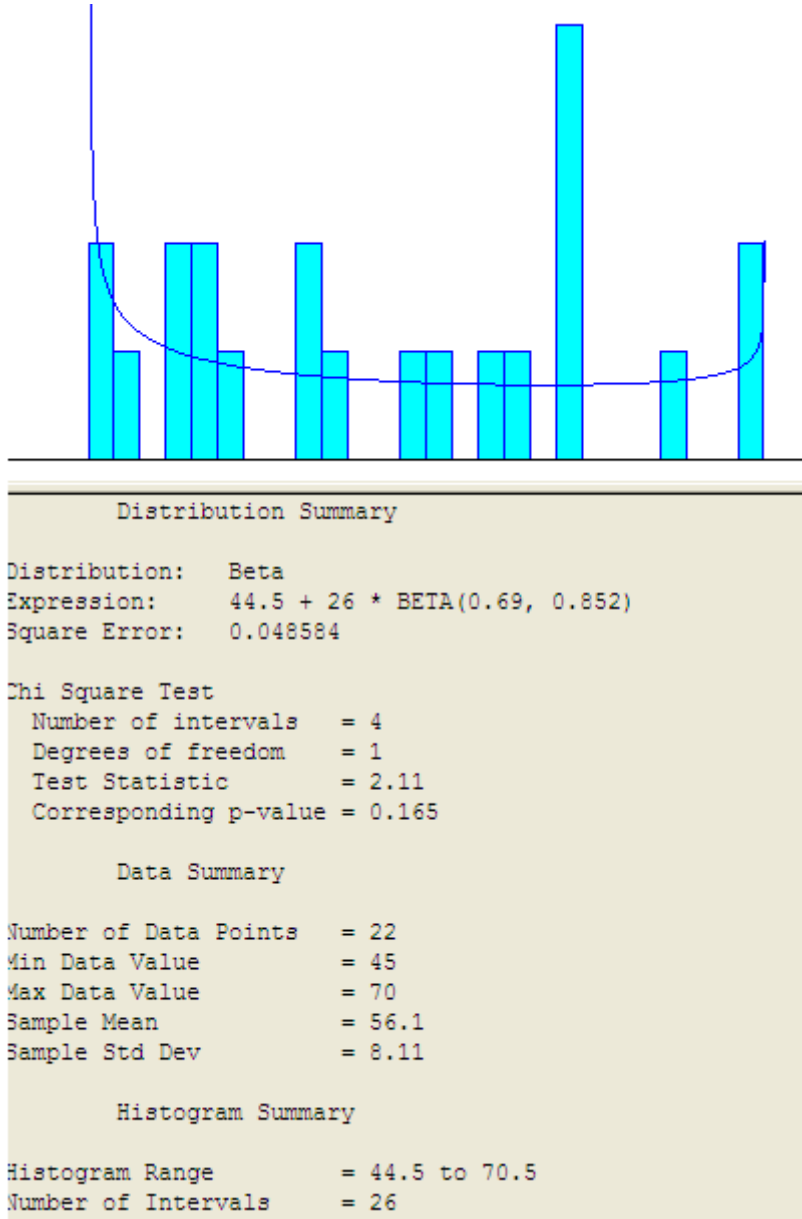
Çizelge E.1: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan araç transfer zamanı verilerinin oturtulduğu üçgensel dağılıma ait parametre değerleri (dakika)

Şube No	Min.	Yük.İhtimal	Maks.	Şube No	Min.	Yük.İhtimal	Maks.
1	20	30	40	41	30	35	40
2	35	45	50	42	30	35	40
3	25	30	35	43	30	35	40
4	40	45	50	44	15	20	25
5	30	35	45	45	20	25	30
6	20	25	30	46	30	35	40
7	35	40	50	47	70	80	90
8	25	45	60	48	30	35	40
9	75	90	105	49	30	40	45
10	20	40	60	50	25	35	45
11	30	40	60	51	30	35	45
12	30	35	45	52	15	20	25
13	40	50	60	53	30	35	40
14	105	120	135	54	30	40	45
15	30	40	45	55	15	20	25
16	30	40	50	56	35	45	50
17	30	40	50	57	30	35	45
18	30	45	55	58	40	45	60
19	25	35	40	59	40	50	60
20	30	35	45	60	35	45	60
21	45	50	60	61	35	45	50
22	40	45	55	62	25	35	45
23	15	20	25	63	35	40	50
24	30	35	40	64	10	15	20
25	25	40	60	65	30	35	45
26	15	20	30	66	35	40	45
27	25	30	35	67	30	40	55
28	35	40	50	68	25	30	35
29	40	45	55	69	40	45	55
30	20	30	35	70	23	33	38
31	20	30	35	71	27	37	47
32	30	40	45	72	30	35	45
33	35	40	45	73	30	35	40
34	25	30	40	74	30	35	40
35	75	90	105	75	22	27	32
36	30	35	40	76	15	20	25
37	30	35	40	77	28	33	38
38	30	35	40	78	30	40	45
39	40	45	50	79	15	20	30
40	5	10	15	80	30	40	50

**EK F: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Kapılardaki İki Araç
Arasında Geçen Süreye Ait Veri**

Çizelge F.1: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan, bir aracın boşaltma işlemi bittikten sonra yerine yeni bir araç gelinceye kadar geçen süre verisi

Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri
1	46	12	63
2	70	13	48
3	49	14	50
4	60	15	63
5	54	16	49
6	53	17	48
7	53	18	67
8	70	19	58
9	63	20	63
10	57	21	45
11	45	22	61



Şekil F.1: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan, bir aracın boşaltma işlemi bittikten sonra yerine yeni bir araç gelinceye kadar geçen süre verisine ait dağılım

Şekil F.1'deki dağılıma ait özet veriden, p değerinin test istatistik değerinden küçük olduğu anlaşılmaktadır. Bu da belirlenen dağılımın, veriyi ifade edebilmekte başarılı olduğunu göstermektedir.

**Ek G: Simülasyon Modelinde Girdi Olarak Kullanılan Regresyon Analizi Verileri
Ve Hat Uyum Grafikleri**

Çizelge G.1: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi bölgesi şubelerine ait kargo hacmi verisi (desimetreküp)

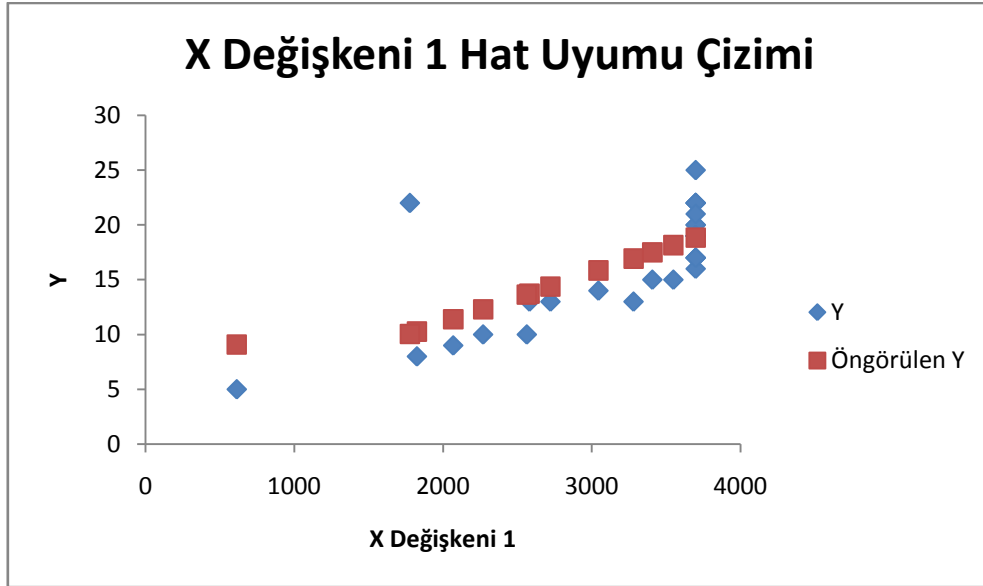
Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri
1	3700	11	3700	21	2582
2	3700	12	3700	22	2564
3	3700	13	3700	23	2270
4	3700	14	3700	24	2069
5	3700	15	3700	25	1825
6	3700	16	3550	26	1777
7	3700	17	3408	27	1566
8	3700	18	3282	28	613
9	3700	19	3046		
10	3700	20	2723		

Çizelge G.2: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan şehir içi şubelerine ait kargo hacmi verisi (desimetreküp)

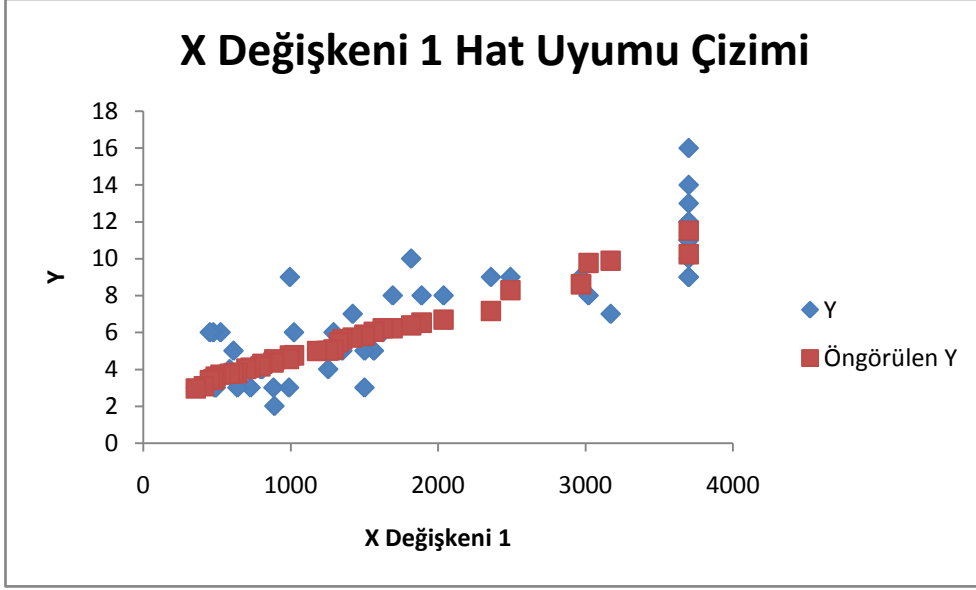
Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri
1	3700	17	1888	33	890
2	3700	18	1818	34	884
3	3700	19	1693	35	808
4	3700	20	1626	36	796
5	3700	21	1565	37	728
6	3700	22	1502	38	699
7	3700	23	1501	39	639
8	3700	24	1421	40	613
9	3700	25	1351	41	587
10	3700	26	1328	42	525
11	3171	27	1292	43	492
12	3021	28	1255	44	485
13	2970	29	1180	45	476
14	2491	30	1023	46	452
15	2359	31	995	47	411
16	2038	32	989	48	357

Çizelge G.3: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi kapılarına yanaşan şehir içi şubesi araçlarına ait kargo hacmi verisi (desimetreküp)

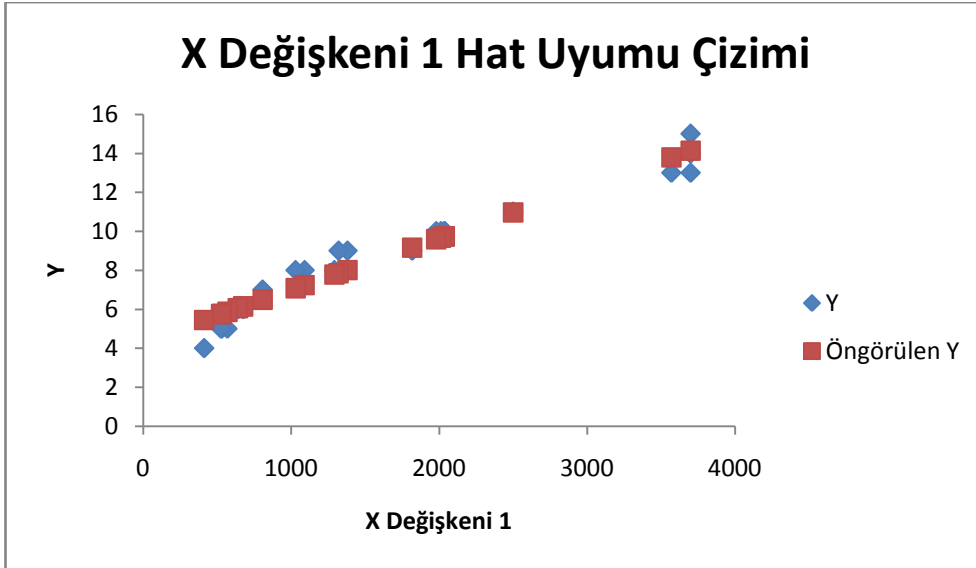
Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri	Gözlem No	Gözlem Değeri
1	3700	9	2035	17	1029
2	3700	10	2012	18	806
3	3700	11	1980	19	675
4	3700	12	1818	20	639
5	3700	13	1380	21	568
6	3570	14	1320	22	530
7	2500	15	1292	23	525
8	2038	16	1090	24	411



Şekil G.1: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi bölgesi şubelerine ait uyumluluk grafiği



Şekil G.2: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan şehir içi şubelerine ait uyumluluk grafiği



Şekil G.3: Simülasyon modelinde girdi olarak kullanılan boşaltma zamanı verisinin regresyon modeliyle belirlenmesinde kullanılan sanayi kapılarına yanaşan şehir içi şubesi araçlarına ait uyumluluk grafiği

Ek H: Simülasyon Modelin Geçerliliğinin Test Edilmesi İçin Sistemden Elde Edilen Boşaltma Alanında Bulunan Araç Sayılarının Sistemde Bulunduğu Süre Verisi

Çizelge H.1: Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan ve transfer merkezi boşaltma alanından elde edilen araç sayılarının sistemde bulunduğu süre verisi, Gözlem 1

Araç Sayısı	Süre (dk)	Araç Sayısı	Süre (dk)	Araç Sayısı	Süre (dk)
7	2	12	3	7	2
8	3	11	3	8	2
10	3	10	3	9	2
12	3	9	2	8	2
14	4	10	3	7	2
13	3	7	3	8	2
12	4	6	2	7	3
13	4	7	2	6	1
14	4	6	3	7	3
16	7	5	2	8	2
14	4	6	2		

Çizelge H.2: Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan ve transfer merkezi boşaltma alanından elde edilen araç sayılarının sistemde bulunduğu süre verisi, Gözlem 2

Araç Sayısı	Süre (dk)	Araç Sayısı	Süre (dk)	Araç Sayısı	Süre (dk)
8	2	15	2	7	2
7	4	14	2	8	1
8	3	13	2	7	1
9	4	12	2	6	3
8	2	10	1	5	2
9	3	8	2	6	2
10	2	11	1	7	1
11	2	10	2	5	2
12	3	9	4	4	2
11	4	10	2	5	2
13	4	11	3	4	2
15	4	10	4		
14	3	8	3		

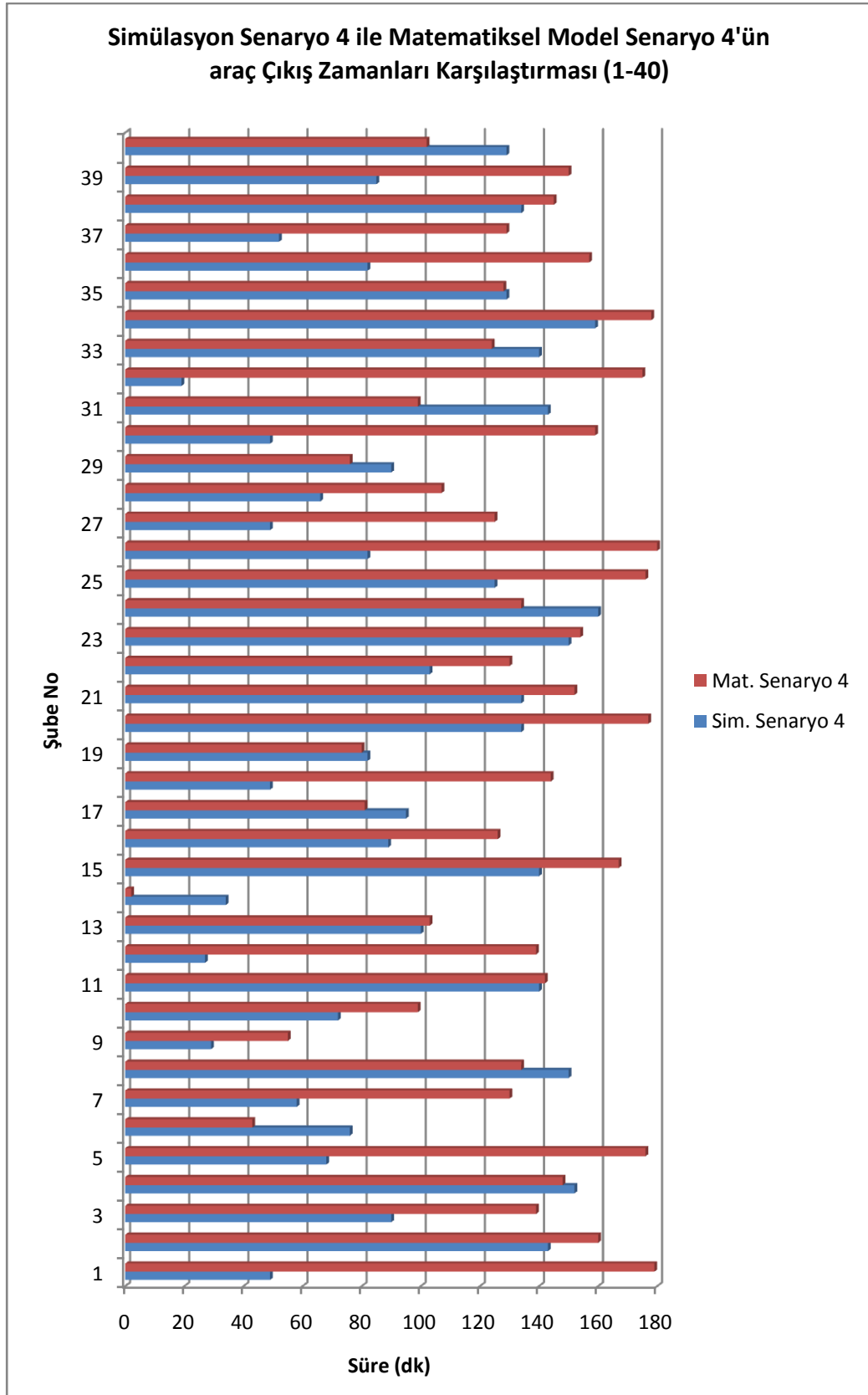
Çizelge H.3: Simülasyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan ve transfer merkezi boşaltma alanından elde edilen araç sayılarının sistemde bulunduğu süre verisi, Gözlem 3

Araç Sayısı	Süre (dk)	Araç Sayısı	Süre (dk)	Araç Sayısı	Süre (dk)
11	2	12	3	6	4
10	2	11	4	7	3
9	4	13	3	8	2
10	3	12	3	9	2
8	3	10	2	8	3
9	4	9	3	7	2
10	3	8	2	6	3
11	3	9	2	5	4
13	2	7	2	6	3
14	3	6	3		
13	3	5	5		

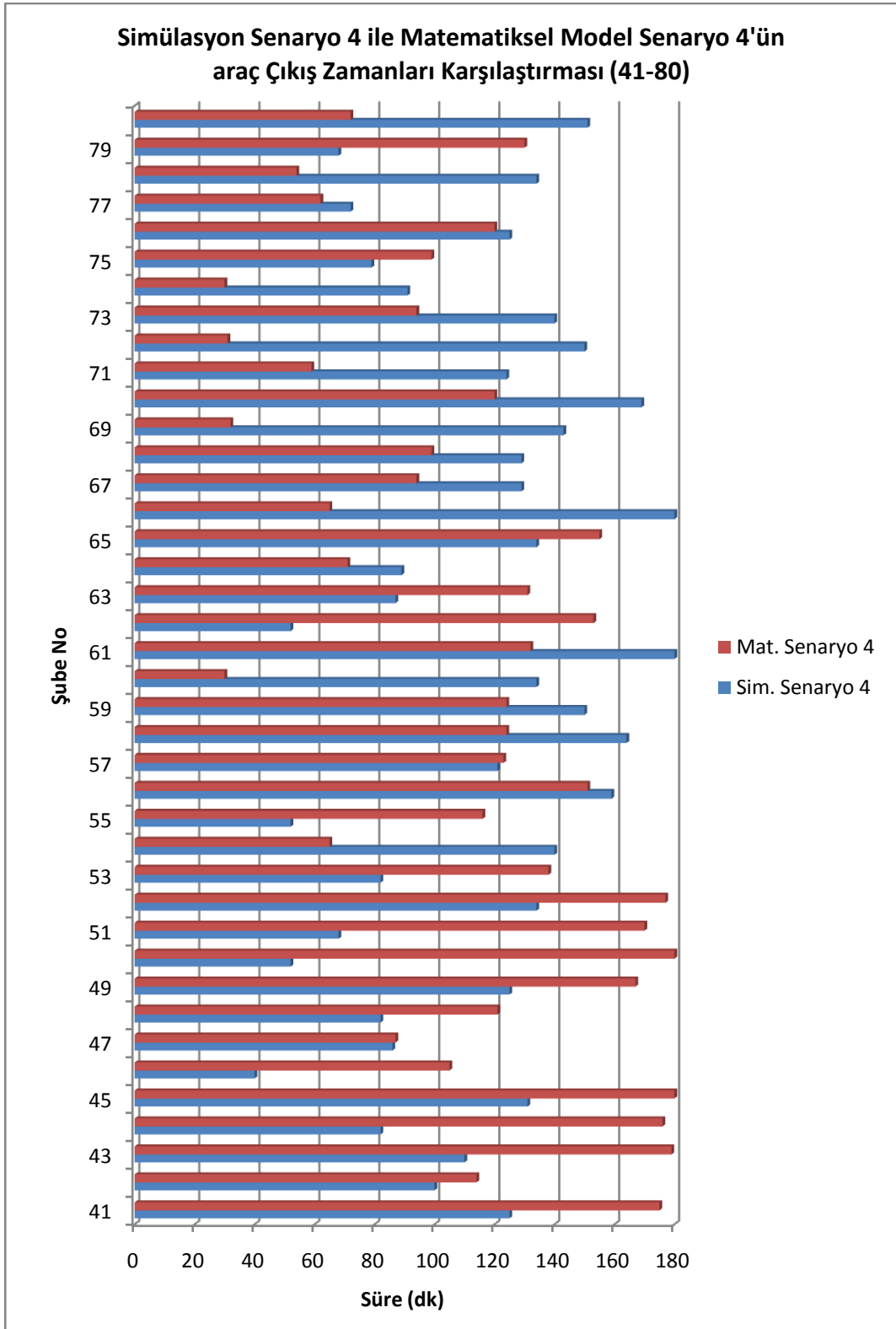
Ek I: Matematiksel Model Senaryo 4 İle Simülasyon Model Senaryo 4'ün Sonuçları

Çizelge I.1: Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanları

Şube No	Mat.Sen. 4	Sim.Sen. 4	Ağırlık	Şube No	Mat.Sen. 4	Sim.Sen. 4	Ağırlık
1	179	49	2,5	41	175	125	2,5
2	160	143	2,5	42	114	100	2
3	139	90	1	43	179	110	2
4	148	152	2,5	44	176	82	2
5	176	68	2,5	45	180	131	0,5
6	43	76	0,5	46	105	40	2
7	130	58	1	47	87	86	1
8	134	150	1,5	48	121	82	0,5
9	55	29	0,5	49	167	125	2
10	99	72	0,5	50	180	52	2,5
11	142	140	2,5	51	170	68	1,5
12	139	27	1,5	52	177	134	2
13	103	100	1	53	138	82	1,5
14	2	34	0,5	54	65	140	1
15	167	140	2	55	116	52	1,5
16	126	89	0,5	56	151	159	2,5
17	81	95	1	57	123	121	2,5
18	144	49	2	58	124	164	2
19	80	82	1	59	124	150	2
20	177	134	2	60	30	134	1,5
21	152	134	2	61	132	180	2,5
22	130	103	1	62	153	52	2
23	154	150	1,5	63	131	87	2,5
24	134	160	1,5	64	71	89	0,5
25	176	125	2,5	65	155	134	2,5
26	180	82	2	66	65	180	0,5
27	125	49	1,5	67	94	129	2
28	107	66	0,5	68	99	129	1,5
29	76	90	0,5	69	32	143	1,5
30	159	49	1,5	70	120	169	2
31	99	143	0,5	71	59	124	1,5
32	175	19	2	72	31	150	1
33	124	140	1	73	94	140	1,5
34	178	159	2,5	74	30	91	0,5
35	128	129	2	75	99	79	2
36	157	82	2,5	76	120	125	1,5
37	129	52	1	77	62	72	2
38	145	134	2	78	54	134	1,5
39	150	85	2,5	79	130	68	2
40	102	129	1	80	72	151	2

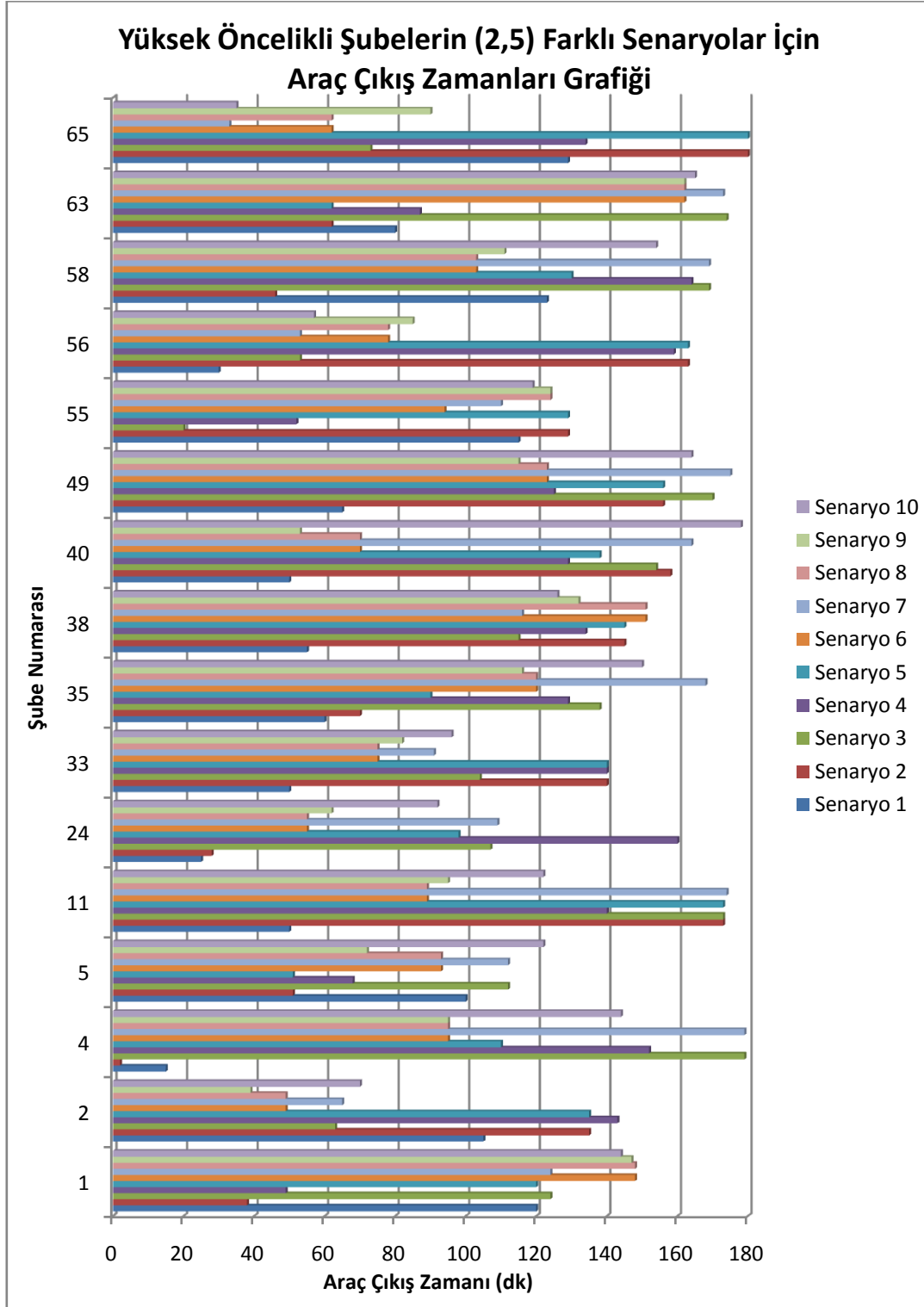


Şekil I.1: Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi (Şube No:1-40)

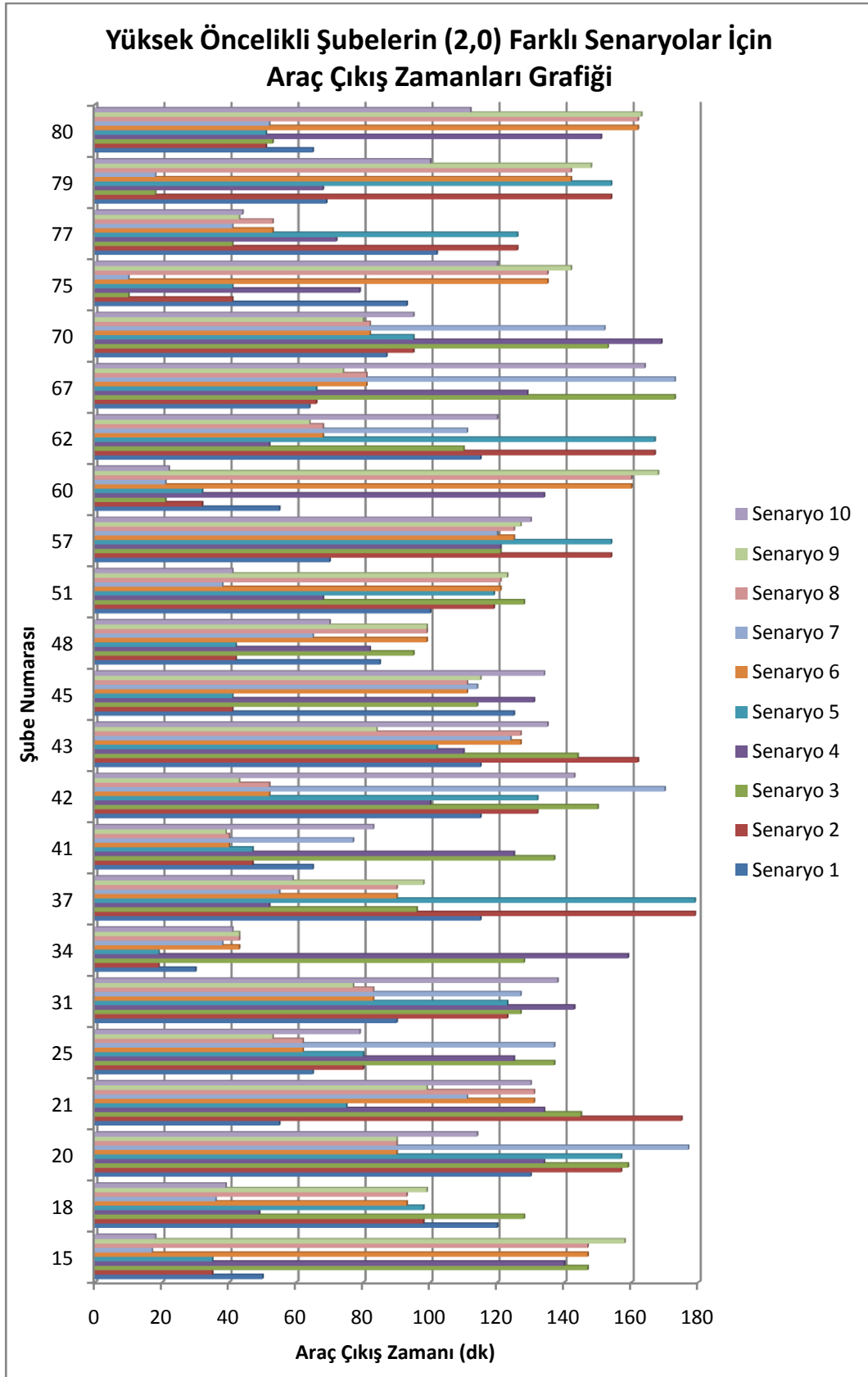


Şekil I.2: Matematiksel model Senaryo 4 ile simülasyon modeli Senaryo 4'e ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi (Şube No:41-80)

Ek J: Simülasyon Modellemesinde Farklı Senaryolar İçin Elde Edilen Araç Çıkış Zamanları Verisi



Şekil J.1: Yüksek öncelikli şubelerin (ağırlık değeri:2,5) simülasyon senaryolarına ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi



Şekil J.2: Yüksek öncelikli şubelerin (ağırlık değeri:2,0) simülasyon senaryolarına ait araç çıkış zamanlarının grafiksel gösterimi

Çizelge J.1: Simülasyon modeli ile incelenen farklı senaryolara ait araç çıkış zamanları (Şube No:1-40, Senaryo:"S")

Araç No	Farklı Senaryolar için Araç Çıkış Zamanları (dk)										Şube Ağırlıkları
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	
1	120	38	124	49	120	148	124	148	147	144	2,5
2	105	135	63	143	135	49	65	49	39	70	2,5
3	75	109	45	90	109	81	45	81	81	49	1
4	15	2	179	152	110	95	179	95	95	144	2,5
5	100	51	112	68	51	93	112	93	72	122	2,5
6	65	31	54	76	31	30	53	30	27	57	0,5
7	110	85	88	58	85	145	88	145	145	95	1
8	30	176	45	150	176	141	178	141	142	154	1,5
9	0	28	12	29	28	25	68	25	28	74	0,5
10	95	116	24	72	60	26	25	26	27	17	0,5
11	50	173	173	140	173	89	174	89	95	122	2,5
12	130	160	54	27	160	75	54	75	70	58	1,5
13	25	144	163	100	144	40	163	40	41	171	1
14	0	179	3	34	179	103	99	103	97	107	0,5
15	50	35	147	140	35	147	17	147	158	18	2
16	65	114	34	89	114	163	138	163	163	100	0,5
17	50	62	61	95	62	108	81	108	105	88	1
18	120	98	128	49	98	93	36	93	99	39	2
19	85	121	126	82	121	37	162	37	36	168	1
20	130	157	159	134	157	90	177	90	90	114	2
21	55	175	145	134	75	131	111	131	99	130	2
22	15	19	146	103	19	102	156	102	86	170	1
23	40	142	57	150	142	38	12	38	45	13	1,5
24	25	28	107	160	98	55	109	55	62	92	2,5
25	65	80	137	125	80	62	137	62	53	79	2
26	85	38	82	82	38	140	82	140	129	89	1,5
27	120	8	46	49	8	154	47	154	144	51	0,5
28	35	42	66	66	42	37	146	37	37	159	0,5
29	75	9	78	90	9	115	28	115	116	30	1,5
30	120	141	81	49	70	63	100	63	71	109	0,5
31	90	123	127	143	123	83	127	83	77	138	2
32	90	73	124	19	73	91	144	91	74	95	1
33	50	140	104	140	140	75	91	75	82	96	2,5
34	30	19	128	159	19	43	38	43	43	41	2
35	60	70	138	129	90	120	168	120	116	150	2,5
36	85	70	106	82	73	51	176	51	42	164	1
37	115	179	96	52	179	90	55	90	98	59	2
38	55	145	115	134	145	151	116	151	132	126	2,5
39	30	85	26	85	85	138	26	138	124	28	1
40	50	158	154	129	138	70	164	70	53	178	2,5

Çizelge J.2: Simülasyon modeli ile incelenen farklı senaryolara ait araç çıkış zamanları (Şube No:41-80, Senaryo:"S")

Araç No	Farklı Senaryolar için Araç Çıkış Zamanları (dk)										Şube Ağırlıkları
	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	
41	65	47	137	125	47	40	77	40	39	83	2
42	115	132	150	100	132	52	170	52	43	143	2
43	115	162	144	110	102	127	124	127	84	135	2
44	85	153	60	82	50	160	59	160	151	64	0,5
45	125	41	114	131	41	111	114	111	115	134	2
46	130	104	145	40	104	104	165	104	113	179	1
47	0	40	35	86	40	79	36	79	58	39	0,5
48	85	42	95	82	42	99	65	99	99	70	2
49	65	156	170	125	156	123	175	123	115	164	2,5
50	115	47	174	52	47	131	174	131	124	164	1,5
51	100	119	128	68	119	121	38	121	123	41	2
52	55	21	136	134	21	85	136	85	88	137	1,5
53	85	46	72	82	46	113	12	113	100	13	1
54	50	163	180	140	163	39	180	39	69	156	1,5
55	115	129	20	52	129	94	110	124	124	119	2,5
56	30	163	53	159	163	78	53	78	85	57	2,5
57	70	154	121	121	154	125	120	125	127	130	2
58	123	46	169	164	130	103	169	103	111	154	2,5
59	40	175	103	150	175	71	103	71	70	112	1,5
60	55	32	21	134	32	160	21	160	168	22	2
61	55	177	19	180	177	169	19	169	164	20	1,5
62	115	167	110	52	167	68	111	68	64	120	2
63	80	62	174	87	62	162	173	162	162	165	2,5
64	45	4	84	89	4	86	85	86	89	92	0,5
65	129	180	73	134	180	62	33	62	90	35	2,5
66	35	125	30	180	55	154	30	154	155	32	0,5
67	64	66	173	129	66	81	173	81	74	164	2
68	60	85	148	129	85	29	148	29	30	134	1,5
69	44	89	64	143	89	152	62	152	151	67	1,5
70	87	95	153	169	95	82	152	82	80	95	2
71	54	2	70	124	2	143	68	143	143	74	1
72	38	58	15	150	58	132	15	132	127	16	1,5
73	55	168	126	140	128	128	126	128	129	124	1,5
74	40	121	50	91	30	26	50	26	16	54	0,5
75	93	41	10	79	41	135	10	135	142	120	2
76	70	71	135	125	71	20	135	20	13	50	1,5
77	102	126	41	72	126	53	41	53	43	44	2
78	80	10	90	134	70	31	89	31	32	97	1,5
79	69	154	18	68	154	142	18	142	148	100	2
80	65	51	53	151	51	162	52	162	163	112	2

EK K: ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : DİKMEN, Onur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.02.1986 İstanbul
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (537) 220 26 10
e-mail : odikmen@etu.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Y.Lisans	TOBB ETÜ Endüstri Mühendisliği	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce