

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATM NAKİT YÖNETİM SİSTEMİ İÇİN STOK TEORİSİ  
TABANLI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI

ALİ PALA

AĞUSTOS 2014

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında** Ali PALA tarafından hazırlanan “ATM NAKİT YÖNETİM SİSTEMİ İÇİN STOK TEORİSİ TABANLI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI” adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Burak BİRGÖREN  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Ümit Sami SAKALLI  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç.Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : Yrd.Doç.Dr. Ümit Sami SAKALLI \_\_\_\_\_

Üye : Yrd.Doç.Dr. Suna ÖZEL \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç.Dr. Erdem Kamil YILDIRIM  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### ATM NAKİT YÖNETİM SİSTEMİ İÇİN STOK TEORİSİ TABANLI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI

PALA, Ali

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Ümit Sami SAKALLI

Ağustos 2014, 131 sayfa

Günümüzde bankacılık ve finans sektörlerinde rekabetin artmasıyla birlikte, ATM nakit yönetimi ve optimizasyonu bankalar için önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Bu çalışmada, ülke genelinde yaklaşık 3400 tane ATM'si bulunan bir bankanın ATM nakit yönetimi problemi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve simülasyon yöntemlerinin kullanıldığı stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli önerilmiştir.

Önceki çalışmalarda problem genellikle talep tahmin modelleri kullanılarak çözülmeye çalışılmış, nakit kaynaklı maliyetlerin optimizasyonu ile yeterince ilgilenilmemiştir. Bu çalışmada daha çok nakiti elde bulundurma, müşteriye nakit sağlayamama ve nakit yükleme maliyetlerini minimize edecek bir optimizasyon süreci tasarlamaya çalışıldı. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, AHP kullanılarak ele alınan ATM'ler için önem ağırlıkları belirlenmiş ve ATM'ler bireysel olarak değil bir ağ olarak ele alınmıştır. Çalışmada ele alınan 21 ATM'ye ait 92 günlük nakit çekim tutarları analiz edilerek haftanın günlerine göre nakit çekim miktarlarının nasıl değiştiği analiz edilmiştir. Haftanın günleri nakit çekim davranışlarına göre üç ana gruba ayrılmış ve her bir grubun nakit çekim miktarlarının normal dağıldığı tespit edilerek ortalama ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli ile toplam maliyeti (elde bulundurma, yok satma ve sipariş verme) minimize edecek günlük ATM ağında bulundurulması gereken nakit miktarı belirlenmiştir. AHP ile bulunan önem ağırlıkları kullanılarak bu nakit miktarı ATM'lere dağıtılmıştır. Bu sayede her

bir güne ait ATM'de gün başlangıcında bulundurulması gereken optimal nakit miktarı hesaplanmıştır.

Bulunan sonuçlar ile mevcut model ARENA programı ile simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. 10 tekrar yapılarak elde edilen simülasyon sonuçları, önerilen model kullanılarak günlük toplam maliyetin yaklaşık %32 oranında azaltılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** ATM Nakit Yönetimi, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Stokastik Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Kontrol Modelleri, Simülasyon

## **ABSTRACT**

### **INVENTORY THEORY BASED OPTIMIZATION APPROACH FOR ATM CASH MANAGEMENT SYSTEM**

PALA, Ali

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master of Science Thesis

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Ümit Sami SAKALLI

August 2014, 131 pages

ATM cash management and optimization has become an important field of study with the increase in the competition in banking and finance sectors. In this study, the stochastic periodic review inventory control model in which Analytical Hierarchy Process (AHP) and simulation are used is proposed for a bank which has approximately 2500 ATMs.

In the previous studies, the problem is tried to be solved by using demand forecasting models and the optimization of costs with cash is not dealt adequately. We try to design a process which minimizes the costs of carrying the cash, inability to provide cash to the customer and cash replenishment. In this study, weights are determined for ATMs handled by using AHP and ATMs are handled not individually but as a network, which is different from previous studies. It is analyzed how the amount of cash withdrawal changes according to day of the week by analyzing 92 days' cash withdrawal of 21 ATMs used in the study. The days of the week are divided into three main groups according to the cash withdrawal behaviors. The amount of cash withdrawal for each group is determined to show normal distribution. Then, mean value and standard deviations are calculated. The amount of cash required to be in ATM network per day which will minimize total cost (carrying, shortage and ordering) is determined with stochastic periodic review inventory control. This cash amount is distributed to ATMs by using weights obtained with AHP. By this way the

optimal cash amount required per day in ATMs at the beginning of a day is calculated.

Current model is compared with these results in simulation by using ARENA software. It is seen after 10 replications with simulation that the daily total cost can be decreased by 32% by using the proposed model.

**Key Words:** ATM Cash Management, Analytic Hierarchy Process, Stochastic Periodic Review Inventory Control Systems, Simulation.

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin hazırlanmasında büyük emeği geçen tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Ümit Sami SAKALLI hocama teşekkürü bir borç bilirim. Tez sırasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Kara Harp Okulu Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan değerli komutan ve çalışma arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Veri analizi çalışmalarında istatistik bilgi birikimi ile bana destek olan Kara Harp Okulu Endüstri ve Sistem Mühendisliği İstatistik Öğretim Görevlisi Sayın Öğ.Tğm. Umut YALÇIN'a teşekkür ederim.

Simülasyon çalışmaları esnasında, kendisine yönelttiğim sorulara içtenlikle cevap veren ve simülasyon alanında yüksek bilgi birikimine sahip olduğuna inandığım Sayın Doç.Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER'e ve Müh.Ütğm. Cihan ÇÖREKÇİ'ye teşekkür ederim.

Son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyerek anlayış gösteren değerli eşim Zeynep'e teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR/ÖNSÖZ</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. ATM Hizmetlerinin Günümüzdeki Önemi .....	5
1.2. Geçmişte ve Günümüzde Bankaların ATM'leri Yönetme Biçimleri .....	6
<b>2. LİTARETÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	10
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	15
3.1. Stok Kontrol Modelleri .....	15
3.1.1. Stok Teorisi .....	15
3.1.2. Stok Maliyetleri.....	16
3.1.2.1. Elde Bulundurma Maliyeti.....	17
3.1.2.2. Yok Satma Maliyeti .....	17
3.1.2.3. Sipariş Verme Maliyeti .....	18
3.1.3. Stok Sistemlerinin Terminolojisi .....	18
3.1.3.1. Talep.....	18
3.1.3.2. Gecikme Zamanı ve Yükleme Hızı.....	19
3.1.3.3. Yeniden Sipariş noktası .....	19
3.1.3.4. Emniyet Stoku.....	19
3.1.4. Stok Politikaları.....	20
3.1.4.1. Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Politikası .....	20
3.1.4.2. Maksimum Stok Seviyesine Kadar Yükleme Politikası .....	21
3.1.4.3. Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Politikası .....	21
3.1.4.4. Sabit Sipariş Miktarı Politikası .....	22
3.1.4.5. Temel Stok Politikası .....	23
3.1.5. Stok Modellerinde Talep Karakteristikleri .....	23



3.1.6. Deterministik Stok Kontrol Modelleri .....	24
3.1.6.1. Tek-Ürün Modeli .....	25
3.1.6.2. Çok-Ürünlü Modeli .....	25
3.1.6.3. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli .....	25
3.1.7. Stokastik Stok Kontrol Modelleri .....	28
3.1.7.1. Stokastik Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Modelleri.....	29
3.1.7.2. Stokastik Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Modelleri.....	31
3.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi .....	34
3.3. Simülasyon .....	39
3.3.1. Simülasyon Nedir .....	40
3.3.2. Simülasyonun Kullanım Amaçları .....	41
3.3.3. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları .....	42
3.3.4. Simülasyon Modeli Geliştirme Aşamaları .....	43
3.3.5. Girdi Analizi.....	44
3.3.6. Çıktı Analizi .....	45
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>48</b>
4.1. Problem Tanımı.....	48
4.1.1. Müşteri Davranışları .....	48
4.1.2. ATM Sayıları .....	50
4.1.3. ATM Konumları .....	51
4.1.4. ATM'lerin Servis ve Bakım Hizmetleri.....	52
4.1.5. ATM'lerde Bulundurulması Gereken Optimal Nakit Miktarı .....	53
4.2. Mevcut Durum .....	54
4.3. Önerilen Model .....	57
4.3.1. Önerilen Modelde Kullanılan Varsayımlar .....	60
4.4. Verilerin Analizi.....	61
4.4.1. Haftanın Günleri.....	66
4.5. Stokastik Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Modeli Uygulama .....	73
4.5.1. Birinci Grup için Optimal Nakit Miktarının Hesaplanması.....	75
4.5.2. İkinci Grup için Optimal Nakit Miktarının Hesaplanması.....	76
4.5.3. Üçüncü Grup için Optimal Nakit Miktarının Hesaplanması .....	77
4.6. AHP Uygulama .....	78
4.6.1. Birinci Grup için Optimal Nakit Miktarının ATM'lere Dağıtılması	87

4.6.2. İkinci Grup için Optimal Nakit Miktarının ATM'lere Dağıtılması ..	88
4.6.3. Üçüncü Grup için Optimal Nakit Miktarının ATM'lere Dağıtılması	88
4.7. Simülasyon.....	89
4.7.1. Mevcut Sistem.....	90
4.7.1.1. Yükleme Birimi.....	91
4.7.1.2. Yükleme Sayacı .....	92
4.7.1.3. Veri Toplama ve Yazma .....	92
4.7.1.4. Toplam Maliyet.....	95
4.7.2. Önerilen Model .....	96
4.7.2.1. Yükleme Birimi.....	96
4.7.2.2. Veri Toplama ve Yazma .....	98
4.7.2.3. Toplam Maliyet.....	99
<b>4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>102</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>105</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>109</b>
EK.1. ....	109
EK.2. ....	110
EK.3. ....	111
EK.4. ....	112
EK.5. ....	113
EK.6. ....	115
EK.7. ....	117
EK.8. ....	119
EK.9. ....	121
EK.10. ....	123
EK.11. ....	125
EK.12. ....	127
EK.13. ....	129
EK.14. ....	131

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. ATM Nakit Yönetim Yazılımları.....	8
3.1. Standardize Edilmiş Karşılaştırma Ölçeği .....	35
3.2. Alternatif Sayısına Göre Rastsal İndeks Değerleri .....	38
4.1. Mevcut Durum Sınıflandırma Yöntemi .....	55
4.2. Her Bir ATM Sınıfına Ait r ve R Değerleri .....	55
4.3. 21 ATM İçin Uyum İyiliği Test Sonuçları.....	63
4.4. 21 ATM’de Günlere Göre Çekilen Nakit Miktarları .....	68
4.5. Günlere Göre Nakit Çekim Ortalama ve Standart Sapmaları .....	73
4.6. Birinci Gruba Ait Parametreler .....	75
4.7. İkinci Gruba Ait Parametreler .....	76
4.8. Üçüncü Gruba Ait Parametreler.....	77
4.9. Kriterlerin İkili Karşılaştırması .....	79
4.10. Kriterler İçin C Matrisi .....	80
4.11. Kriterlere Ait Sağ Özvektör .....	80
4.12. Kriterler İçin D Sütun Vektörü .....	81
4.13. Kriterler İçin E Sütun Vektörü.....	81
4.14. ATM’lerin Birbirlerine Göre Yüzde Önem Ağırlıkları .....	86
4.15. Birinci Grup İçin Günlük Optimal Maksimum Nakit Seviyesi .....	87
4.16. İkinci Grup İçin Günlük Optimal Maksimum Nakit Seviyesi .....	88
4.17. Üçüncü Grup İçin Günlük Optimal Maksimum Nakit Seviyesi .....	89
4.18. Günlük Ortalama Nakit Yükleme Maliyeti.....	95
4.19. Gecelik Ortalama Nakit Bulundurma Maliyeti.....	95

4.20. Günlük Ortalama Nakit Sağlayamama Maliyeti .....	96
4.21. Önerilen Model Günlük Ortalama Nakit Yükleme Maliyetleri .....	99
4.22. Önerilen Model Gecelik Ortalama Nakit Bulundurma Maliyeti.....	100
4.23. Önerilen Model Günlük Ortalama Nakit Sağlayamama Maliyeti.....	100
4.24. Toplam Maliyetlerin Karşılaştırılması .....	101

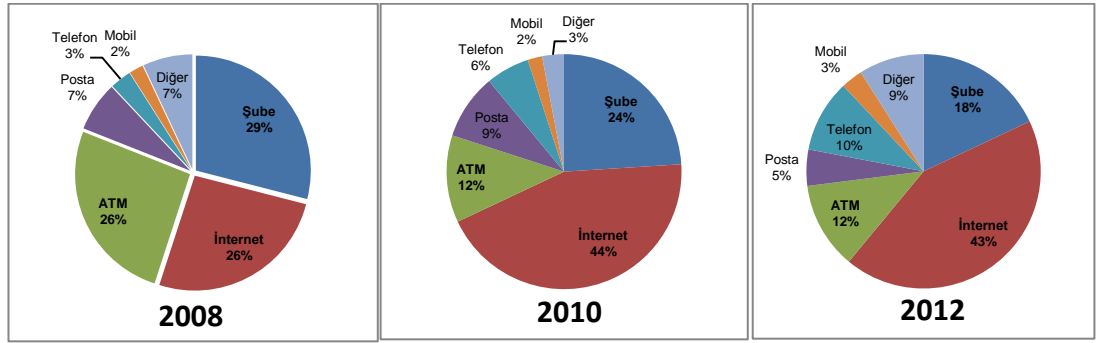
## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİLLER</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bankacılık Tercihleri.....	1
1.2. Dünyada ATM Sayıları .....	2
1.3. Türkiye’de ATM Sayıları.....	3
1.4. ABD’de ATM İstatistikleri .....	4
1.5. Türkiye’de ATM İstatistikleri .....	4
3.1. Tipik bir Stok Sistemi .....	19
3.2. Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Modeli .....	21
3.3. Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Politikası .....	22
3.4. Talebe Göre Stok Modelleri.....	24
3.5. Tek-Ürün Modeli .....	25
3.6. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli .....	28
3.7. Stokastik Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Modeli .....	30
3.8. Her Siparişte Maksimum Stok Seviyesine Kadar Sipariş Verme Politikası	31
3.9. AHP Hiyerarşisi .....	35
3.10. Sistem Analizi .....	40
4.1. ATM Sayısı İle Karlılık Arasındaki İlişki.....	51
4.2. ATM1’e Ait Günlük Nakit Çekim Miktarları .....	61
4.3. ATM1 Nakit Çekim Miktarlarının Normalite Analizi .....	62
4.4. ATM1 Nakit Çekim Miktarlarının Gamma Testi .....	63
4.5. ATM19 Nakit Çekim Miktarları ve Histogramı .....	64
4.6. Tüm ATM’lerden Çekilen Nakit Miktarları .....	65
4.7. Tüm ATM’lerden Çekilen Nakit Miktarları İçin Normalite Testi .....	66

4.8. Nakit Çekim Miktarlarının Haftanın Günlerine Dağılımı.....	67
4.9. Birinci Grup Günler İçin Normalite Testi.....	70
4.10. İkinci Grup Günler İçin Normalite Testi.....	71
4.11. Üçüncü Grup Günler İçin Normalite Testi .....	72
4.12. Mevcut Sistemde Yükleme Birimi.....	91
4.13. Mevcut Model İçin Nakit Seviyesi Değişimi.....	91
4.14. Mevcut Sistem Yükleme Sayacı .....	92
4.15. Mevcut Sistem Ortalama Nakit Miktarı Hesaplama Modülü .....	93
4.16. Mevcut Sistem Kayıp Kazanç Hesaplama Modülü .....	94
4.17. Mevcut Model Yazdırma Modülü.....	94
4.18. Önerilen Model Yükleme Birimi .....	97
4.19. Önerilen Model-1 İçin Günlük Nakit Seviyesi Değişimi.....	97
4.20. Önerilen Model-2 İçin Günlük Nakit Seviyesi Değişimi.....	98
4.21. Önerilen Model-3 İçin Günlük Nakit Seviyesi Değişimi.....	98

## 1. GİRİŞ

Günümüzde tüm finansal işlemler bankalar üzerinden yapılmaktadır. Bankalar müşterilerine şubeler, ATM (Automated Teller Machine)'ler, telefon bankacılığı, internet bankacılığı, posta vb. aracılığıyla hizmet vermektedir. Müşterilerin bankaların sunduğu hizmet seçeneklerini tercih etme oranları da gelişen teknoloji ile birlikte değişmektedir. Amerikan Bankacılar Birliği tarafından bu konu ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, müşterilerin 2008, 2010 ve 2012 yılları için bankacılık tercihleri Şekil 1.1.'de yüzdesel olarak karşılaştırılmıştır.

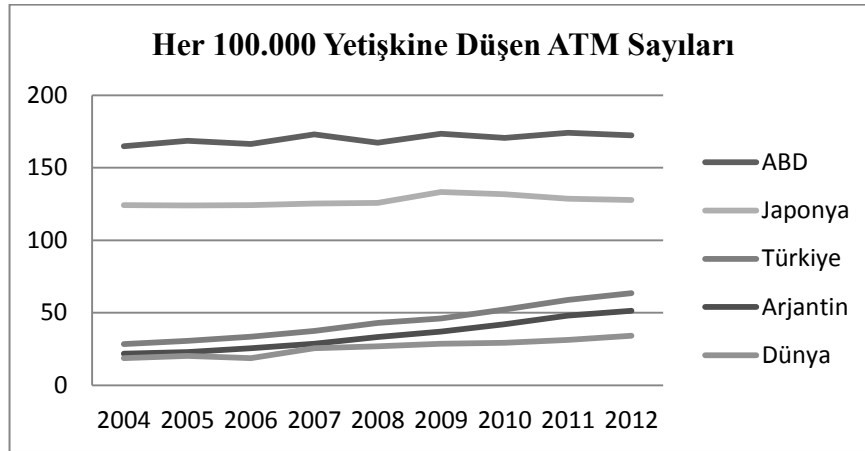


Şekil 1.1. Bankacılık Tercihleri [1]

Çalışmada, internet ve telefon bankacılığına olan talebin arttığı, şubede işlem yapma tercihlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda açık bir biçimde ortaya çıkmamasına rağmen, gelişen teknolojiyle birlikte mobil bankacılık geleceğin en popüler bankacılık tercihi olmaya adaydır. 4 yıllık bir sürede müşterilerin ATM tercihlerinin %50'den fazla azalması dikkat çeken bir diğer ayrıntıdır. Bununla birlikte, bu çalışmada ortaya konan bilgi ve istatistikler ATM'lerin tercih edilme oranının azalmasına rağmen, sayılarının ve dolayısıyla ATM'lerde bulundurulacak nakit miktarının aksi yönde bir eğilim gösterdiğini kanıtlamaktadır. Bankacılık sektörünün rekabetçi yapısı bu durumu en iyi şekilde açıklamaktadır.

ATM, müşterilerin herhangi bir insan desteği olmadan günlük bankacılık işlemlerini (para çekme, para yatırma, havale yapma vb.) yapabildikleri bilgisayar destekli elektronik bir cihazdır [2]. Gerçek anlamda ATM ilk kez 27 Haziran 1967 tarihinde Londra'nın Enfield kasabasında De La Rue firması tarafından Barclays Bank için üretilerek hizmete sunulmuştur [3]. ATM'lerin günlük hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmesi 1980'lerin ortalarını bulmuştur. ATM cihazları Türkiye'ye ilk kez 1982 yılında Bankamatik ismiyle gelmiştir.

Dünya Bankası verilerine göre, 2004 yılında dünyada bulunan ATM sayısı yaklaşık 1,2 milyon iken, 2012 yılında bu rakam tam ikiye katlanarak 2,4 milyona ulaşmıştır. 2014 yılında bu sayının 2,5 milyonu aşacağı tahmin edilmektedir. 10 yılda ortaya çıkan bu tablo, ATM'lere olan talebin çok net bir biçimde arttığını göstermektedir. Şekil 1.2.'de, her 100.000 yetişkine düşen ATM sayısının 2004 – 2012 yılları arasındaki değişimi gösterilmektedir.

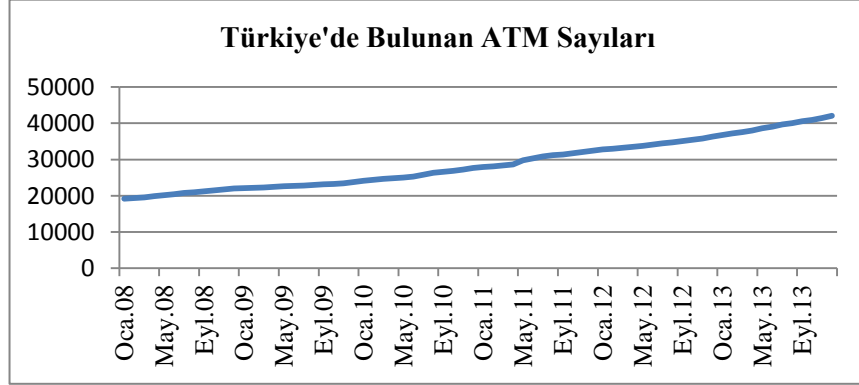


**Şekil 1.2.** Dünyada ATM Sayıları [4]

Grafikten de anlaşılacağı üzere, gelişmiş ülkelerde yetişkin başına düşen ATM sayısı gelişmekte olan ülkelere önemli ölçüde fazladır. Ayrıca ATM sayısı gelişmiş ülkelerde dengeye ulaşırken, gelişmekte olan ülkelere artmaya devam etmektedir. Dünya genelinde ATM sayısında sürekli bir artış gözlemlenmektedir.

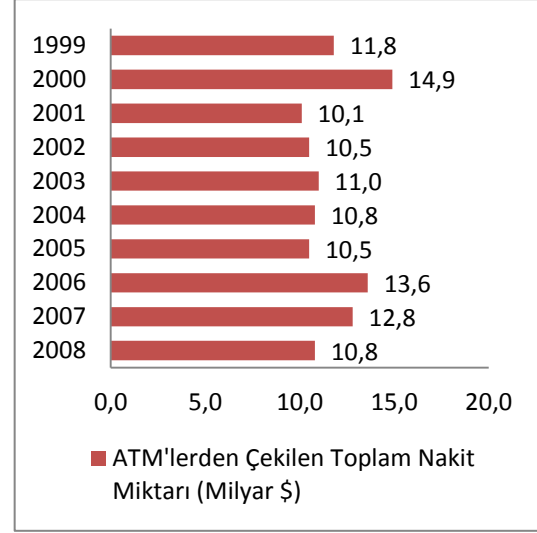
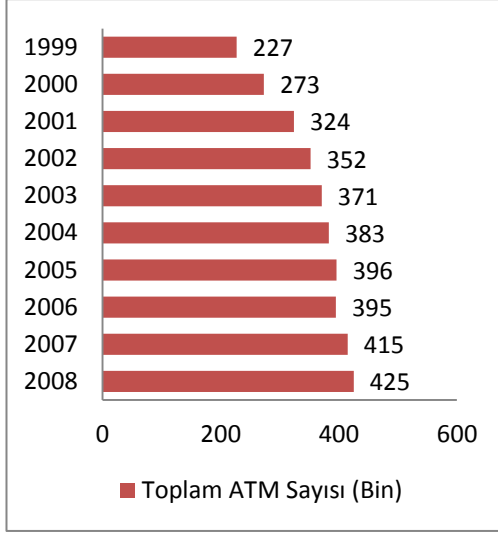


Türkiye’de bulunan ATM sayılarını daha ayrıntılı bir biçimde incelediğimizde sürekli artan bir trend göze çarpmaktadır. 2008 yılında bulunan ATM sayısı 20.000’in altında iken, 2013 yılına gelindiğinde bu sayı 40.000’i aşmış, diğer bir deyişle 5 yıllık bir sürede ATM sayısı iki katında daha fazla artış göstermiştir. Bu değişim Şekil 1.3’te gösterilmektedir.



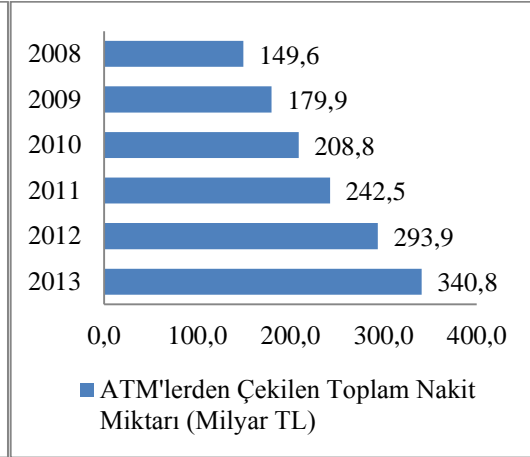
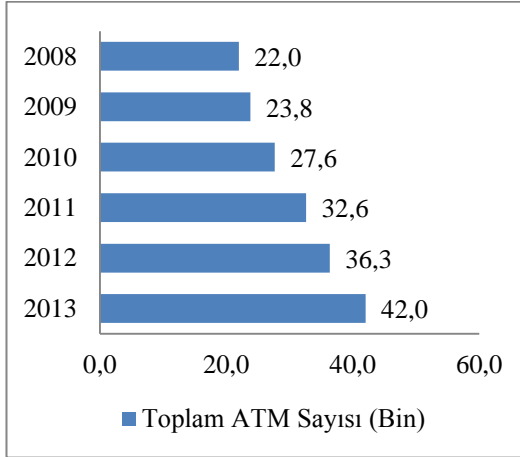
**Şekil 1.3.** Türkiye’de ATM Sayıları [5]

ATM sayılarındaki artış müşterilerin nakit talebini artırmıştır. Nakit talebinin artması bazı ülkelerde bankaları ATM’lerde daha fazla nakit bulundurmaya zorlamıştır. Fakat özellikle gelişmiş ülkelerde artan ATM sayısının nakite olan talebi beklenen oranda artırmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 1.4.’te, ABD’de 1999 ile 2008 yılları arasında ATM sayıları ve ATM’lerden çekilen toplam nakit tutarları gösterilmektedir.



Şekil 1.4. ABD’de ATM İstatistikleri [6]

Türkiye’de durum bundan farklıdır. Bankalararası Kart Merkezi’nden alınan verilere göre, 2008 – 2013 yılları arasında hem ATM sayılarında, hem de ATM’lerden çekilen nakit miktarlarında paralel bir artış bulunmaktadır.



Şekil 1.5. Türkiye’de ATM İstatistikleri [5]

## 1.1. ATM Hizmetlerinin Günümüzdeki Önemi

Günümüzde bankalar, asıl amaç olan para kazanmanın yanında sağlanan hizmetlerle müşteri memnuniyetinin artırılmasının gerekli olduğunu farkına vardılar. Şimdilerde hizmetin sağlanmasından ziyade nasıl sağlandığı çok daha önemli bir mesele haline gelmiştir. Zira kaliteli hizmet beraberinde kârlılığı getirecektir [7]. Asıl problem; müşteri memnuniyetini en yüksek seviyelerde tutarken, işletme giderlerini mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Bankalar, müşteri memnuniyetini artırmak ve iş yükünü azaltmak için ATM'leri kullanırlar. Verilen ATM hizmetinin kalitesi bankanın müşteri gözündeki imajını belirlemede önemli rol oynar. ATM hizmet kalitesini Dilijonas ve Sakalauskas [7] aşağıdaki kriterlere göre değerlendirmiştir:

- Yeteri kadar ATM
- Güvenli çevre
- Kullanıcı dostu
- Uygun dağıtım
- Fonksiyonel ATM

Takdir edilmelidir ki, bu kriterlere uygun hizmetin sağlanmasının bankalara getirdiği ciddi bir mali yük bulunmaktadır. Bununla birlikte, etkin ATM yönetimi ile hem kaliteli hizmet ve yüksek müşteri memnuniyeti sağlamak hem de ATM işletim maliyetlerini azaltmak mümkündür.

Ülkemizde, ATM sayıları ile birlikte nakit çekim miktarlarının da artması, ATM nakit yönetimi ve optimizasyonunu kaçınılmaz bir gereklilik haline getirmektedir. Büyük ölçekli bir bankanın ortalama 2817 tane ATM'si olduğu ve haftalık olarak ATM'lerde bulundurulan nakit miktarının milyonlarla ifade edildiği düşünüldüğünde, bu alanda yapılacak çalışmaların gerekliliği ve sağlayacağı faydalar daha açık biçimde anlaşılmaktadır.

## 1.2. GemiŖte ve Günümüzde Bankaların ATM'leri Yönetme Biçimleri

ATM hizmetleri yüksek maliyetli bir iŖtir: ATM'lerin bakım, yükleme ve diğer genel hizmetleri için personele ihtiyaç duyulur. Nakit yönetimi için para ve zaman harcamak gerekir. ATM iŖletme giderlerine katlanmayı zorunlu kılar (nakit, taŖıma, sigorta, risk vb.) [2]. Faiz oranlarının yükseldiği ve global rekabette iŖletme verimliliğinin her zamankinden daha önemli hale günümüz dünyasında etkin ATM yönetimi kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle bankalar sahip oldukları ATM'lerin daha etkin nasıl ynetebileceklerinin arayıŖına girdiler.

ATM iŖletim maliyetlerinin %35 ila %60'lık kısmını nakit kaynaklı maliyetler oluŖturur. Nakit kaynakları maliyetleri fırsat maliyeti olarak değerlendirmek daha doğru olacaktır. Bazı bankalar ATM'lerinde gerekenden %40 daha fazla nakit bulundurmaktadır. Halbuki uzmanlar ATM'lerde %15 - %20 arasında fazla nakit bulundurmanın yeterli olacağını ifade etmektedir [2].

ATM nakit yönetiminin optimizasyonu alıŖmalarından önce bankalar, ATM nakit yönetimini genellikle kiŖisel tecrübeleri ve iŖletme politikalarını esas alarak elle yapmaktaydılar. Örneğin aŖađıda alıŖan tecrübesine dayanarak ATM nakit yönetimi yapan bir bankaya ait yönetim stratejisi verilmiŖtir [8]:

- Hizmet dıŖı kalmayı engelleyerek nakite eriŖme garantisi vermek.
- ATM'de bulundurulması gereken minimum miktar göz önüne alınarak haftada en az iki kere nakit yükleme iŖlemi yapmak.
- Nakit seviyesinin alt sınırın altına dŖmesinden kaynaklanan problemleri haftada ikiden az tutmak.

Bu durum bankaları ATM'lerde gereğinden fazla nakit bulundurma tuzağına dŖrmŖ ve boŖ bekleyen nakit parayı kullanamamaktan kaynaklanan fırsat maliyetlerine katlanmak durumunda bırakmıŖtır [2]. Fırsat maliyetlerinin artması bankanın kârlılığını önemli ölçüde dŖrmŖtr. Tüm bunları birbirini doğrudan etkileyen doğal bir zincir olarak dŖndđmzde global rekabette, etkin ATM nakit yönetiminin bankaları st sıralara taŖıyacađı gerçeğine yaklaŖmıŖ oluruz.

Günümüzde gelişmiş ülkelerde bulunan bankalar etkin ATM nakit yönetiminin önemini öngörmüş ve problemi bilimsel yöntemlerle çözümlenmeye arayışına girmişlerdir. Yazılım firmaları ile ortak yapılan çalışmalarda, geçmiş verileri kullanarak müşteri davranışlarını tahmin eden yazılımlar geliştirilmiştir. Mevcut ATM yazılımları ile bütünleşik olan bu yazılım veya modüller ile ATM nakit yönetiminin optimizasyonu hedeflenmektedir.

ATM ağlarının yönetim ve optimizasyon ihtiyaçlarını karşılayan bir yazılım geliştirebilmek için öncelikle her bir ATM'ye ait kesin nakit talebini belirlemek gerekir. Daha sonra, nakit girdi ve nakit çıktı verileri ile gerçek verileri simüle eden bir model kurulmalıdır. Geçmiş dönemin talep modeli; ödeme günleri, tatil dönemleri ve belirli mevsimsel talepler gibi birçok faktör üzerine kuruludur. Banka uzmanları belirli koşullar altında meydana gelen ekstra durumları bildiklerinden nakit yönetim planlarını bu durumlara uygun biçimde oluşturmaktadırlar. Tahmin ve optimizasyon modülü nakit yönetim sisteminin ana parçasıdır. Bu modül 5-10 günlük periyotlarla her bir ATM'nin ihtiyaç duyduğu nakit miktarını belirlemektedir. Günlük nakit talebi baz alarak, optimizasyon sürecinin her bir ATM için faiz oranlarına karşı ulaştırma ve yükleme maliyetlerini hesaplayarak optimum nakit miktarlarının belirlenmesi gerekir. Nakit çekimleri sabit bir trend izler ve genellikle haftalık, aylık ve yıllık döngüler izler. Örneğin, müşteriler her ayın başında yüksek miktarlarda nakit çekimi yaparlar. Yılbaşından önce nakit çekim oranları fırlar, aksine Ağustos ayında tatil zamanlarında nakit çekim oranları dikkate değer ölçüde düşüş gösterir. Alışveriş merkezlerinde bulunan ATM'lerde Cuma ve Cumartesi günleri yığılma olmaktadır. Nakit yönetim sistemi; müşterilerinin nakit ihtiyaçlarını garanti altına almalı, optimal nakit stok miktarını günlük olarak tahmin etmeli, ulaştırma ve hizmet maliyetlerini düşürmelidir.

Sistem, bankanın değişen durumlarda tekrar talep tahmini yapabilmesini sağlayacak kadar esnek olmalı, What-If (olursa ne olur) analizleri yapabilmeli ve müşteri davranışları ve çevresel faktörler değiştiğinde ATM ağını optimize edebilmelidir. En çok bilinen ATM ağları nakit yönetim çözümleri Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

### Çizelge 1.1. ATM Nakit Yönetim Yazılımları [2]

Şirket	Yazılım
Carreker Corporation	iCom
Morphis, Inc	MorphisCM
Transoft International	OptiCa\$h
Wincor Nixdorf	Pro Cash Analyser

Bu yazılımlar neler yapar [2]:

- Aşırı nakit stoklarını %20 ila %40 arasında azaltır.
- Nakit yükleme, taşıma – ulaştırma ve diğer ATM maliyetlerini düşürür.
- Taşıma çizelgesini ve ATM yönetimini geliştirir.
- Nakit yükleme sürecini ve kontrolünü standartlaştırır.
- Riskleri ve kayıpları azaltır.
- Etkin denetleme ve raporlama imkânı sağlar.
- Her türlü işletme için maliyet – etkin çözümler üretir.

Bu yazılımların dezavantajları [2]:

- Lineer regresyon modellerini kullanarak her bir ATM için nakit talep tahminleri yaparlar. Bu tip modeller ATM'lere göre değişkenlik göstermekle birlikte oldukça karmaşıktır. Bundan dolayı tahmin modellerinin hazırlanması yazılım uzmanları için oldukça zor bir iştir.
- Tahmin modellerinin parametreleri uygulama aşamasında belirlenir ve süreç boyunca sabit kalır. Hâlbuki gerçek hayatta iş dünyası sürekli değişmektedir ve dolayısıyla model parametreleri değişen iş ortamına ayak uydurmak durumundadır.

Kişisel tecrübelerle dayanılarak yapılan nakit yönetiminden ziyade, bilgisayar yazılımları ile yürütülen nakit yönetiminin çok daha etkin olduğu aşikardır.

Bununla birlikte, müşteri davranışlarından kaynaklanan stokastik süreçlerin aşırı değişkenliği ve tutarsızlığı, nakit talep tahmin temelli çalışan yazılımlar vasıtasıyla bulunan sonuçların doğruluğunu ve kullanılabilirliğini azaltmaktadır [8]. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için literatürde çeşitli bilimsel metotlar uygulanmaktadır.

Bu tezin amacı, ATM'lerde gereğinden fazla bulundurulan nakitten kaynaklı fırsat maliyetlerini ve ATM nakit yükleme faaliyetlerinden (araç, yakıt, personel, sigorta) doğan maliyetleri minimize ederken müşteri memnuniyetini en üst seviyede tutmayı amaçlayan nakit yükleme stratejilerini belirlemektir.

Tez çalışması şu bölümlerden oluşmaktadır; Giriş bölümünde, ATM'lerin tarihsel gelişimi, ATM sayılarının ve ATM'lerden çekilen nakit miktarlarının değişimi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca ATM'lerin günümüzde bankalar için ve müşteriler için önemi ve bankaların ATM'leri yönetme biçimleri üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde, ATM nakit yönetimi problemine istatistiksel analiz ve tahminleme yöntemler, yapay sinir ağları, genetik algoritma, stok kontrol modelleri ve simülasyon (simülasyon) ile çözüm getiren çalışmalar kronolojik sıra ile özetlenmiştir. Üçüncü bölümde, bir bankadan elde edilen veriler (günlük nakit çekim miktarları) analiz edilmiş, problem çözümünde kullanılan stok kontrol modeli, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve simülasyon yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, veri analizi ile birlikte elde edilen çıktılara, stok kontrol modeli ve AHP uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak mevcut sistem ve önerilen model simülasyon ortamında test edilerek karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde, sonuçlardan elde edilen çıkarımlara ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, ATM nakit yönetimi ve optimizasyonunda kullanılan yöntemlerle ilgili literatür taramalarına yer verilmiştir. Literatürde, ATM'lerle ilgili birçok sosyal ve ekonomik alanda çalışmalar bulunmasına karşın, ATM nakit yönetimi ve optimizasyonuna ilişkin sınırlı sayıda çalışma tespit edilebilmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan temel yaklaşımlar; istatistiksel analiz ve tahminleme yöntemleri, yapay sinir ağları, genetik algoritma, stok kontrol modelleri ve simülasyon (simülasyon) olarak sıralanabilir.

Baumol [9] nakit yönetimi problemini temel bir stok problemi olarak tanımlayan Baumol Modeli'ni geliştirmiştir. Modelinde stok teorisi ile para teorisinin birbirini destekleyen varsayımlarının olduğunu belirtmiş ve stokta bekletilen hammadde veya ürünün ortaya çıkardığı maliyetler gibi, atıl bekleyen ve kullanılmayan nakit için de benzer maliyetlerin söz konusu olduğunu ortaya koymuştur. Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity) modelini kullanarak nakit kullanım stratejilerini belirlemiştir. Baumol, günümüzde etkin nakit yönetimi faaliyetlerine ışık tutacak modellerin teorik temellerini atmıştır.

Ancak Baumol, nakit girdi ve çıktısının sabit (deterministik) ve tahmin edilebilir olduğunu, mevsimsel veya döngüsel bir trende bağlı olmadığını varsaydığından problemi tüm yönleri ile ele almadığı görülmektedir. Zira günümüzde yapılan çalışmalar nakite olan talebin mevsimsel (gün, hafta, ay, mevsim, bayram, yılbaşı) etkilere yüksek oranda bağlı olduğunu göstermektedir.

Johnson ve Montgomery [10] nakit yönetim problemlerinin stok literatüründeki tek dönem stokastik stok problemi (single period stochastic inventory problems) ile yakından ilişkili olduğu ifade etmiştir.

Constantinides ve Richard [11] nakite olan toplam talebi *Wiener süreci* ile modellenmiştir. *Wiener süreci*, sürekli zamanlı stokastik bir süreçtir (continuous-time stochastic process). Çalışma, stok teorisinin nakit yönetimi problemlerinde



optimal stratejinin bulunması için kullanılabilir en uygun yöntemlerden biri olduğunu ortaya koymuştur.

Boeschoten [12] ATM'lerden çekilen nakit miktarlarını ay, cinsiyet, yaş, eğitim ve çevre bazında gruplandırmıştır. ATM nakit yönetimi probleminin bir stok problemi olduğuna değinmiştir. Çalışmasını nakite olan talebin etkilendiği parametreler üzerinde yoğunlaştırmıştır. Bu parametrelerin etkinlik düzeylerini çok terimli logit analizi ile belirlemiştir. Ancak, ATM'lere nakit yükleme stratejileri konusunu ele almamıştır.

2000'li yılların başlarında ATM sayısının artması ile birlikte hem akademik çalışmalarda hem de özel danışmanlık firmalarında ATM nakit yönetimi ve optimizasyonu problemlerine yönelme başlamıştır.

Miranda ve Muñoz [13] ATM nakit yönetimi problemini periyodik gözden geçirmeli stok problemi olarak ele almıştır. Belirlenmiş bir servis düzeyine göre yeniden yükleme noktası ve yükleme miktarını belirlemede kullanılabilir simülasyon tabanlı bir karar destek sistemi oluşturmuştur. Simülasyon yazılımı olarak Visual Basic ile bütünleşik olarak ARENA 5 programını kullanmıştır.

Alvarez ve Lippi [14] William Baumol tarafından geliştirilen ve deterministik olarak ele alınan nakit stok ve talep tahmin modelini stokastik bir model olarak ele alarak geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada müşteri harcamaları ve yıllık faiz oranlarının nakit çekimi üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bankaların sahip oldukları ATM'lerin nakit çekimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Simutis vd. [2] müşteri davranışlarını doğru tahmin edebilen ve bu yolla işletme maliyetlerini minimize ederek ve ATM ağlarını optimize etmeyi amaçlayan bilgisayar destekli karar verme sistemlerinin (yazılım) tahminlemedeki dezavantajlarını ortadan kaldırabilecek Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network) temelli bir yaklaşım önermiştir. Yapay Sinir Ağı modeli ile nakite olan talep hesaplanırken müşteri davranışlarından kaynaklanan aşırı dalgalanmanın meydana

getirdiği belirsizliği en aza indirmeyi ve tahmin hatalarını minimize etmeyi amaçlamıştır.

Brentnall vd. [15] ve Brentnall vd. [16] optimal ATM nakit yükleme stratejilerinin belirlenmesi maksadıyla müşteri davranışlarını “*random-effects point process*” ve “*random effects multinomial model*” ile tahmin etmiştir. Çalışmalarda nakite olan talebin mevsimsel etkilerden kaynaklı dalgalanmalarını modellere dahil etmiştir.

Simutis vd. [17] her bir ATM'nin günlük nakit talebini tahmin etmek maksadıyla Esnek Yapay Sinir Ağları yöntemini ve Destek Vektör Regresyon Algoritmalarını (Support Vector Regression Algorithms) kullanılmış ve bulunan sonuçları karşılaştırmıştır.

Snellman ve Viren [18] ATM sayılarının nakite olan talebe etkisi üzerinde durmuştur. ATM sayısı ile bankanın kârlılığı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bankaların ATM'lerinde bulundurması gereken nakit miktarının hesaplanmasında Baumol modelinin kullanılabilceğini vurgulamıştır.

Esteves ve Rodrigues [19] ATM nakit çekme işlemlerine olan takvimsel (mevsimsel) etkileri incelemiştir. Çalışmada, haftanın günlerinde, ayın haftalarında, senenin aylarında ve özel zamanlarda ATM nakit çekim işlemlerinin (nakite olan talebin) izlediği trendi istatistiksel yöntemler (düzeltmeler, dağılıma uydurma işlemleri) ile ortaya çıkarmış ve tahminleme sürecinin daha sağlıklı yapılmasını amaçlamıştır.

Armenise vd. [8] optimal nakit yükleme stratejileri üreterek günlük nakit stoklarını ve nakit yükleme maliyetlerini minimize eden *genetik algoritma* uygulamasını önermiştir.

Brentnall vd. [20] her bir ATM için yapılan talep tahminlerinde yoğunluk tahminlerinin nokta tahminlerden daha uygun olduğunu değerlendirmiştir. Tahminleme performansları açısından lineer modeller, otoregresif modeller, yapısal zaman serisi modeller ve Markov-zinciri modelleri karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada Markov-zinciri modellerinin yoğunluk tahminlemelerini daha iyi yapabildiğini ifade

etmiş ve ATM tahmin problemlerinde Markov- zinciri modellerinin kullanılmasının diğer modellere göre daha uygun olduğunu değerlendirmiştir. Çalışmasında daha çok problemi tahminleme modelleri üzerinden çözmeyi amaçlamıştır. Tahmin çıktılarının problemde stok modelinin girdisi olarak kullanılabilmesine değinmiştir.

Azuma vd. [21] nakit yönetiminin optimizasyonu için bir araç rotalama ve stok modeli kullanmıştır. Problemin çok amaçlı bir karar problemi olduğunu değerlendirmiş ve aynı anda stok ve dağıtım maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamıştır. Problemin çözümünde güçlü bir pareto değerlendirme algoritması kullanmıştır. Ancak çalışma temel olarak araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır.

Dilijonas ve Sakalauskas [7] Yapay Sinir Ağları yöntemi ve belirlenen bir optimizasyon süreci kullanılarak ATM nakit yönetimi verimliliğinin yaklaşık %33 artırılabilirdiğini göstermiştir. İlgili modelin simülasyonu yapılarak mevcut ve önerilen sistemleri karşılaştırmıştır.

Venkatesh vd. [22] ATM'lere olan nakit talebinin tahminlemesini ATM'leri ve haftanın günlerini gruplandırarak yapmıştır. Bunu yaparken zaman serisi modelleri, kümeleme ve çeşitli sinir ağları modellerini kullanmıştır. Haftanın günlerini gruplamak için bir zaman serisi modeli kullanmıştır. ATM'leri gruplamak için kümeleme yöntemini kullanmıştır. Talep tahminlemesini çeşitli sinir ağları modellerini kullanarak yapmıştır.

Çelik vd. [23] bir bankanın nakit yönetim merkezlerinin bankamatikler için nakit yükleme kararı alırken faydalanabilecekleri bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Sistemi stokastik periyodik gözden geçirmeli stok modeli ile ele almıştır. Problem çözümünde Wagner sezgisel yaklaşımını kullanmıştır. Ancak kullanılan modelde haftanın günleri arasındaki talep dalgalanmaları dikkate alınmamıştır.

Baker vd. [24] nakit lojistik (yükleme, arıza giderme) faaliyet maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan bir optimizasyon modülü önermiştir. ATM nakit yönetimini, stokastik stok kontrol problemi olarak ele almıştır. Bulunan sonuçları simülasyon ile

doğrulamıştır. Periyodik gözden geçirmeli stok modelinin, ATM nakit yönetimi problemi için uygun olmadığını değerlendirmiştir. Ancak Baker, çalışmasında oluşturduğu stok modelinde yok satma maliyetini (çekilemeyen her birim nakit başına kaybedilen kazanç + müşteri memnuniyetsizliği) göz ardı etmiştir. Ayrıca, her bir ATM'yi birbirlerinden bağımsız olarak ele almıştır. Zira, bir ATM ağı içerisinde ATM'ler birbirlerinden bağımsız değildir. Bir müşteri herhangi bir ATM'de nakit bulamadığında en yakında bulunan bir diğer ATM'ye gidebilir. Baker çalışmasında bu durumu da değinmemiştir.

Literatürde yapılan çalışmaların çeşitli yöntemler (Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma, İstatistiksel Veri Analizi) kullanarak müşteri davranışlarını tahmin etmek suretiyle optimal nakit yükleme stratejilerini belirleme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Stok kontrol modelleri kullanılarak da bir takım çalışmalar ortaya konmuştur ancak problem tam anlamı ile ele alınamamıştır. Bu çalışmada problem aşağıda ifade edilen farklılıklar ile ele alınmıştır:

- ATM'lerin lokal (tek bir ATM) optimizasyonundan ziyade, ATM'leri bir network (ağ) olarak değerlendirip, global optimizasyon hedeflenecektir.
- Veri analizinde, müşteri davranışlarının benzerlik gösterdiği üç aylık bir periyot değerlendirmeye alınmıştır. Yıllık, aylık ve haftalık mevsimsel etkilerden ziyade, sadece günlük etkiler one-way ANOVA yöntemi ile değerlendirilecek ve günler arasındaki ilişki belirlenecektir.
- Her bir ATM'den ziyade ATM ağının günlük nakit talebi hesaplanacak, ardından Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process - AHP) ile toplam ihtiyaç ATM'lere dağıtılacaktır.
- Stok modelinde, sipariş verme maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve yok satma maliyeti olmak üzere tüm maliyet parametreleri dikkate alınarak toplam maliyet minimize edilmeye çalışılacaktır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada problem çözümü için ATM'ler arasındaki nakit talep ve önem ağırlıkları için analitik hiyerarşi prosesi, nakitten kaynaklı toplam maliyeti minimize etmek maksadıyla stok kontrol modeli ve mevcut durumu ve farklı alternatifleri karşılaştırmak için simülasyon kullanılmıştır. Bu bölümde ilgili yöntemler anlatılacaktır.

#### 3.1. Stok Kontrol Modelleri

Bu bölümde problemin çözümünde kullanılan temel yöntem olan stok kontrol modelleri anlatılacaktır. Stok kontrol modelleri stok teorisi, stok maliyetleri, stok sistemlerinin terminolojisi, stok modellerinde talep karakteristikleri, deterministik stok modelleri ve stokastik stok modelleri başlıkları altında incelenecektir.

##### 3.1.1. Stok Teorisi

İşletmeler çeşitli sebeplerden dolayı stok bulundurma ihtiyacı hissederler. Bu sebeplerin başında, stok bulundurarak üretimin ve istihdamın daha kararlı hale getirilmesini sağlamak gelmektedir. Sistemde tutulan stoklar sistemin, talep miktarında ve teslim zamanlarında oluşabilecek gecikmeler sonucu karşılaşılabilecek satış maliyetlerini azaltır. Aşamalar arası bağımlılığı da azaltarak dar boğaz oluşumunu engellemek için de sistemde stok tutulur. Ayrıca, stoklar tüketiciyi satın almaya teşvik ettiği gibi, aynı zamanda spekülatif amaçların gerçekleştirilmesini de sağlar. Genel olarak işletmelerin stok bulundurmaları aşağıdaki sebeplere dayanır:

- İşletmelerin mali hedeflerini gerçekleştirebilmesini sağlar.
- Arz ve talebin dengelenmesini sağlar.
- Dalgalanmalara hızlı cevap verilmesini sağlar.
- Talep ve sipariş verme sürecindeki belirsizliklerden dolayı işletmenin kayba uğramasına engel olur.

Bununla birlikte stok bulundurma faaliyetine tüm sistemden bağımsız bir faaliyet olarak bakıldığında, işletmenin önemli maliyet kalemlerinden biri olarak karşımıza çıkacaktır.

Stok teorisinin amacı, stoktan kaynaklı maliyetleri minimize edecek ve müşterilerin talebini karşılayacak stok yönetim kurallarını belirlemektir. Stok modelleri iki soruya cevap arar [25]:

1. Bir ürün için ne zaman sipariş verilmeli?
2. Sipariş edilecek miktar ne kadar olmalı?

Birinci sorunun cevabı işletmenin stok yönetim sistemi ile ilgilidir, sektörden sektöre farklılıklar gösterebilir. Örneğin, bazı işletmeler için periyodik gözden geçirmeli stok modelleri uygun iken, bazıları için sürekli gözden geçirmeli stok modelleri daha uygundur. İkinci sorunun cevabını ekonomik sipariş miktarı modeli verir. Bu modele bir sonraki bölümde daha ayrıntılı biçimde değinilecek. Bu sorulara cevap verilirken dikkat edilecek iki önemli nokta vardır; maliyet ve müşteri memnuniyeti. Müşteri memnuniyetini maliyete dönüştürdüğümüzü varsaydığımızda elimizde kriter olarak sadece maliyet kalacaktır.

### **3.1.2. Stok Maliyetleri**

Stok kontrol modelleri genellikle üç farklı temel maliyet kalemi üzerine kuruludur [26]:

1. Elde Bulundurma Maliyeti
2. Yok Satma Maliyeti (Fırsat Maliyeti)
3. Sipariş Verme Maliyeti

Bu maliyetler detaylı olarak anlatılacaktır.

### 3.1.2.1. Elde Bulundurma Maliyeti

Stokları işlenecek ya da satılacak mekanlarda bulundurmanın maliyetidir. Çeşitli durumlarda, stoka bağlanan paranın faiz geliri kaçırılmış bir kazanç olduğundan, fırsat maliyeti olarak da tanımlanabilir. Faiz oranlarının yüksek olduğu durumlarda işletmeler elde bulundurma maliyetinin satın alma maliyetinin %20 ila %40'ı arasında olduğunu varsaymaktadır [27]. Sipariş verme maliyeti birkaç farklı bileşene ayrılabilir [25]:

- Fırsat maliyeti: Stoka bağlanan paranın faize yatırıldığında elde edilecek kayıp kazançtır.
- Depolama ve alan maliyeti: Stokları saklamak için ayrılan alan ve stoklama faaliyeti için katlanılan maliyetleri (kira, soğutma, ısıtma, enerji, vb.) ifade eder.
- Vergiler, sigorta ve bozulma maliyetleri: Bazı stoklar için özel vergileri, pahalı stoklar için sigorta maliyetlerini ve günlük stoklar (sebze, günlük süt, vb.) için katlanılan kayıpları ifade eder.
- Değer kaybı maliyeti: teknolojinin gelişmesi ve buna bağlı olarak gereksinimlerin ve pazar talebinin değişmesi sonucu elde bulunan ürünlerin talebinin azalmasını ifade eder.

### 3.1.2.2. Yok Satma Maliyeti

Müşteri taleplerinin karşılanamaması durumunda ortaya çıkan fırsat maliyetidir. Ayrıca müşteri memnuniyetsizliği de yok satma maliyeti olarak değerlendirilebilir [27]. Talep karşılanamadığında ortaya çıkan kayıp satışların getirdiği ve ödemelerin gecikmesinden kaynaklı fırsat maliyetlerinin, müşteri memnuniyetsizliği ve diğer yönetsel faaliyetlerinin oluşturduğu maliyetlerin toplamı olarak da ifade edilebilir. İki tür yok satma maliyeti vardır [28]:

1. Bir birim zaman gecikmeden kaynaklı yok satma maliyeti.
2. Bir birim ürün eksikliğinden kaynaklı yok satma maliyeti.

### **3.1.2.3. Sipariş Verme Maliyeti**

Her bir sipariş verildiğinde genellikle sipariş miktarından bağımsız olarak ortaya çıkan maliyettir. Sipariş verme maliyetinin bazı bileşenlerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [27]:

- Hazırlık maliyeti
- Yükleme-indirme maliyeti
- Taşıma maliyeti
- Araştırma maliyeti

Bazen bu maliyetleri detaylı olarak hesaplamak mümkün olamamaktadır, bundan dolayı sipariş verme maliyeti tüm bu maliyetlerin kombinasyonu olarak hesaplanır [27].

### **3.1.3. Stok Sistemlerinin Terminolojisi**

Stok sistemleri genellikle dört farklı temel kavram ile ifade edilir:

1. Talep
2. Gecikme zamanı ve yükleme hızı
3. Yeniden sipariş noktası
4. Güvenlik stoku

Bu kavramlar detaylı olarak anlatılacaktır.

#### **3.1.3.1. Talep**

Stok yönetimi kararları (politikalar, sipariş edilen miktarlar, vb.) gelecek dönem talepleri dikkate alınarak verilir. Talep; deterministik veya stokastik olabileceği gibi, statik ve dinamik de olabilir.



### 3.1.3.2. Gecikme Zamanı ve Yükleme Hızı

Siparişin verilme zamanı ile stoklanması arasında geçen süredir. Gecikme zamanı; deterministik veya stokastik olabileceği gibi, sabit veya zamanla değişken olabilir.

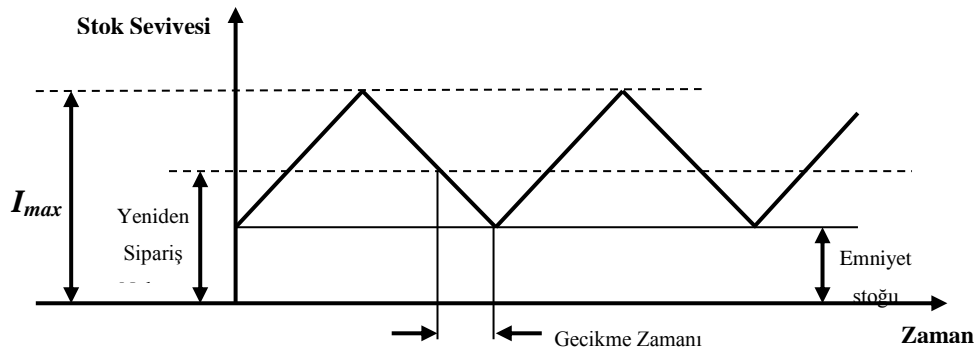
### 3.1.3.3. Yeniden Sipariş Noktası

Yeniden sipariş noktası, stok seviyesini belirli bir seviyeye çıkarmak için yeni bir siparişin verildiği stok seviyesidir. Gecikme zamanı ve talebin bir fonksiyonudur [27].

### 3.1.3.4. Emniyet Stoku

Emniyet stoku, talep ya da kaynak sağlama sürecinde meydana gelebilecek belirsizliklerden dolayı çıkabilecek yok satma durumunu engellemek için tutulan stoktur [29].

Tipik bir stok sisteminde maksimum stok kapasitesine ulaşıncaya kadar sipariş verilir. Bu noktada stok seviyesi maksimum seviyesine ulaşır. Talep, stok seviyesinin düşmesine sebep olur. Stok seviyesi yeniden sipariş noktasına ulaştığında yeniden sipariş verilir. Siparişler belirli bir gecikme zamanından sonra stoklara girmeye başlar. Döngü bu şekilde devam eder. Şekil 3.1.'de tipik bir stok sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tipik bir Stok Sistemi [25]

### 3.1.4. Stok Politikaları

Stok seviyesini kontrol etme (ne zaman ve ne kadar sipariş verilecek?) şekline göre en genel beş farklı stok politikası vardır [25]:

1. Periyodik gözden geçirmeli stok politikası
2. Maksimum stok seviyesine kadar yükleme politikası
3. Sürekli gözden geçirmeli stok politikası
4. Sabit yeniden sipariş noktası miktarı politikası
5. Temel stok politikası

#### 3.1.4.1. Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Politikası

Periyodik gözden geçirmeli stok politikasında, stok seviyesi birbirine eşit  $T$  zaman aralıkları ile gözlemlenir.  $T$ , gözden geçirme periyodunun süresini ifade etmektedir. Gözlem periyodu sonunda stok seviyesi kontrol edilir. Stok seviyesi yeniden sipariş noktasına eşit veya küçükse sipariş verilir. Verilen sipariş miktarı ile stok seviyesi maksimum noktaya ulaşmış olur [30].

$I_i$  =  $T_i$  periyodunun sonundaki stok seviyesi

$r$  = yeniden sipariş noktası

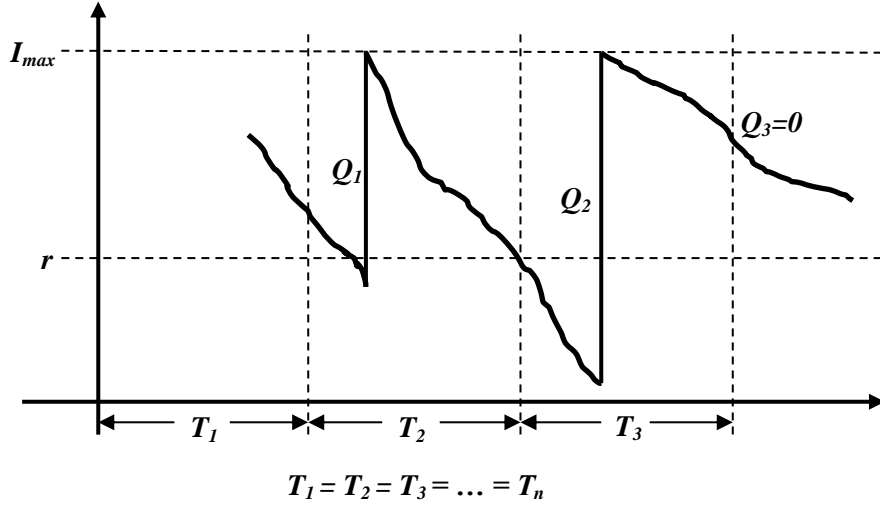
$I_{max}$  = maksimum stok seviyesi (hedef seviye)

$Q_i$  = sipariş miktarı

Bu durumda stok politikası aşağıdaki gibi olacaktır:

$$Q_i = \begin{cases} 0 & \text{eger } I_i > r \\ I_{max} - I_i & \text{eger } I_i \leq r \end{cases}$$

Bu politikayı tanımlamak için üç temel parametreye ihtiyaç vardır:  $I_{max}$ ,  $r$  ve  $T$ . Dolayısıyla stok maliyetlerinin minimize edilebilmesi için bu üç parametrenin optimal değerlerinin bulunması gerekir. Şekil 3.2.'te periyodik gözden geçirmeli stok politikası gösterilmektedir.



**Şekil 3.2.** Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Modeli [25]

### 3.1.4.2. Maksimum Stok Seviyesine Kadar Yükleme Politikası

Bu politika periyodik gözden geçirmeli stok politikasının özel ( $I_{max}$ ,  $r$ ,  $T$ ) bir halidir. Bu politikada yeniden sipariş noktası maksimum stok seviyesi olarak alınır [25]. Yani stok seviyesi her ne olursa olsun maksimum stok seviyesinden küçükse sipariş verilir. Bu stok politikası uygulandığında sipariş verme sayısı diğer periyodik gözden geçirmeli politikaya göre daha fazla olacaktır. Bu çalışmada, bu politika kısmi olarak kullanılacaktır.

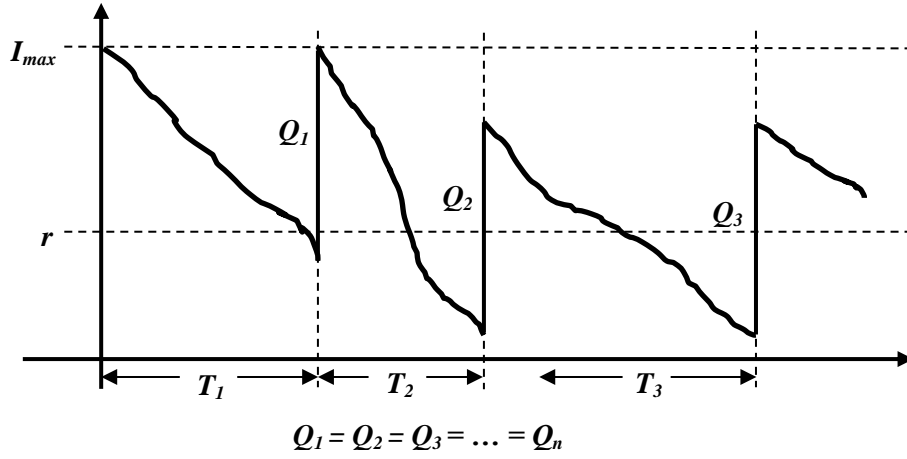
### 3.1.4.3. Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Politikası

Sürekli gözden geçirmeli stok sistemlerinin temeli stok seviyesinin sürekli olarak gözden geçirilmesine dayanır. Stoklar önceden belirlenmiş bir miktarın altına (yeniden sipariş noktası) düştüğü zaman sipariş verilir. Etkili bir modelidir, ancak doğru, güncel kayıtlar, hızlı mal taşıma ve güvenilir ilişkiler gerektirir. Politika, her zaman elde stok bulunması amacını güder. Stoklar, yeniden sipariş noktasının altına düştüğünde hemen yenilenir [27].

Sürekli gözden geçirmeli stok politikasında iki temel yaklaşım mevcuttur [31]:

1.  $(r, Q)$  politikası: Stok seviyesi yeniden sipariş noktasının  $(r)$  altına düştüğünde  $Q$  kadar sipariş verilir.
2.  $(r, R)$  politikası: Stok seviyesi yeniden sipariş noktasının  $(r)$  altına düştüğünde  $R-r$  kadar sipariş verilir.

Şekil 3.3.'te sürekli gözden geçirmeli stok politikası  $(r, Q)$  gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Politikası [25]

#### 3.1.4.4. Sabit Sipariş Miktarı Politikası

Bu stok politikası sürekli gözden geçirmeli stok politikası ile benzerlik göstermektedir. Farklı olarak bu politikada stok seviyesi sadece yeniden sipariş noktasının altına düştüğünde gözlemlenebilir. Gözlem gerçekleştiğinde  $Q$  kadar sipariş verilir.

### 3.1.4.5. Temel Stok Politikası

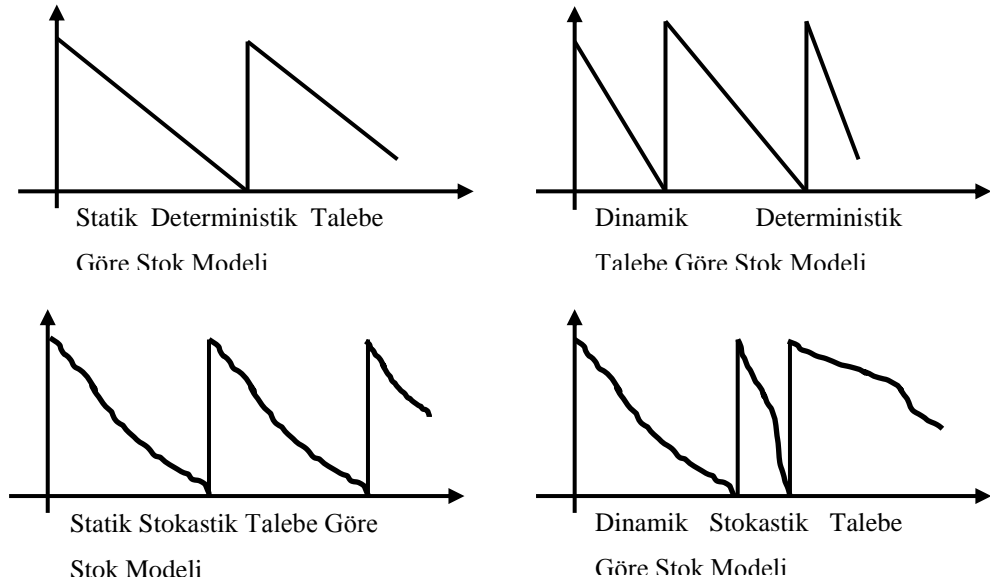
Temel stok politikasında yeniden sipariş noktası ile maksimum stok seviyesi aynı kabul edilir. Bunun sonucu olarak stok seviyesi sürekli olarak maksimum stok seviyesinde olur. Bunu sağlamak için stoktan her çekilen miktar kadar sipariş verilir ve stoklanır. Dolayısıyla stok seviyesi maksimum seviyede kalmaya devam eder.

### 3.1.5. Stok Modellerinde Talep Karakteristikleri

Talep ve gecikme zamanı tüm stok sistemlerinde en genel belirsizliklerdir. Stok modellerini talep yapısına göre aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz [25]:

1. Statik deterministik stok modelleri: Talebin sabit ve tüm periyotlar için aynı olduğu modellerdir.
2. Dinamik deterministik stok modelleri: Talebin sabit ancak periyotlar arasında farklılık gösterdiği modellerdir.
3. Statik stokastik stok modelleri: Talebin belirli bir olasılık dağılımına uyduğu ve bu dağılımın tüm periyotlar için aynı olduğu modellerdir.
4. Dinamik stokastik stok modelleri: Talebin belirli bir olasılık dağılımına uyduğu ve periyotlar arasında farklılık gösterdiği modellerdir.

Şekil 3.4.'te talep davranışlarına göre stok modelleri gösterilmektedir.



**Şekil 3.4.** Talebe Göre Stok Modelleri [25]

Bu çalışmada ATM’lerde bulunan nakite olan talep olasılıklı ve günler arasında farklılıklar gösterdiğinden dinamik stokastik stok modeli kullanılacaktır. Dolayısıyla dinamik stokastik stok kontrol modeli daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bir sonraki bölümde deterministik stok modelleri kısaca anlatılmıştır.

### 3.1.6. Deterministik Stok Kontrol Modelleri

Bu bölümde deterministik stok modellerinin genel özellikleri ve matematiksel yapısı özetlenecektir. Deterministik stok modelleri genellikle iki başlık altında incelenir [28]:

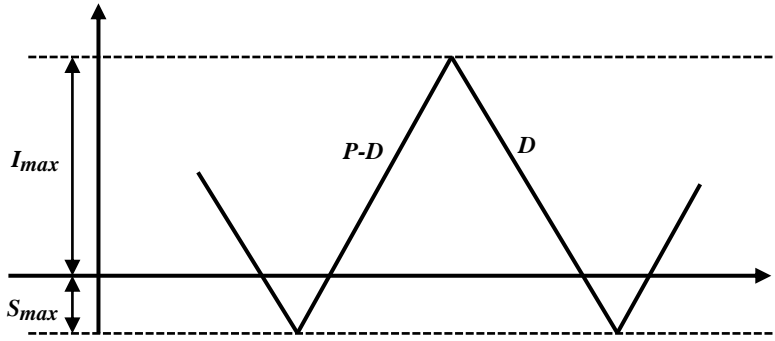
1. Tek-Ürün Modeli
2. Çok-Ürünlü Model

Bu modelleri özetle anlatılacak, matematiksel gösterimlere yer verilmeyecektir. Ayrıca, en temel deterministik stok modeli olan klasik ekonomik sipariş miktarı modelinin üzerinde durulacak, temel stok problemi mantığı ve hesaplamaları bu konu üzerinden anlatılacaktır. Ekonomik sipariş miktarı modelinin yalnızca deterministik

modellerde kullanılmadığı, stokastik stok modelleri için geliştirilmiş modellerinin olduğu da unutulmamalıdır.

### 3.1.6.1. Tek-Ürün Modeli

Bu modelde sabit bir  $D$  talebine sahip olan bir stok sistemi ele alınır. Üretim hızı  $P$  sınırlıdır. Bu analizin amacı, stok sisteminin yıllık toplam maliyetini minimize edecek optimal sipariş verme miktarı  $Q^*$  ve optimal maksimum yok satma miktarı  $S_{max}^*$  değerlerinin belirlenmesidir. Dolayısıyla bu stok modelinde karar değişkenleri  $Q^*$  ve  $S_{max}^*$  olacaktır. Şekil 3.5.'te modelin genel yapısı ve işleyişi gösterilmektedir.  $I_{max}$  maksimum stok seviyesini ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Tek-Ürün Modeli

### 3.1.6.2. Çok-Ürünlü Model

Gerçek hayatta stok sistemlerinin çoğunluğu birden fazla ürüne sahiptir. Tek-ürünlü stok sistemleri için optimal yeniden sipariş verme noktasının, optimal yok satma miktarının ve sipariş verme miktarının hesaplanması nispeten kolaydır. Ancak eğer stok sistemi birden fazla ürüne sahipse bu durumu biraz daha karmaşık hale getirmektedir. Bunun sebebi modeldeki kısıtların artmasıdır [27]. Çok-ürünlü stok sistemlerinde yıllık toplam stok maliyeti her bir ürünün bağımsız olarak hesaplanan

maliyetlerinin toplamıdır. Bu çalışmada kullanılan model tek-ürünlü stok modeli olduğunda bu stok modeli ile ilgili daha fazla ayrıntıya yer verilmeyecektir.

### 3.1.6.3. Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli

İlk kez 1915 yılında F. W. Harris of Westinghouse Corporation tarafından geliştirilen Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli (EOQ) en temel deterministik stok modelidir [27]. Geliştirilen ilk model olduğundan içerisinde bir takım varsayımlar barındırmaktadır. Dolayısıyla gerçek hayatı tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Ancak günümüzde bu varsayımların ortadan kaldırıldığı modeller geliştirilmiştir.

Klasik ekonomik sipariş miktarı modelinde amaç, sipariş verme maliyeti ve elde bulundurma maliyetinden oluşan toplam maliyeti minimum yapacak sipariş miktarının belirlenmesidir. Ekonomik sipariş miktarı modelinde toplam maliyet en temel anlamda aşağıdaki gibi formülize edilir:

$$TC = \frac{D}{Q} \cdot A + \frac{Q}{2} \cdot h \quad (3.1)$$

$TC$  = Toplam Maliyet

$Q$  = Sipariş Miktarı

$D$  = Talep

$A$  = Sipariş Verme Maliyeti

$h$  = Elde Bulundurma Maliyeti

Klasik ekonomik sipariş miktarı modelinin sahip olduğu varsayımlar aşağıdaki gibidir [32]:

1. Talep deterministiktir ve sabit bir hızla oluşur.
2. Hangi miktarda olursa olsun bir sipariş verildiğinde, sipariş verme maliyeti ( $A$ ) ortaya çıkar.
3. Tüm siparişler için gecikme zamanı sıfırdır.
4. Yok satmaya müsaade edilmemektedir.
5. Bir birimi bir yıl stokta bulundurmanın maliyeti  $h$  para birimidir.



Birinci varsayım,  $t$  dönemlik bir periyotta talebin her bir periyotta sabit ve  $D$  birim olduğunun ( $D_1=D, D_2=D, \dots, D_t=D$ ) kabul edilmesidir. İkinci varsayım, bir sipariş verildiğinde katlanılan maliyetin, sipariş miktarının büyüklüğüne bağlı olmadığını varsayılmasıdır. Üçüncü varsayım, siparişin verilir verilmez ulaştığının kabul edilmesidir. Dördüncü varsayım, tüm talebin zamanında karşılandığının varsayılmasıdır. Beşinci varsayım, bir birimin bir yıl boyunca stokta tutulması durumunda  $h$  para birim maliyete katlanılacağı ve bu maliyetin stokta tutulan miktar ile doğru orantılı olduğunun kabul edilmesidir. Örneğin,  $I$  birim ürünü  $T$  yıl stokta bulundurmanın maliyeti  $ITh$  olacaktır [27].

Optimal sipariş verme politikasının belirlemek maksadıyla toplam maliyet fonksiyonun sipariş miktarına göre türevi sıfıra eşitlenir [26]. Buradaki maksat, toplam maliyet grafiğinin en düşük noktasının tespit edilmesidir. Daha önce toplam maliyet fonksiyonu Eşitlik 3.1.'deki gibi elde edilmiştir.

Eşitlik 3.1'in  $Q$  'ya göre türevi alındığında:

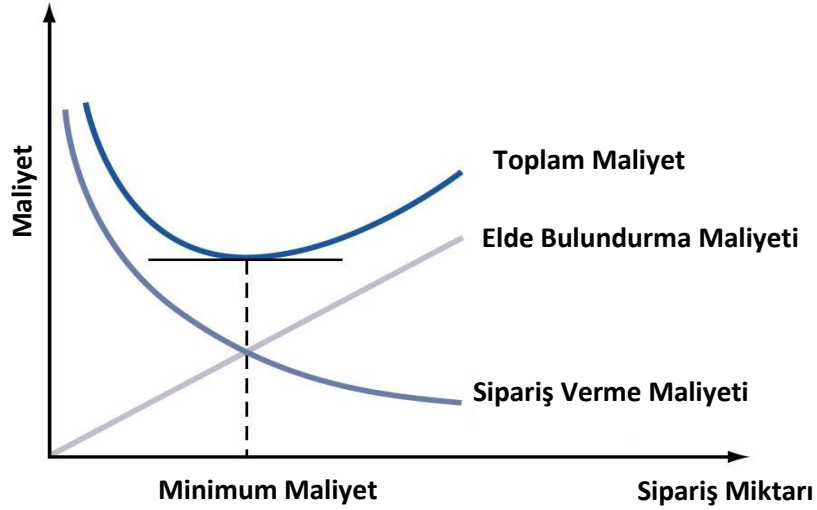
$$TC'(Q) = -\frac{AD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0 \quad (3.2)$$

elde edilecektir. Eşitlik 3.2'de  $Q$  yalnız bırakıldığında:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (3.3)$$

elde edilir.  $Q^*$ , toplam maliyeti minimum yapan ekonomik sipariş miktarını ifade eder.

Şekil 3.6.'da klasik ekonomik sipariş miktarı modeli grafiksel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Klasik Ekonomik Sipariş Miktarı Modeli [27]

### 3.1.7. Stokastik Stok Kontrol Modelleri

Deterministik stok modellerinde tüm parametrelerin kesinlik düzeyinde bilindiği varsayılmaktadır. Bununla birlikte gerçek hayat hiçbir zaman tam anlamıyla bilinemez. Gerçek hayatta talep, hayatın kendi rastsallığından ötürü çoğunlukla kesin değildir. Bir başka deyişle talep stokastiktir (olasılıklı). Aynı zamanda gecikme zamanı da genellikle stokastiktir. Dolayısıyla stokastik yapıdaki bir stok sistemindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmak için olasılık dağılımlarını kullanmak gerekir. Bu bölümde talep ve gecikme zamanı stokastik olan tek-ürünlü stok sistemleri anlatılacaktır. Stokastik stok kontrol modelleri genel olarak iki başlık altında incelenmektedir [33]:

1. Stokastik sürekli gözden geçirmeli stok kontrol modelleri
2. Stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modelleri

Bu çalışmada problem çözümü için stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli kullanılmıştır. Dolayısıyla bu model daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

### 3.1.7.1. Stokastik Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Kontrol Modelleri

Sürekli gözden geçirmeli stok modellerini daha önce stok seviyesinin sürekli gözlemlenerek daha önceden belirlenmiş yeniden sipariş noktasına eşitlendiği ya da bu noktanın altına düştüğü anda sipariş verilmesi süreci olarak tanımlamıştık. Bu modelde amaç yeniden sipariş noktası olan  $r$  ve ekonomik sipariş miktarı olan  $Q$  değerlerinin optimize edilerek toplam stok maliyetlerinin minimize edilmesini sağlamaktır. Stokastik stok kontrol modellerinde kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir [25]:

$D$  = ortalama talep hızı, birim/yıl

$h$  = birim başına elde bulundurma maliyeti

$W$  = birim başına yok satma maliyeti

$A$  = sipariş verme maliyeti

$x$  = gecikme zamanı boyunca gerçekleşen ortalama talep

$g(x, t)$  = gecikme zamanı boyunca gerçekleşen  $x$  talebinin durumsal olasılık dağılım fonksiyonu

$l(t)$  = gecikme zamanının olasılık dağılım fonksiyonu

$f(x)$  = gecikme zamanı boyunca gerçekleşen  $x$  talebinin olasılık dağılım fonksiyonu

$S(x)$  = yok satma miktarı

$\bar{S}(x)$  = beklenen ortalama yok satma miktarı

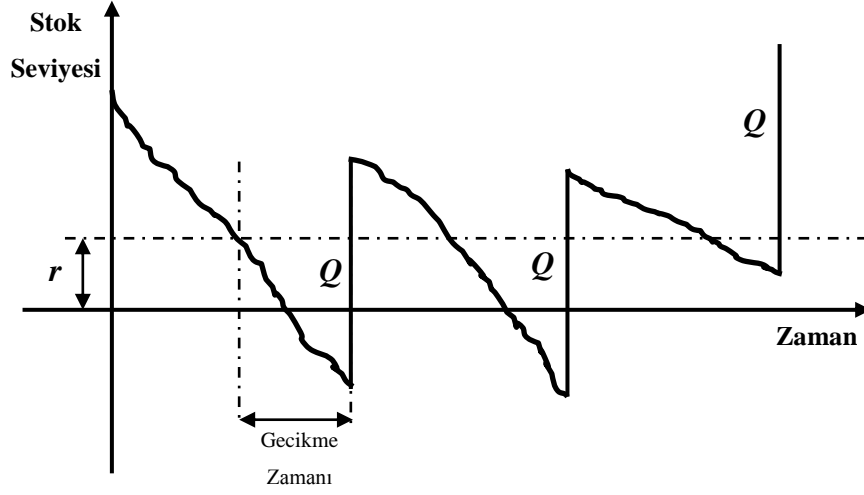
$E(x)$  = beklenen ortalama stok seviyesi

$N$  = verilen sipariş sayısı

$Q$  = ekonomik sipariş miktarı

$r$  = yeniden sipariş verme noktası

Şekil 3.7.'de stokastik sürekli gözden geçirmeli stok kontrol modelinin genel yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Stokastik Sürekli Gözden Geçirmeli Stok Modeli

Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir:

$$TC(Q,r) = \frac{AD}{Q} + h \left[ \frac{Q}{2} + r - E(x) \right] + \frac{WD}{Q} \bar{S}(x) \quad (3.4)$$

Burada optimal ekonomik sipariş miktarının hesaplanabilmesi için Eşitlik 3.4.'ün  $Q$  değerine göre birinci türevi alınır ve sıfıra eşitlenir. Bunun sonucunda optimal ekonomik sipariş miktarı aşağıdaki bağıntı ile elde edilir:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(A+W\bar{S}(x))}{h}} \quad (3.5)$$

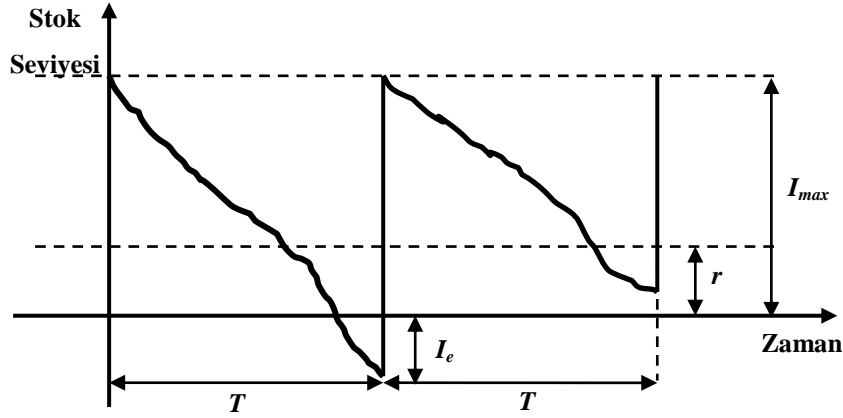
Optimal yeniden sipariş noktasının hesaplanabilmesi için Eşitlik 3.4'ün  $r$  değerine göre birinci türevi alınır ve sıfıra eşitlenir. Bunun sonucunda optimal yeniden sipariş noktası aşağıdaki bağıntı ile elde edilir:

$$\int_{r^*}^{\infty} f(x) dx = \frac{hQ^*}{WD} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'da  $Q^*$  ve  $r^*$  değerleri kesin olarak bulunamayabilir. Bu değerleri tam anlamıyla elde edebilmek için sayısal bir analiz algoritması kullanılmalıdır. Ancak gerekli görülmediği için bu kısma değinilmeyecektir.

### 3.1.7.2. Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Kontrol Modelleri

Bu bölümde, eşit  $T$  zaman aralıklarında yapılan gözden geçirmelerde stok seviyesinin yeniden sipariş noktası olan  $r$  değerine eşit veya altında olduğunda  $Q$  kadar siparişin verildiği stok politikası olan stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modelinden bahsedilecektir. Bu modelin uygulanmasında işletmelerin stok bulundurma yapısına göre çeşitli tipleri mevcuttur. Bu bölümde çalışmamızda kullanılan versiyonu olan her siparişte maksimum stok seviyesinde kadar sipariş verme politikası (order up to  $I_{max}$  policy) anlatılacaktır. Bu stok politikasının amacı yıllık toplam stok maliyetlerini minimize edecek optimal gözlem periyodu süresini ( $T^*$ ) ve optimal maksimum stok seviyesini ( $I_{max}$ ) belirlemektir. Şekil 3.8.'de her siparişte maksimum stok seviyesinde kadar sipariş verme politikası modelinin genel yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Her Siparişte Maksimum Stok Seviyesine Kadar Sipariş Verme Politikası

Stokastik sürekli gözden geçirmeli stok kontrol modelleri bölümünde verilen notasyona ek olarak aşağıdaki tanımlamalar kullanılacaktır:

- $V$  = gözden geçirme maliyeti
- $l$  = ortalama gecikme zamanı  $[\int l(t) dt]$
- $I_e$  = verilen sipariş ulaşmadan önce periyot sonunda elde bulunan stok miktarı
- $I_s$  = verilen sipariş ulaştıktan sonra periyot başlangıcında elde bulunan stok miktarı

Stok maliyetlerini modellemek için aşağıdaki süreç uygulanmıştır:

1. *Gözden geçirme ve sipariş verme maliyeti:* Her  $T$  periyodunda bir sipariş verildiğinde her yıl  $(1/T)$  kez gözden geçirme yapılacaktır. Talebin sürekli olduğu varsayıldığında yıllık toplam gözden geçirme ve sipariş verme maliyeti  $(V + A) / T$  olacaktır.
2. *Elde bulundurma maliyeti:* Periyot sonunda beklenen stok seviyesi:

$$\begin{aligned}
E[I_e] &= \int_0^{\infty} (I_{max} - x) g(x, l + T) dx \\
&+ \int_{I_{max}}^{\infty} (x - I_{max}) g(x, l + T) dx \\
&= I_{max} \int_0^{\infty} g(x, l + T) dx - \int_0^{\infty} x g(x, l + T) dx \\
&+ \int_{I_{max}}^{\infty} (x - I_{max}) g(x, l + T) dx \\
&= I_{max} - E[x, l + T] + \bar{S}(I_{max}, T) \\
E[I_e] &= I_{max} - D(l + T) + \bar{S}(I_{max}, T) \tag{3.7}
\end{aligned}$$

Burada,  $\bar{S}(I_{max}, T)$  periyot boyunca karşılanamayan talebi (yok satma miktarını) ifade etmektedir. Periyot başlangıcındaki stok seviyesi:

$$E[I_s] = E[I_e] + DT \tag{3.8}$$

Ortalama stok seviyesi ( $I$ ) ise şu şekilde elde edilir:

$$I = E[I_e] + \frac{I}{2}(E[I_s] - E[I_e])$$

$$I = I_{max} - Dl - \frac{I}{2}DT + \bar{S}(I_{max}, T) \quad (3.9)$$

Bu durumda ortalama elde bulundurma maliyeti:

$$hI = h \left[ I_{max} - Dl - \frac{I}{2}DT + \bar{S}(I_{max}, T) \right] \quad (3.10)$$

3. *Yok satma maliyeti:* yok satma sadece talebin mevcut stok seviyesinden fazla olduğu durumlarda ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla, yok satma miktarı:

$$\bar{S}(I_{max}, T) = \int_{I_{max}}^{\infty} (x - I_{max}) g(x, l + T) dx \quad (3.11)$$

Yok satmalardan kaynaklı yıllık ortalama maliyet:

$$\frac{W \bar{S}(I_{max}, T)}{T} \quad (3.12)$$

Yıllık toplam stok maliyeti, gözden geçirme ve sipariş verme maliyetine, elde bulundurma ve yok satma maliyetlerinin eklenmesi ile elde edilir:

$$TC(I_{max}, T) = \frac{V + A}{T} + h \left[ I_{max} - Dl - \frac{I}{2}DT + \bar{S}(I_{max}, T) \right]$$

$$+ \frac{W \bar{S}(I_{max}, T)}{T} \quad (3.13)$$

Verilen bir  $T$  değeri için optimal  $I_{max}$  değerlerini bulabilmek için Eşitlik 3.13'ün  $I_{max}$  ve  $T$  parametrelerine göre birinci dereceden türevinin

( $\partial TC(I_{max}, T)/\partial I_{max}$  ve  $\partial TC(I_{max}, T)/\partial T$ ) sifira eşitlenmesi ile elde edilen eşitliklerin birlikte çözülmesi gerekir:

$$\frac{\partial TC(I_{max}, T)}{\partial I_{max}} = h + \left( h + \frac{W}{T} \right) \frac{\partial}{\partial I_{max}} \bar{S}(I_{max}, T) = 0 \quad (3.14)$$

Buradan optimal  $I_{max}$  için aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\int_0^{I_{max}^*} g(x, l + T) dx = \frac{W}{W + hT} \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15 kullanılarak optimal  $I_{max}$  değerini elde etmek mümkündür. Ancak optimal gözlem periyodu süresinin ( $T$ ) bulunabilmesi için bulunan optimal  $I_{max}$  değerine bağlı olarak bir optimizasyon prosedürü izlenmelidir. Çalışma kapsamında, problem yapısından dolayı sabit bir gözlem periyodu seçileceğinden, bu prosedür anlatılmayacaktır.

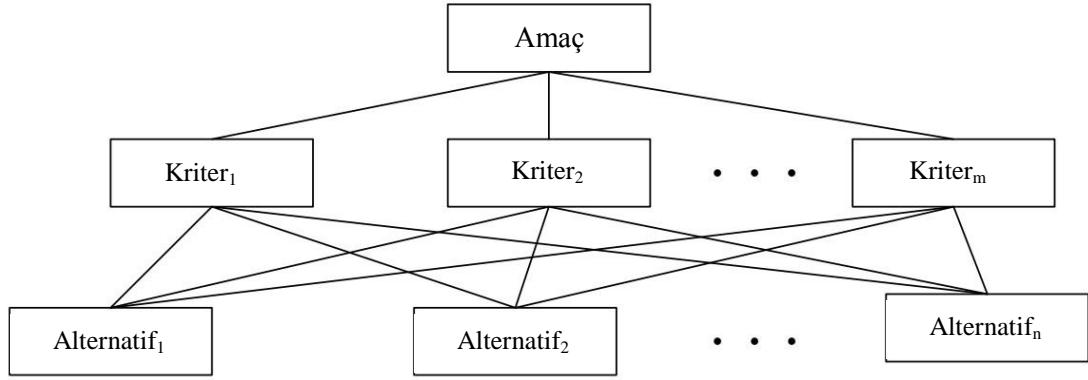
### 3.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi

1980 yılında Thomas Saaty [34] tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çok kriterli karar verme problemlerinde kriter veya alternatif kümelerinin görelî önemlerini derecelendirmek ve sıralamak için kullanılmaktadır. Bu teknik, somut nicel kriterlerin yanında soyut nitel kriterleri de değerlendirmelere dahil etme imkanı sağlamaktadır [35]. AHP yöntemi, modelin yapılandırılması, alternatif ve kriterlerin karşılaştırmalı değerlendirmesi ve tercihlerin sentezi olmak üzere üç önemli adımdan oluşmaktadır.

#### *Adım 1: Modelin yapılandırılması*

İlk adımda karmaşık karar problemi bir hiyerarşi olarak yapılandırılır. AHP başlangıçta birbiriyle ilişkili karar elemanlarının hiyerarşisi içinde karmaşık bir çok kriterli karar verme problemine ayrılır. Şekil 3.8.'de temel bir AHP hiyerarşisi modeli gösterilmektedir.





**Şekil 3.9.** AHP Hiyerarşisi

Hiyerarşi kullanımı karışık sistemlerle ilgilenmek için etkin bir yoldur. Hem sistem organizasyonuna olanak verdiği için yapısal olarak, hem de sistem içi bilgi kontrolü ve iletişimine olanak verdiği için fonksiyonel olarak etkindir [36].

*Adım 2: Alternatif ve kriterlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi*

İkinci adımda alternatifler ve kriterlerin karşılaştırılması yapılır. Problem ayrıştırıldıktan (decompose) ve hiyerarşi kurulduktan sonra, her bir seviyedeki kriterlerin önemlerini belirlemek için önceliklendirme prosedürü başlar. İkili değerlendirme ikinci seviyede başlar ve en düşük seviyede sonlanır [37]. AHP tekniğinde ikili karşılaştırmalar yapılırken Çizelge 3.1.'de sunulan standardize edilmiş dokuz seviyeli karşılaştırma ölçeği kullanılır.

**Çizelge 3.1.** Standardize Edilmiş Karşılaştırma Ölçeği

Tanım	Önem skala değeri
Eşit önemli	1
Biraz önemli	3
Kuvvetli derecede önemli	5
Çok kuvvetli derecede önemli	7
Kesin önemli	9
Ara değerler	2,4,6,8

Kriter sayısı  $m$  olan ikili karşılaştırma sonucu ( $m \times m$ ) boyutlu bir  $A$  değerlendirme matrisinde özetlenebilir. Bu matrisin her bir elemanı  $a_{ij}$  ( $i, j=1, 2, \dots, m$ ) Eşitlik 3.16'da gösterilen kriter ağırlıklarıdır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix}, \quad a_{ii}=1, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ij} \neq 0. \quad (3.16)$$

Değerlendirme matrisi, kriterlerin birbirlerine göre önem seviyelerini belirli bir mantık içerisinde gösterir. Ancak bu kriterlerin bütün içerisindeki ağırlıklarını, diğer bir deyişle yüzde önem dağılımlarını belirlemek için, değerlendirme matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılır ve  $m$  adet ve  $m$  bileşenli  $B$  sütun vektörü oluşturulur.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{m1} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

$B$  sütun vektörünün hesaplanmasında Eşitlik 3.18 formül kullanılır:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (3.18)$$

$B$  sütun vektörü her bir kriter için ayrı ayrı oluşturulacaktır. Bu durumda  $m$  tane  $B$  sütun vektörü elde edilmiş olacaktır. Bulunan  $m$  tane  $B$  sütun vektörü birleştirilerek  $C$  matrisi bulunur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

C matrisi kullanılarak kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini gösteren yüzde önem dağılımları (sağ özvektör) elde edilir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Sağ özvektör Eşitlik 3.21 ile bulunur.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m c_{ij}}{m} \quad (3.21)$$

### Adım 3: Tercihlerin sentezi

Son adımda, matematiksel proses normalize etmek ve her bir matrisin görelî ağırlıklarını bulmak için işletilir. Burada  $A$  vektörü ile  $W$  sütun vektörü çarpılarak  $D$  sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Aşağıdaki formüllerde de tanımlandığı gibi  $D$  sütun vektörü ile  $W$  sütun vektörünün elemanlarının karşılıklı elemanlarının oranlanması ile  $E$  vektörü (değerlendirme kriterine ilişkin temel değer) hesaplanır. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ise  $\lambda_{\max}$  değerini buldurur.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.23)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (3.24)$$

Eğer ikili karşılaştırmalar tamamıyla tutarlı ise  $A$  matrisi 1 derecesine sahiptir ve  $\lambda_{\max}=m$  olur. Bu durumda ağırlıklar  $A$ 'nın satır veya sütunlarının normalizasyonu ile elde edilir [38].

AHP tekniğinin çıktı kalitesi ikili karşılaştırma değerlendirmelerinin tutarlılığı ile sıkı bir ilişki içerisindedir. Tutarlılık  $A: a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$  girişlerinin arasındaki ilişki ile tanımlanır. Tutarlılık indeksi (CI) Eşitlik 3.25'teki gibi hesaplanır:

$$CI = (\lambda_{\max} - m)/(m - 1). \quad (3.25)$$

Nihai tutarlılık oranı (CR), CI'nın rastsal indekse (RI) oranı olarak Eşitlik 3.26'daki gibi hesaplanır:

$$CR = CI / RI \quad (3.26)$$

**Çizelge 3.2.** Alternatif Sayısına Göre Rastsal İndeks Değerleri

<b>N</b>	<b>RI</b>	<b>N</b>	<b>RI</b>	<b>N</b>	<b>RI</b>
<b>1</b>	0	<b>5</b>	1,12	<b>9</b>	1,45
<b>2</b>	0	<b>6</b>	1,24	<b>10</b>	1,49
<b>3</b>	0,58	<b>7</b>	1,32	<b>11</b>	1,51
<b>4</b>	0,90	<b>8</b>	1,41	<b>12</b>	1,48

Eğer CR 0,1'den küçük eşitse değerlendirmelerin tutarlılığı kabul edilebilir seviyededir. Ancak CR 0,1'den büyükse tutarlılığın geliştirilmesi için değerlendirmelerin tekrar yapılması gerekmektedir. Tutarlılığın ölçümü tüm hiyerarşinin tutarlılığı kadar karar vericilerin tutarlılığını değerlendirmek için de kullanılmaktadır.

#### Adım 4: Karar

İlk 3 adımda, hem kriterlerin kendi aralarındaki önem derecesini ifade eden sağ özvektör ( $W_K$ ), hem de her bir kriter için alternatiflerin birbirlerine göre önem ağırlıklarını gösteren özvektörler ( $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7$ ) hesaplanmıştır. Bundan sonra, her bir kriter için alternatiflerin birbirlerine göre önem ağırlıklarını gösteren özvektörler birleştirilerek Eşitlik 3.27'deki  $W_A$  elde edilir.

$$W_A = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \dots & w_{m1} \\ w_{12} & w_{22} & \dots & w_{m2} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_{1n} & w_{2n} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Son olarak,  $W_A$  matrisi ile  $W_K$  sütun vektörü çarpılarak, karar vektörü olan  $K$  (alternatiflerin birbirlerine göre yüzde ağırlıkları) sütun vektörü Eşitlik 3.28'deki gibi elde edilir [39].

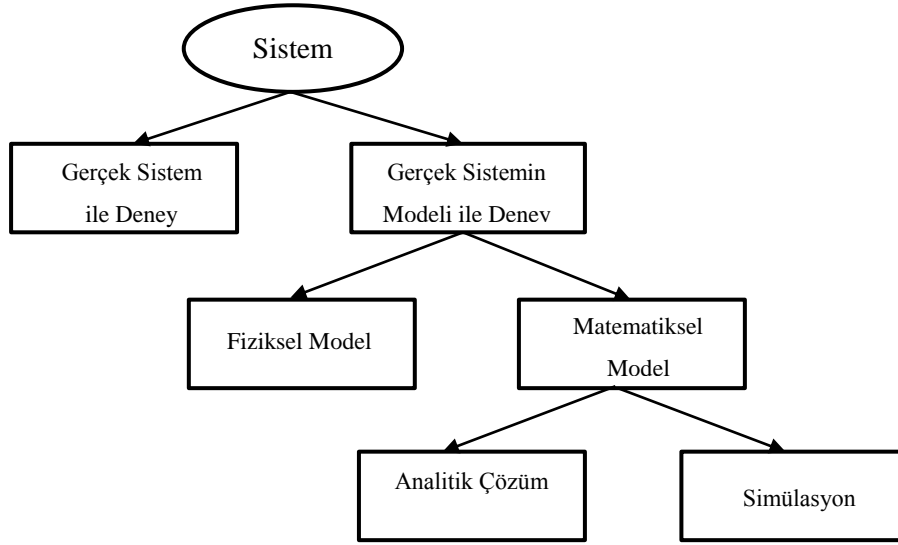
$$K = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} & \dots & w_{m1} \\ w_{12} & w_{22} & \dots & w_{m2} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_{1n} & w_{2n} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_{K1} \\ w_{K2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_{Kn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{A1} \\ w_{A2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_{An} \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

### 3.3. Simülasyon

Bu bölümde AHP ve stok kontrol modeli ile elde edilen sonuçlar kullanılarak mevcut ve önerilen modellerin karşılaştırılmasında kullanılan simülasyon yöntemi anlatılacaktır.

### 3.3.1. Simülasyon Nedir

Simülasyonun tanımı yapılmadan önce model kavramının tanımı yapılmalıdır. Model, bir sistemin veya nesnenin temsil edilmiş halidir. Gerçeği yerine kullandığımız her şeyi de model olarak tanımlayabiliriz. Simülasyon ise modellerin harekete geçirilmiş halleridir. Bir başka deyişle model bir sistemin temsil edilmesi, simülasyon ise bu sistemin zamana bağlı olarak işletilmesidir veya oynatılmasıdır. Ayrıca simülasyon gerçek bir sistemi analiz ve optimize etmenin en etkin yollarından biridir. Şekil 3.8.'de bir sistemin analizinde simülasyonun hangi aşamada kullanıldığı gösterilmektedir [40].



Şekil 3.10. Sistem Analizi

Simülasyonun bir çok ve çeşitli uygulama alanı bulunmaktadır. Aşağıda simülasyonun güçlü bir çözüm aracı olarak kullanıldığı problem tipleri verilmiştir [41]:

- Üretim sistemlerinin tasarımı ve analizi
- Askeri silah sistemlerinin ve bu silah sistemlerinin lojistik ihtiyaçlarının değerlendirilmesi
- Bir bilgisayar sistemi için donanım ve yazılım ihtiyaçlarının belirlenmesi

- Hava, kara ve deniz yolu lojistik faaliyetlerinde kullanılan sistemlerin tasarımı
- Hizmet sektöründeki işletmelerin (hastane, banka, çağrı merkezi, vb.) süreç tasarımlarının belirlenmesi
- Finansal ve ekonomik sistemlerin analizi
- Bir stok sistemi için sipariş verme politikalarının belirlenmesi

Simülasyon en sık kullanılan yöneylem araştırması ve yönetim bilimleri tekniklerinden bir tanesidir [41]. Her yıl binlerce akademisyenin katılımıyla gerçekleşen simülasyon konferanslarına bakarak bu durum kolayca anlaşılabilir.

### **3.3.2. Simülasyonun Kullanım Amaçları**

Simülasyon temel olarak aşağıdaki maksatlar için kullanılır [42]:

- Mevcut bir sistemi analiz etmek
- Mevcut sistem üzerinden alternatif sistemler geliştirmek
- Mevcut olmayan bir sistemi tasarlamak
- Zaman tasarrufu (mevcut bir sistemin gözlemlenmesi uzun bir zaman alıyorsa)
- Maliyetleri azaltmak (mevcut bir sistemi gözlemlemek çok maliyetli ise)
- Güvenlik (mevcut bir sistemi gözlemlemek risk taşıyorsa)

Simülasyon ancak doğru problem yapısında ve doğru durumlarda kullanıldığında faydalı bir araçtır. Bunun dışında simülasyon fayda yerine zarar getirecektir.

Simülasyon kullanımını gerektiren durumlar şu şekilde özetlenebilir [43]:

- Problemin analitik bir formülasyonu yoksa
- Analitik yöntemler kullanılabilir ancak karmaşık olması
- Analiz edilen sistemin işleyişinin gözlemlenmesi isteniyorsa
- Gerçek sistemin gözlemlenmesinde güçlükler varsa
- Uzun zaman alan sistemlerin işleyişinde zaman üzerinde oynamak gerektiğinde

### 3.3.3. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Etkin bir çözüm yöntemi olan simülasyonun, birçok avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

- Simülasyonun Avantajları:
  - Simülasyon; yeni politikalar, parametreler veya çalışma koşullarının denemesine imkan sağlayarak sistem performansının bu yeni koşullar için tahmini sağlar.
  - Alternatif tasarımların birbiri ile karşılaştırılmasını mümkün kılar.
  - Gerçek sistemin rahatsız edilmeden, bozulmadan, tehlikeye atılmadan denenmesi sağlar.
  - İncelenen sistemin farklı zaman akışlarında ele alınması mümkündür.
  - Matematiksel olarak modellemenin çok zor olduğu stokastik (olasılıklı) yapıdaki sistemlerin rahatça modellenmesini sağlar.
  - Analitik çözümlerin doğruluğunu geçерlemek maksadıyla kullanılabilir.
  - Girdi parametrelerindeki değişikliklere hızlı cevap verebildiği için etkin duyarlılık analizi yapılmasına imkan sağlar.
  
- Simülasyonun Dezavantajları:
  - Simülasyon modelleri pahalı ve geliştirilmesi zor modellerdir.
  - Simülasyon modellerinin stokastik yapısı, gerçek sistemle ilgili ancak tahminlerde bulunmayı sağlar.
  - Denemeler neticesinde alternatif çözümler karşılaştırılır ve alternatif çözümler arasından en iyisi seçilir. Tüm alternatifleri denemek mümkün değildir. Bununla birlikte bu konuda çalışmalar devam etmekte ve simülasyon programlarına ek yamalar yapılarak optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır.
  - Simülasyon modelleri probleme ilişkin en iyi çözümü bulmak yerine alternatif çözümleri karşılaştırır.
  - Simülasyon sonuçlarının incelenen sistemi doğru yansıtması için modelin geçerliliği çok önemlidir.



- Hatalı veri kullanıldığında simülasyon fayda yerine zarar getirir. Dolayısıyla veri güvenilirliği çok önemlidir.
- Simülasyonda bilgisayara olan bağımlılık, çalışmanın uzun sürmesine ve pahalı olmasına neden olur.

### 3.3.4. Simülasyon Modeli Geliştirme Aşamaları

Simülasyon modeli geliştirme aşamaları, bilimsel problem çözme metodu aşamaları ile benzerlik göstermektedir. Buna bağlı olarak simülasyon modeli oluşturma aşamaları ve ilgili açıklamalar aşağıda verilmektedir:

1. *Problemin tanımlanması:* Problemin yapısının, amacının, kapsamının tanımlandığı aşamadır.
2. *Verilerin toplanması:* En fazla vakit alan aşamadır. Doğru ve yeterli veriyi toplamak zor bir iştir, dolayısıyla amaca uygun, kapsamı tanımlanmış veri toplanması çok önemlidir. Toplanan veriler girdi analizi yapılmak suretiyle modele aktarılmalıdır.
3. *Modelin kurulması:* her ne kadar elle simülasyon yapılabilse de günümüzde sistemlerin karmaşıklığı ve teknolojinin ilerlemesi sebebiyle modelin kurulması için paket programlar kullanılmaktadır.
4. *Modelin çözümü:* Kullanılan paket program yardımıyla mevcut durum ve alternatifler için çözümler elde edilir. Bu çözümler çıktı analizi ile değerlendirilmeli ve uygunluğu test edilmelidir.
5. *Doğrulama ve geçirme:* Elde edilen sonuçlara bakarak modelin gerçeği ne oranda yansıttığının ve istenildiği gibi kurulup kurulmadığının analiz edildiği aşamadır.
6. *Uygulama:* Model gerçeğe uygun ve istenilen model kurulabilmiş ise, model çözümünden bulunan sonuçlar gerçek sisteme uygulanmalı ve sistem belli bir süre kontrol edilerek sağlıklı çalıştığından emin olunmalıdır.

### 3.3.5. Girdi Analizi

Bir simülasyon modelinde sistemi gözlemlemek ve buna ilişkin veri toplamak en önemli faaliyetlerden biridir. İyi toplanmış verilerden oluşan bir simülasyon modeli her zaman daha faydalı ve güçlüdür. Bununla birlikte toplanan verilerin simülasyon modelinde kullanılabilmesi için girdi analizi sürecinden geçmesi gereklidir.

Girdi analizi, verilerin toplanması ile başlar, olasılık, istatistik ve analiz ile sonuçlanır. Zaman etüdü analizi, iş örnekleme, geçmiş veriler ve otomatik toplanan veriler gibi bir çok veri toplama yöntemi mevcuttur. Literatürde girdi analizi için genellikle geçmiş veriler ve otomatik toplanan veriler kullanılmaktadır. Bununla birlikte veri toplama yönteminin problemin yapısına göre değişkenlik göstereceği de unutulmamalıdır.

Girdi analizi yapılırken karşılaşılabilecek en büyük problem sistemin stokastik bir yapıda olmasıdır. Zira gerçek hayat problemlerinin neredeyse tamamı stokastik bir yapıdadır. Stokastik veriler her zaman tam anlamıyla anlaşılabilir. Bu da simülasyon modeli kurulurken gerçekçiliğin azalmasına sebebiyet verebilir. Model tasarlanırken stokastik yapıdaki sistemlerin bu durumu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bir sistemde stokastik yapıda olabilecek bazı olaylar şunlardır:

- Varışlar arası zamanlar
- Hizmet zamanları
- Talep miktarları
- Makine arıza zamanları
- Makine ayar zamanları
- İşlem süreleri

Veri toplamak ve analiz etmek planlı yapılması gereken bir faaliyettir. Dolayısıyla girdi analizi için sistematik bir süreç izlenmelidir. Tipik bir girdi analizi aşağıdaki aşamaları izler [44]:

1. *Modellenen sürecin/sistemin tanımlanması:* Sistemde bulunan rastsal değişkenlerin tanımlandığı adımdır.
2. *Veri toplama için tasarım geliştirilmesi ve veri toplanması:* Verinin nasıl toplanacağı ve veri toplama işlemine başlanacak adımdır.
3. *Veri için grafiksel ve istatistiksel analizlerin yapılması:* Standart istatistiksel araçlar kullanılarak verinin işlendiği aşamadır. Bu adımda paket programlar kullanılarak veriye ait histogram grafikleri, zaman serisi grafikleri, otokorelasyon grafikleri, vb. çizilir. Ardından veriye ait örnek ortalaması, örnek varyansı, minimum nokta, maksimum nokta, vb. temel parametreler hesaplanır.
4. *Dağılımlar için hipotez testlerinin kurulması:* Veri, muhtemel olasılık dağılımları ile uygunluk testlerine tabi tutulur.
5. *Parametre tahmini:* Parametre tahmini yapabilmek için verilerin uyması mümkün olan dağılımlar daha önceden belirlenmelidir. Uygunluğu kanıtlanmış bir dağılım test edildikten sonra ilgili dağılıma ait parametreler hesaplanabilir.
6. *Hipotez testlerine tabi tutulan dağılımlarının uyum iyiliği testlerinin yapılması:* Bu adımda, verilerin hipotez için tercih edilen dağılıma iyi seviyede uyup uymadığı kontrol edilir. Bu testler grafik olarak (P-P plot, Q-Q plot) yapılabileceği gibi, istatistiksel testler (Ki-Kare, Komogorov-Simirnov) ile de yapılabilir.

Bu çalışmada girdi analizi için ARENA 14 programının Input Analyzer modülü, MiniTab 16 paket programı kullanılmıştır. Verilerin analiz biçimi uygulama bölümünde ayrıntılı biçimde anlatılmıştır.

### **3.3.6. Çıktı Analizi**

Bir sistem modellendiğinde simülasyon çıktısı olarak hedeflenen bazı değerlerin ve parametrelerin elde edilmesi arzu edilir. Hedefler, simülasyon sonuçlarının nasıl analiz edilmesi gerektiğini belirler. Çıktı analizinde hesaplanması amaçlanan bazı değerler aşağıda verilmiştir:

- Bir varlığın sistemde geçirdiği ortalama süre
- Ortalama işlem süresi
- Kaynak kullanım oranları
- Ortalama kuyrukta bekleme süresi
- Sistemden ayrılan varlık sayısı

Çıktı analizinin daha sağlıklı yapılabilmesi için simülasyonlar iki ana başlık altında incelenmelidir [41]:

- *Bitişli Simülasyonlar:* Bitişli bir simülasyonda, simülasyonun sona ermesi için bitiş zamanı veya koşulu tanımlanmalıdır. Literatürde, **terminating simulations** olarak bilinmektedir. Bitişli simülasyonların yapılabilmesi için aşağıdaki parametreler belirlenmelidir:

- Modelin başlama zamanı
- Modelin bitiş zamanı veya bitiş şartı
- Tekrar sayısı

Bitişli simülasyonlara örnek olarak aşağıdaki sistemleri verebiliriz:

- Banka: Banka saat 09:00'da açılır ve saat 17:00'da kapanır.
- Muharebe: Birlik mevcudu kritik orana ulaşan taraf muharebenden çekilir.
- Fabrika: Tek vardiya ile çalışan bir fabrikada iş başı saati saat 08:00, iş bırakma saati 18:00'dır.

- *Bitişsiz Simülasyonlar:* Bitişsiz bir simülasyonda tanımlanmış bir bitiş zamanı veya koşulu yoktur. Planlama periyodu hayat boyu veya sonuz olarak ifade edilir. Ancak pratikte mutlaka bir sonu vardır. Genellikle **steady-state simulations** olarak isimlendirilirler. Bitişsiz simülasyonlara örnek olarak aşağıdaki sistemleri verebiliriz [41]:

- Fabrika: Üç vardiya ile çalışan bir fabrika günün 24 saati fiili olarak üretim yapar.
- Hastane: Hastanelerin acil servisleri 7 gün 24 saat hizmet vermektedir.
- Telekomünikasyon: Haberleşme sistemleri günün her saati aktiftir.

Bitişsiz simülasyonlarda ele alınması gereken en önemli hususlardan birisi ısınma periyodunun belirlenmesidir. Isınma periyodu, sistemde rastsallıktan kaynaklı değişkenliğin dengeye ulaştığı süredir. Isınma periyodu süresinde toplanan veriler sistemden atılarak başlangıç koşullarının yanıltıcılığı ortadan kaldırılır ve sistemin kararlı hale gelmesi sağlanır [45].

Ayrıca, çıktı analizinde sağlıklı sonuçların alınabilmesi için simülasyonun minimum tekrar sayısının (replication number) hesaplanması gerekmektedir. Stokastik yapıdaki bir sistemde gerekli olan sayıdan daha az tekrar yapıldığında elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Problem Tanımı

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ATM nakit yönetimi ve optimizasyonu problemi için farklı bakış açılarının geliştirildiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar problemi temel olarak beş farklı açıdan ele almıştır:

1. Müşteri davranışları
2. ATM sayıları
3. ATM konumları
4. ATM'lerin servis ve bakım hizmetleri
5. ATM'lerde bulundurulması gereken optimum nakit miktarı

Bu bölümde problem yaklaşımları literatürde ele alınan şekilleriyle anlatılacaktır.

#### 4.1.1. Müşteri Davranışları

Optimal olmayan nakit yönetimi ile yapılan bir planlama sonucu nakit talep tahminleri gerçek talebin altında kaldığında düşük kalite hizmet, dolayısıyla müşteri memnuniyetsizliği ortaya çıkacak, nakit talep tahminleri gerçek talebin üzerinde olduğunda gereksiz maliyetlere katlanmak zorunda kalınacaktır. Dolayısıyla, nakit stok miktarları ile nakit talebinin dengelenmesi problemin çözümü adına önemli bir adımdır [8].

Müşteri davranışları, ATM'lerde bulundurulması gerekli olan optimal nakit miktarını belirleyecek en önemli parametrelerden biri olduğundan, doğru analiz edilmesi problemin sağlıklı çözülebilmesi açısından çok önemlidir.

Müşteri davranışları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların ortak bulgusu; ATM nakit talebinin stokastik, aşırı dalgalanma gösteren ve tutarsız

yapıda olduğudur. Bundan dolayı tahminleme yapılırken gelişmiş tahmin algoritmaları (Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma, vb.) kullanılmaktadır.

ATM nakit çekim miktarları, yıl bazında bakıldığında periyodik ve periyodik olmayan dalgalanmalar gösterir. Bu dalgalanmalara sebep olan birçok faktör vardır. Bu faktörler genel olarak “takvimsel etkiler” olarak adlandırılır [19].

Takvimsel etkiler, birçok ekonomik parametre ile doğrudan veya doğrudan olmayan biçimde bağlantılı olduğundan ekonomi için önemli bir değişkendir. Dolayısıyla, ekonomik değişkenler takvimsel etkilerin tesiri altında kalır. Takvimsel etkilerden kasıt; günlük, haftalık, aylık ve diğer etkilerdir. Bunların yanında tatiller, dini ve milli bayramlar da takvimsel etkiler kapsamındadır [19].

Haftalık tatil günleri, kamu ve sivil işletmelerin maaş ödeme haftaları, tatil dönemleri ve özel zamanlar (dini milli bayram, yılbaşı, vb.) ülkeden ülkeye farklılıklar arz etmektedir. Buna bağlı olarak takvimsel etkiler ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye farklı davranış biçimleri ve döngüler izler.

Bu döngüler içerisinde ATM’lerden çekilen nakit miktarları diğer bir deyişle nakite olan talep farklı dağılımlar gösterir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu döngüler aşağıdaki gibi belirtilmiştir [19]:

- i. Haftanın günleri: Bu etki, nakit çekimlerinde haftanın tüm günlerinin aynı olmadığını varsayar. Birçok ülkede hafta sonları ATM kullanımlarında anlamlı bir artış vardır. Cumartesi günleri ATM’lerden yapılan nakit çekim miktarları zirveye çıkar. Cuma günleri başlayan bu artış pazar gününe kadar devam eder. Türkiye’de de benzer bir eğilim mevcuttur.
- ii. Ayın haftaları: Bu etki, çalışan ve emekli maaşlarının yatırıldığı haftalarda ATM nakit çekimlerinin arttığını varsayar. Ödeme günleri ülkeden ülkeye çoğu zaman farklılık gösterir. Türkiye’de çalışanların maaş ödemeleri kamu sektöründe ayın üçüncü haftasında, özel sektörde genellikle ayın birinci haftasında yapılır. Emekli maaşı ödemeleri ayın üçüncü ve dördünü ayına yayılarak yapılır.

- iii. Yılın ayları: Bu etki, bazı aylarda nakit çekimlerinin diğer aylara göre farklılık gösterdiğini varsayar. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de, yaz mevsiminde ATM kullanımının arttığı tespit edilmiştir. Bunun en önemli sebebi, insanların yaz aylarında harcama eğilimlerinin ve imkanlarının fazla olmasıdır.
- iv. Tatiller: Bu etki, yeni yıl, yaz-kış tatil zamanları, dini bayramlar... vb. özel zamanlarda nakit çekimlerinin arttığını varsayar. Türkiye’de özellikle dini bayramlarda nakite olan talebin arttığı görülmektedir. Bilindiği gibi dini bayramların zamanları her yıl değişmektedir. Bu durum sağlıklı analiz yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Verilen bilgilerden de anlaşılacağı üzere ATM nakit talep tahminlemesi çok fazla parametreye ve değişkenliğe sahip olduğundan zor bir süreçtir.

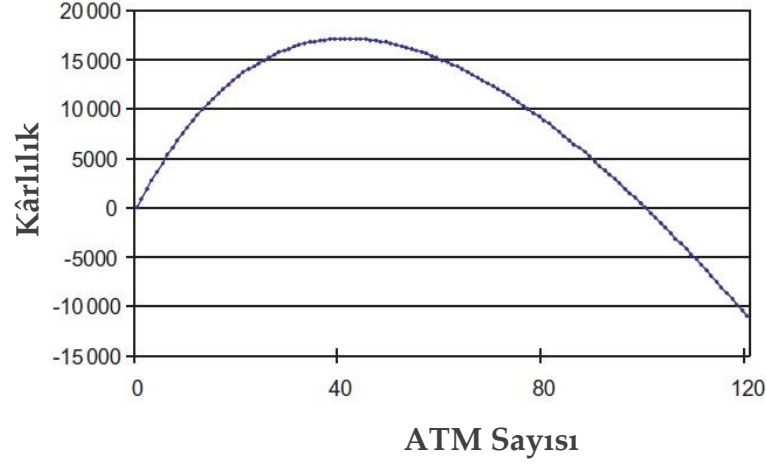
Genelde, tahmin temelli nakit yönetimi, talebin stokastik olarak modellenmesi üzerine kuruludur. Fakat bu yaklaşım talebin aşırı dalgalandığı durumlarda yetersiz kalmaktadır [8]. Bu çalışmada, nakit tahminleme süreci yüzeysel olarak uygulanacak, optimal yükleme stratejilerini belirlemek için stok teorisi kullanılacaktır.

#### **4.1.2. ATM Sayıları**

Bir bankanın sahip olduğu ATM sayısı nakite olan talebi doğrudan etkilemektedir. Nakite olan talebin artması ya da azalması da bankanın kârlılığını etkileyecektir. Dolayısıyla, ATM sayısı bankanın maliyetlerini bunun yanında da kârlılığını etkileyecektir. 2009 yılında Snellman H. ve Viren M. [18] tarafından, “bankaların sahip oldukları ATM sayılarının kârlılıklarına etkisi” konulu bir çalışma yapılmıştır. Çalışmaya göre, ATM sayısının artması nakite olan talebi arttırmaktadır. Bununla birlikte, ATM sayısı müşteri memnuniyetini de arttırmaktadır. Ancak, ATM sayısı belirli bir seviyenin üzerine çıktığında ATM işletim maliyetleri, ATM’lerden elde edilen kazanımı aşmaktadır. Bu durum bankanın ATM işletiminden dolayı zarar etmesine sebep olmaktadır. Halbuki optimal ATM sayısı belirlenmek suretiyle hem müşteri memnuniyeti sağlanabilir, hem de bu hizmetten kâr elde edilebilir.



Çalışmada bu konu incelenmiş ve William Baumol'ün [9] stok teorisi tabanlı Baumol modeli kullanılarak seçilen bir bankaya ait ATM sayısı ile kârlılık arasındaki ilişki Şekil 4.1.'deki gibi belirlenmiştir:



**Şekil 4.1.** ATM Sayısı İle Kârlılık Arasındaki İlişki [18]

Yapılan çalışmada, ATM sayılarının bankanın kârlılığına etkisi üzerinde durulmayacaktır.

#### **4.1.3. ATM Konumları**

ATM'ler buldukları ülkeye, bölgeye, şehre ve şehirdeki konumlarına göre farklı kullanım oranlarına sahiptirler. Gelişmiş ülkelerde ATM'ler, gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelere oranla daha sık kullanılır. Benzer biçimde gelişmiş ve kalabalık bir şehirde ATM kullanım oranları diğer şehirlere oranla çok daha yüksektir. Örneğin, İstanbul gibi bir şehirde ATM kullanım sıklığı Kars'a göre çok daha fazla olacaktır. Kırsal bölgelerde, alışveriş merkezlerinde, turistik mekanlarda vs. bulunan ATM'ler farklı kullanım oranlarına, dolayısıyla farklı nakit bulundurma kapasitelerine sahiptirler. ATM kullanım etkinliğini artırmak için ATM'lerin yerleştirileceği noktalar bu kriterlere göre belirlenmek durumundadır. ATM'lerin

yerleştirileceği en uygun (en optimal) noktaları bulmak için tesis yer seçimi modeli ve tamsayılı doğrusal programlama yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ATM'lerin yerleştirilmesi gereken noktalardan ziyade, ATM'nin bulunduğu konumun, günlük ihtiyaç duyduğu nakit miktarına etkisi üzerinde durulacaktır. Kamu kurumuna yakın bir noktada bulunan bir ATM'nin nakit ihtiyacı ile sıradan bir cadde üzerinde bulunan bir ATM'nin nakit ihtiyacı aynı olmayacaktır. Konuma göre günlük nakit ihtiyaçlarının belirlenmesi, optimal nakit yükleme stratejilerinin elde edilmesi adına önemli bir adımdır.

#### **4.1.4. ATM'lerin Servis ve Bakım Hizmetleri**

ATM'lerin servis ve bakım maliyetleri kapsamında aşağıdaki maliyet parametrelerini değerlendirebiliriz [2]:

- Dağıtım ve yükleme
- İşçilik saati
- Sigorta
- Bakım ve onarım

Yukarıda ifade edilen maliyet parametreleri, bakım ve onarım maliyetleri hariç, ATM'lere yapılan yükleme sayısı ile doğru orantılıdır. ATM'lere nakit yüklemek için dağıtıma her çıkıldığında ulaşım, personel, zaman ve sigorta vs. gibi maliyetlere katlanmak gerekir. Bakım ve onarım maliyetleri ise sabit maliyetlerdir.

Bu çalışmada, problem bir stok problemi olarak ele alınacağından, ATM'lerde bulunan nakit "ürün stoku", ATM'lere yapılan her bir nakit yükleme işlemi "sipariş verme maliyeti" olarak değerlendirilecektir. Yüklenecek nakit miktarı ne kadar fazla ise, sipariş verme maliyeti de o kadar yüksek olacaktır. Çünkü zaman, sigorta ve risk gibi maliyet parametreleri nakit miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

#### 4.1.5. ATM'lerde Bulundurulması Gereken Optimum Nakit Miktarı

ATM işletim maliyetlerinin %35 ila %60'lık kısmını nakit kaynaklı maliyetler oluşturur. Nakit kaynakları maliyetleri fırsat maliyeti olarak değerlendirmek daha doğru olacaktır. Bazı bankalar ATM'lerinde gerekenden %40 daha fazla nakit bulundurmaktadır [2]. ATM'lerin nakit kaynakları maliyetlerini aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

- ATM'lerde gereğinden fazla nakit bulundurmak, bankanın gecelik repo için ayırdığı nakit stoklarında bulunan miktarı azaltacağından bir fırsat maliyeti doğuracaktır. Yıllık faiz oranlarının yüksek olduğu ülkelerde bu fırsat maliyeti çok ciddi boyutlara ulaşmaktadır.
- ATM'lerde gereğinden az nakit bulundurmak, işletme maliyetlerini azaltacağı ve yukarıda da bahsedildiği gibi gecelik faizden elde edilebilecek kazancı artıracığı gibi, müşteri memnuniyetini olumsuz etkileyecek ve ATM'lerden müşterilere sağlanacak nakit avanslardan elde edilecek kazancı azaltacaktır. Zira bu çalışma sırasında yapılan bir ankete göre bankaların ATM'ler ile nakit çekim hizmeti vermesinin, bankanın müşterilerine sağladığı tüm hizmetleri arasındaki ağırlığı yaklaşık %75 olarak belirlenmiştir. Bu orandan da anlaşılacağı üzere, ATM'lerde yeterli miktarda nakit bulundurulmadığı takdirde müşteri memnuniyeti ciddi oranda düşecek ve bu da bankanın orta ve uzun vadede müşteri kaybı yaşamasına, dolayısıyla karlılığının azalmasına sebep olacaktır.
- Yüklenecek optimal nakit miktarı belirlendikten sonra optimal yükleme stratejilerinin belirlenmesi gerekir. Çünkü ATM'lere yüklenecek nakit veya ATM'lerin ihtiyaç duyduğu nakit miktarı büyük miktarlar halinde az sayıda yükleme faaliyeti yapılarak mı, yoksa küçük miktarlar halinde çok sayıda yükleme faaliyeti yapılarak mı yüklenmelidir. Burada nakit yükleme maliyetleri ön plana çıkmaktadır.

Tüm bu maliyet parametrelerinden anlaşılacağı üzere, optimal ve maliyet-etkin çözüm, ATM'lerde nakit bulundurma ve bulundurmama maliyetleri ile nakit yükleme maliyetlerinin dengelendiği noktada olacaktır.

#### 4.2. Mevcut Durum

Çalışma bankacılık sektöründe öncü bankalardan birinde yapılmıştır. Bankanın Ankara'nın merkez konumunda bulunan 21 ATM'si ele alınmıştır. ATM'ler ve aralarındaki mesafeler EK-1'de verilmiştir. Bankada, ATM'lere nakit yükleme faaliyetleri merkeze bağlı olarak çalışan Para Grup Merkezi (PGM) tarafından yapılmaktadır. PGM, nakit seviyelerinin takibini daha kolay yapabilmek için bölge merkezi sistemi ile çalışmaktadır. PGM'ye bağlı bölge grup merkezi, ATM'lerdeki nakit seviyesini online olarak takip etmekte ve yükleme zamanları ile yükleme miktarlarını belirleyerek ilgili yükleme birimlerine nakit yükleme talimatı vermektedir. Nakit yükleme talimatı alındıktan sonra yükleme faaliyetini yapacak birim hazırlık yapmakta ve gerekli işlemler yapıldıktan sonra dağıtıma çıkmaktadır.

PGM, nakit yükleme miktarlarını belirlerken çok karmaşık olmayan ve bir optimizasyon prosedürü izlemeyen basit denilecek düzeyde bir  $(r,R)$  stok politikası izlemektedir. PGM'nin bahsi geçen 21 ATM için izlediği nakit yükleme politikasını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- Bir önceki yılın verileri kullanılarak her bir ATM'nin 3 aylık periyotta (sonbahar, kış, ilkbahar, yaz) ortalama nakit çekim miktarı hesaplanmaktadır. PGM, yaptığı analizler neticesinde, her mevsimin kendi içerisinde bir nakit çekim düzeninin olduğunu ve aynı mevsim içerisinde bulunan aylarda nakit çekim miktarlarının benzer davranışları izlediğini kabul etmektedir.
- Ortalama nakit çekim miktarlarına göre ATM'ler; A sınıfı ATM, B sınıfı ATM şeklinde sınıflara ayrılmaktadır. Sınıflandırma yöntemi Çizelge 4.1.'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.1.** Mevcut Durum Sınıflandırma Yöntemi

Ortalama Nakit Çekim Miktarı	ATM Sınıfı
0 – 10.000	A
10.001 – 20.000	B
20.001 – 30.000	C
30.001 – 40.000	D
40.001 – 50.000	E
50.001 – 60.000	F

- Her bir sınıf için yeniden yükleme noktası ( $r$ ) ve maksimum nakit miktarı ( $R$ ) belirlenmektedir. Her bir ATM sınıfın ilkbahar mevsimine (mart, nisan, mayıs) ait  $r$  ve  $R$  değerleri Çizelge 4.2.'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Her Bir ATM Sınıfa Ait  $r$  ve  $R$  Değerleri

ATM Sınıfı	Yeniden Yükleme Noktası ( $r$ )	Maksimum Yükleme Seviyesi ( $R$ )
A	5.000	20.000
B	7.500	30.000
C	12.500	50.000
D	17.500	70.000
E	25.000	100.000
F	35.000	140.000

- Online bir sistem kullanılarak sürekli takip edilen ATM'lerde, nakit seviyesi  $r$  değerine eşit olduğunda veya bu değerden aşağıya düştüğünde sistem uyarı vermekte ve ilgili ATM'ye ait  $r$  ve  $R$  parametrelerine göre  $R-I$  kadar nakit yükleme kararı alınmaktadır ( $I$ : mevcut nakit seviyesi). Yani nakit seviyesi belirlenmiş maksimum seviyeye çıkacak şekilde yükleme yapılmaktadır.
- Nakit yükleme faaliyetleri güvenlik gerekçesi ile sadece 10:00 ve 16:00 saatlerinde yapılmaktadır.
- Yükleme faaliyeti saat 10:00'a yetiyecekse, yükleme yapılacak ATM'lerin ihtiyaç duyduğu nakit miktarı toparlanarak dağıtımına çıkılmaktadır. Hazırlık faaliyeti dolayısıyla saat 10:00'da yapılamayan yükleme, saat 16:00'da yapılmaktadır. Benzer şekilde saat 16:00'da yapılamayan yükleme, ertesi gün saat 10:00'da yapılmaktadır.
- Yükleme hazırlık faaliyetleri ortalama 2 saat sürmekte, yükleme faaliyetleri yükleme yapılacak ATM sayısına bağlı olarak 1 saat ile 3 saat arasında değişkenlik göstermektedir.
- 21 ATM'den oluşan ATM ağı için bölge grup merkezi, iki farklı yükleme birimi görevlendirmiştir. ATM ağının kuzeyinde kalan 9 ATM için bir birim, güneyinde kalan 11 ATM için bir birim bulunmaktadır. Dağıtım merkezi 10 numaralı ATM'nin bulunduğu merkez şubede içerisindedir. Dolayısıyla ATM10 için yükleme faaliyeti ihmal edilmektedir.
- ATM ağının kuzeyinde kalan ATM'lere yükleme yapılacaksa 1 numaralı araç, güneyinde kalan ATM'lere yükleme yapılacaksa 2 numaralı araç ile birimler yükleme yapmaktadırlar.
- Her bir araç için iki personel görevlendirilmiştir. Banka, taşınan paranın üzerlerine zimmetlenmesi karşılığında her personele her yükleme faaliyeti (her bir çıkış) için 25 TL ödeme yapmaktadır.
- Yapılan analiz neticesinde her yükleme faaliyet için (her bir çıkış) ortalama 5 TL yakıt maliyeti olduğu kabul edilmektedir.
- PGM, ATM'lere yüklenmeyen nakit parayı gecelik repoya yatırmak suretiyle değerlendirmektedir.

Para Grup Merkezi'nin ATM'lere nakit yükleme süreci ve politikası EK-2'de şema olarak gösterilmektedir.

### 4.3. Önerilen Model

Mevcut yükleme politikasında tam anlamıyla bir optimizasyon süreci bulunmamaktadır. Her ne kadar ortalama nakit miktarlarına göre bir takım hesaplamalar yapılsa da, yeniden yükleme noktası ve maksimum yükleme seviyesi parametreleri daha çok tecrübelerle dayanılarak oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Halbuki, kişisel tecrübelerle dayalı sistemlerin maliyet-etkin olmasını beklemek hata olacaktır. Dolayısıyla, nakit yükleme sürecinin daha bilimsel yöntemler ile ele alındığı ve içerisinde bir optimizasyon sürecinin tanımlandığı bir model önerilmiştir. Sürecin tasarım aşamasında Analitik Hiyerarşi Prosesi, stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli ve simülasyon yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen modelin temel adımları aşağıda özetlenmiştir:

- Mevcut modelde olduğu gibi aynı mevsim içerisinde bulunan aylarda nakit çekim miktarları açısından benzerlik bulunduğu kabul edilmiştir. Bu hipotez, çalışmanın veri analizi kısmında one-way ANOVA ile test edilmiş ve doğruluğu %95 güven seviyesinde kanıtlanmıştır.
- Mevcut modelden farklı olarak, müşterilerin ATM'lerden nakit çekme davranışlarının haftanın günlerine göre değişkenlik gösterdiği varsayılmıştır. Bu hipotez, çalışmanın veri analizi kısmında one-way ANOVA ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre haftanın günleri nakit çekim miktarına göre 3 ana gruba ayrılmıştır.
- Mevcut modelden farklı olarak, her bir ATM'nin günlük nakit ihtiyacı bireysel olarak değerlendirilmemiş, ATM ağının (21 ATM) günlük toplam nakit ihtiyacı tahmin edilmiştir.
- ATM ağının ihtiyaç duyduğu günlük nakit miktarı belirlenirken, 3 ana gruba ayrılan haftanın günlerinin her birinde nakit çekim miktarlarının hangi olasılık dağılımına uyduğu test edilmiştir.
- Test neticesinde parametreleri farklı olan 3 farklı normal dağılım elde edilmiştir.
- Elde edilen dağılımların parametreleri, stok modelinin talep girdisi olarak kullanılmıştır.

- ATM ağının nakit kaynaklı (elde bulundurma, yok satma) maliyetleri ve yükleme maliyetlerinin toplamını minimize etmek maksadıyla stokastik periyodik gözden geçirmeli stok modeli kullanılmıştır. Problemin yapısından dolayı stok politikası olarak her siparişte maksimum stok seviyesinde kadar sipariş verme politikası (order up to  $I_{max}$  policy) seçilmiştir. Bu politika, elde bulundurma maliyetlerini azaltacağı düşüncesi ile seçilmiştir. Bununla birlikte bu stok politikasının uygulanması, genellikle yükleme maliyetlerini artırmaktadır. Ancak, problemde nakit kaynaklı maliyetlerin daha fazla olacağı değerlendirildiğinden toplam maliyetin azaltılabileceği düşünülmüştür. Bir diğer ifade ile, daha az miktarlarda ve daha sık yükleme işlemi yapmak maliyetleri azaltacaktır. Bununla birlikte, mevcut modeldeki yükleme sayısı ile aynı sayıda yükleme faaliyeti ile ATM'lerde daha az nakit bulundurmanın da mümkün olduğu değerlendirilmektedir.
- Stok modelinde kullanılan temel parametreler; gereğinden fazla nakit parayı ATM'lerde bulundurmanın maliyeti (elde bulundurma maliyeti/fırsat maliyeti), müşterilere ATM aracılığıyla nakit sağlayamamanın maliyeti (yok satma maliyeti/fırsat maliyeti), yükleme maliyeti (sipariş verme maliyeti), gözden geçirme periyodu ve maksimum nakit yükleme seviyesidir ( $I_{max}$ ). Modelde optimize edilmeye çalışılan parametre, maksimum yükleme seviyesidir.
  - *Elde bulundurma maliyeti:* ATM'lere yüklenmeyen nakit gecelik repoda değerlendirilecektir. Çalışmanın yapıldığı aylara ait yıllık faiz oranı bazlı gecelik repo getirisi; 1 TL için 0,00015 TL'dir. (**Gecelik Repo** = Yıllık Faiz Oranı / 365)
  - *Yok satma maliyeti:* ATM'lerden müşterilere nakit sağlanamadığında oluşan maliyettir. Bu maliyet parametresi hesaplanırken müşteri memnuniyetsizliği dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi, müşteri memnuniyetsizliğinin bankaya nasıl ve ne kadar bir maliyet getireceğinin hesaplanmasındaki zorluktur. Hesaplama yapılırken yok satma maliyeti, ATM'de nakit yokluğu sebebiyle müşterilere sağlanan nakit avans hizmetinin sağlanamamasından kaynaklı fırsat maliyeti olarak düşünülmüştür. Bankalar, nakit avanstan önemli ölçüde kazanç sağlamaktadır. Verilen avans miktarına bağlı olarak belirli bir yüzde



ile müşterilerden komisyon alınmaktadır. Banka, müşteriye sağlayamadığı her 1 TL için bir fırsat maliyetine katlanmak durumundadır. PGM'den, ATM'lerden çekilen ortalama nakit avans tutarı verisi alınmış ve analiz edilmiştir. Buna göre, ATM'de 1 TL nakit bulundurmamaktan kaynaklı fırsat maliyeti 0,00312 TL olarak hesaplanmıştır.

- *Yükleme maliyeti:* Mevcut modelde bahsedildiği gibi her bir yükleme faaliyeti (yükleme için çıkış) için banka görevli personellerin her birine 25 TL zimmet ücreti ödemektedir. Bir araç ile iki personelin çıkış yaptığı düşünüldüğünde, her bir yükleme faaliyeti için 50 TL ödeme yapılacaktır. Ayrıca, PGM tarafından her bir çıkış için ortalama yakıt masrafı 5 TL olarak belirlenmişti. Dolayısıyla, her bir yükleme faaliyeti için 55 TL maliyet ortaya çıkmaktadır.
- *Gözden Geçirme Periyodu:* ATM'lerde bulunan nakit seviyesinin kontrol edildiği sabit periyottur. Önerilen modelde bu periyot 1 gün olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak her gün saat 00:00'da ATM'lerdeki nakit seviyesi ( $I_i$ ) kontrol edilmektedir.
- *Maksimum nakit yükleme seviyesi ( $I_{max}$ ):* Yukarıda anlatılan parametreler, stokastik periyodik gözden geçirmeli stok modeline uygulanarak ATM ağı için günlük nakit talebi  $I_{max}$  belirlenmiştir.
- PGM yetkililerine danışmak suretiyle, ATM'lerin nakit talep miktarlarını etkileyen 7 adet temel faktör (alışveriş merkezlerine yakınlık, ulaşım hatlarına yakınlık, kamu binalarına yakınlık, diğer ATM'lere yakınlık, işlem özellikleri, güvenli çevre, çevrenin ekonomik yapısı) belirlemiş, AHP süreci uygulanarak her bir ATM'nin ağırlığı hesaplanmıştır. ATM ağının günlük nakit ihtiyacı AHP kullanılarak ATM'lere dağıtılmıştır.
- Önerilen modelde kullanılan stok modelinin yapısından dolayı mevcut modelden farklı olarak her ATM'ye her gün nakit yüklemesi yapılacaktır.
- Saat 00:00'da nakit seviyeleri kontrol edilecek ve ertesi gün her ATM için ihtiyaç duyulan nakit miktarı ( $I_{max} - I_i$ ) saat 06:00-07:00 saatleri arasında hazırlanacaktır.
- Yüklemeler saat tam 10:00'da yapılacaktır.

- Mevcut modelde olduğu gibi iki farklı yükleme birimi görevlendirmiştir. ATM ağının kuzeyinde kalan 9 ATM için bir birim, güneyinde kalan 11 ATM için bir birim bulunmaktadır. Dağıtım merkezi 10 numaralı ATM'nin bulunduğu merkez şubede içerisindedir.
- ATM ağının kuzeyinde kalan ATM'lere 1 numaralı araç ile, güneyinde kalan ATM'lere 2 numaralı araç ile yükleme yapılacaktır.
- Saat 07:00-10:00 saatleri arasında dağıtım yapılacaktır.

Önerilen modelde, ATM'lere nakit yükleme süreci ve politikası EK-3'te şema olarak gösterilmektedir.

#### 4.3.1. Önerilen Modelde Kullanılan Varsayımlar

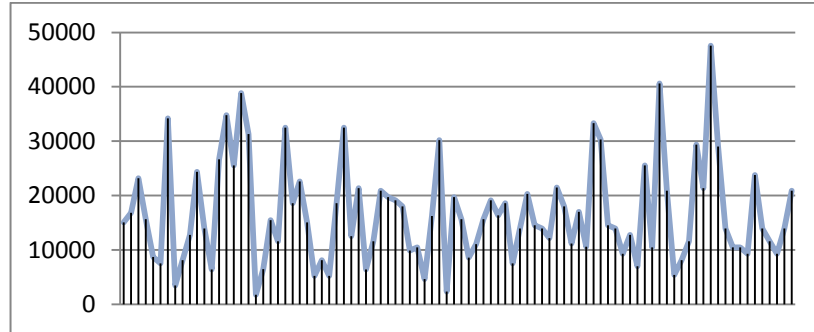
Gerçek hayat sistemlerinin tüm detayları ile modellenmesi çok zor olduğu için bazı varsayımlar yapmayı gerektirir. Bu çalışmada da sistemin temel işleyişini bozmayan ve çalışmayı kapsamının dışına çıkarmayan bazı temel varsayımlar yapılmıştır:

- Bir mevsim içerisinde bulunan ayların nakit çekim miktarları açısından benzer davrandığı varsayılmıştır.
- Maaş çekim günleri (emekli, çalışan) ve özel günlerdeki nakit çekim artışları dikkate alınmamıştır.
- Mevsimsel etkiler sadece haftanın günleri bazında ele alınmıştır.
- Gecelik repo incelenen 3 ay için de aynı kabul edilmiştir.
- Nakit avans çekim oranları ve faizleri incelenen 3 ay için aynı kabul edilmiştir.
- Yükleme her gün saat 10:00'da tüm ATM'lere aynı anda yapıldığı varsayılmıştır.
- Yükleme hazırlıklarına saat 07:00'da başlandığı ve saat 10:00'da yükleme faaliyetinin mutlaka tamamlandığı varsayıldığından, gecikme süresinin olmadığı ( $I=0$ ) kabul edilmiştir.
- Çalışmada araç rotalama üzerinde durulmadığı için, yükleme yapan araçların yakıt masraflarının, banka yetkilileri ile de görüşülerek yükleme yapılan

ATM sayısından bağımsız ve yükleme başına ortalama 5 TL olduğu varsayılmıştır.

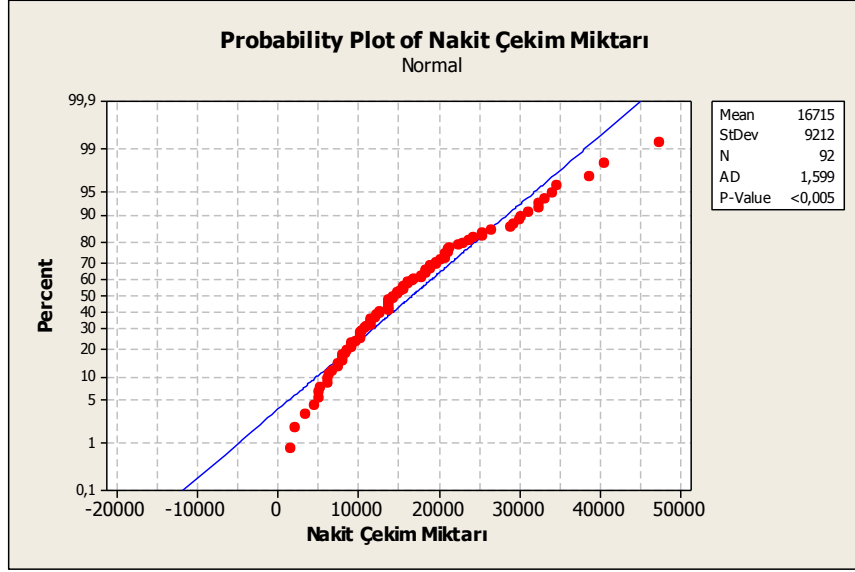
#### 4.4. Verilerin Analizi

Bankadan her bir ATM'ye ait günlük nakit çekim miktarlarından oluşan yaklaşık 11 aylık (307 gün) veri alınmıştır. Ancak, tüm analizler mart, nisan ve mayıs aylarını (ilkbahar mevsimi) içine alan 3 aylık bir periyot için yapılmıştır. İncelenen 3 ayın nakit çekim miktarları açısından benzer davranış gösterdiği kabul edildiğinden, bu kısımda aylık bazda analiz yapılmamış, sadece günlük bazda analizlere yer verilmiştir. Ayrıca, alınan günlük nakit çekim miktarı verileri saat 10:00 ile ertesi gün saat 10:00 arasındaki nakit çekim işlemlerini ifade etmektedir. Şekil 4.2.'de ATM'lerden birine (ATM1) ait 1 Mart 2012 tarihinden 31 Mayıs 2012 tarihine kadar (92 gün) yapılan nakit çekim miktarları gösterilmektedir.



**Şekil 4.2.** ATM1'e Ait Günlük Nakit Çekim Miktarları

Şekil 4.2. incelendiğinde, günlere göre nakit çekim miktarları arasında ciddi farklar olduğu görülecektir. ATM1 için günlük nakit çekim miktarının nasıl bir düzen takip ettiğini anlamak amacıyla Minitab 16 programı ile dağılım testleri yapılmıştır. İlk olarak normallik testi (Anderson-Darling) yapılmış ve Şekil 4.3.'teki sonuçlar elde edilmiştir.



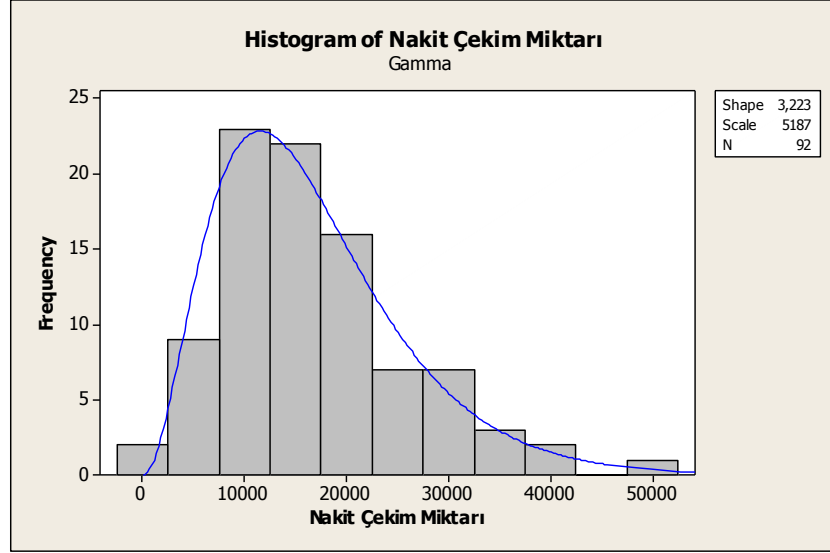
**Şekil 4.3.** ATM1 Nakit Çekim Miktarlarının Normalite Analizi

P-Value < 0,005 (Veri setinin normal dağıldığını iddia edebilmek için bu değer 0,05'ten büyük olması gerekir.) olduğundan veri seti normal dağılmamaktadır. Dolayısıyla veri setinin hangi dağılıma daha iyi uyduğunu görebilmek için Minitab programının *Individual Distribution Identification* modülü ile ikinci bir test yapılmıştır. Elde edilen Minitab çıktısı aşağıda verilmiştir:

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	1,599	<0,005		
Lognormal	0,505	0,198		
Exponential	8,936	<0,003		
Weibull	0,403	>0,250		
<b>Gamma</b>	<b>0,151</b>	<b>&gt;0,250</b>		
Logistic	1,121	<0,005		

Bu çıktı ile elde edilen sonuca göre, ATM1'e ait 92 günlük nakit çekme miktarı gamma dağılımına (en küçük hata değeri(AD)=0,151 ve P-değeri>0,05) uymaktadır. Şekil 4.4.'te Gamma dağılım testi gösterilmektedir.



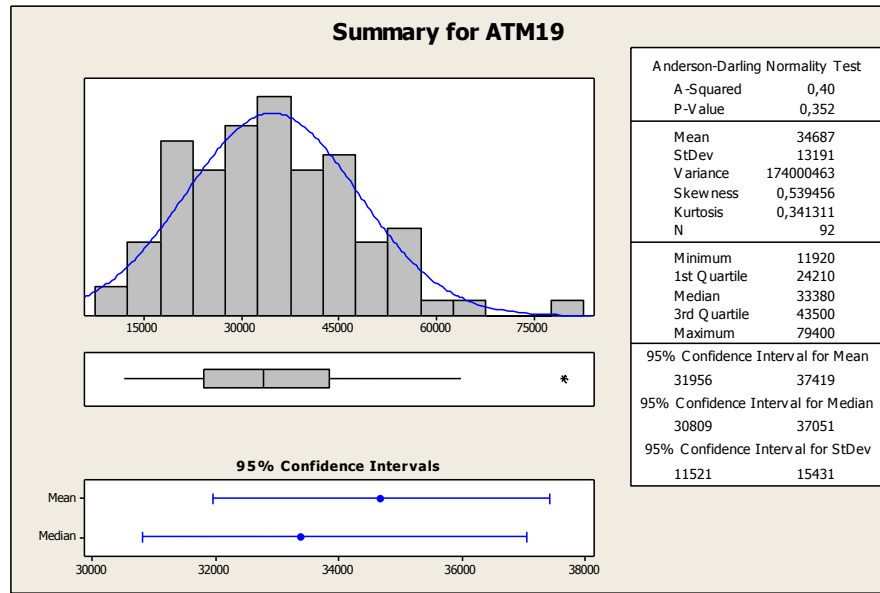
**Şekil 4.4.** ATM1 Nakit Çekim Miktarlarının Gamma Testi

İncelenen 21 ATM için bezner şekilde nakit çekim miktarları analiz (*Individual Distribution Identification* kullanılarak) edilmiştir. Her bir ATM'nin 92 gün boyunca nakit çekim miktarlarının uyum iyiliği testlerinin sonuçları Çizelge 4.3.'te verilmektedir.

**Çizelge 4.3.** 21 ATM İçin Uyum İyiliği Test Sonuçları

ATM	Dağılım	ATM	Dağılım	ATM	Dağılım
1	Gamma	8	Weibull	15	Weibull
2	Gamma	9	Weibull	16	Gamma
3	Weibull	10	Weibull	17	Weibull
4	Weibull	11	Weibull	18	Weibull
5	Gamma	12	Weibull	19	Weibull
6	Weibull	13	Gamma	20	Weibull
7	Weibull	14	Weibull	21	Weibull

Çizelge 4.3.'ten anlaşılacağı üzere, ATM'lerden günlük olarak çekilen nakit miktarları ATM'ler arasından farklılıklar göstermek suretiyle genellikle weibull veya gamma olarak dağılmaktadır. Bunun en önemli sebebi nakit çekme miktarlarının düşük miktarlarda daha fazla yoğunlaşmasıdır. Başka bir deyişle müşterilerin ATM'lerden genellikle yüksek miktarlarda nakit çekmemesi asıl sebeptir. Bu gibi durumlarda grafik sağa çarpık olacaktır. Şekil 4.5.'te ATM19 için nakit çekim miktarları histogramı ve bu histogram üzerinde eğrisi gösterilmektedir.



**Şekil 4.5.** ATM19 Nakit Çekim Miktarları ve Histogramı

Görüldüğü gibi ATM19 Anderson-Darling normallik testine göre normal dağılmaktadır ancak eğrinin sağa çarpık olmasından dolayı veri seti weibull dağılımına daha uygundur.

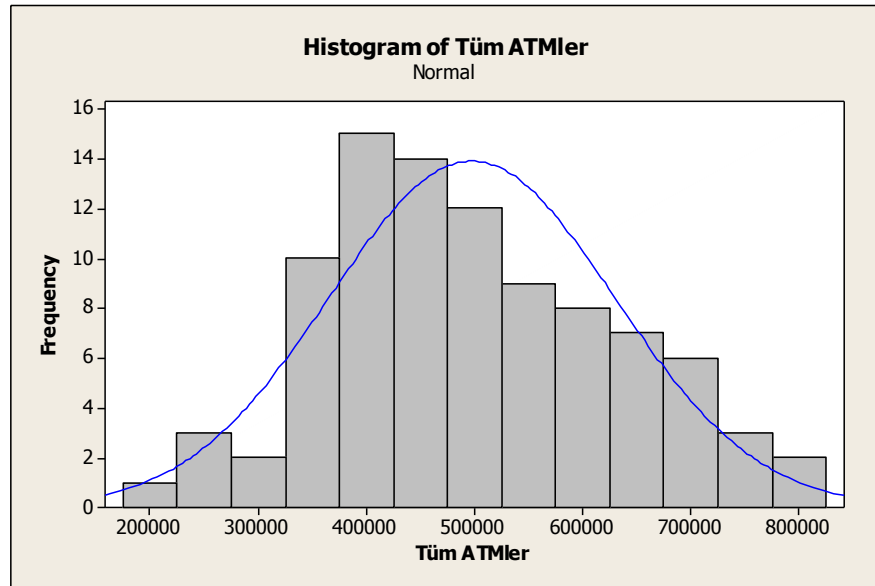
Bu çalışmada 21 ATM bir ağ (network) olarak ele alınacağından 21 ATM'den çekilen günlük toplam nakit miktarları analiz edilecektir. 21 ATM'nin tümünden günlük çekilen nakit miktarları için dağılım uygunluk testi yapılmıştır. Test (*Individual Distribution Identification*) neticesinde 21 ATM toplamından günlük çekilen nakit miktarının normal dağıldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte verinin

gamma dağılımına daha iyi uyduğu görülmüştür. Yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:

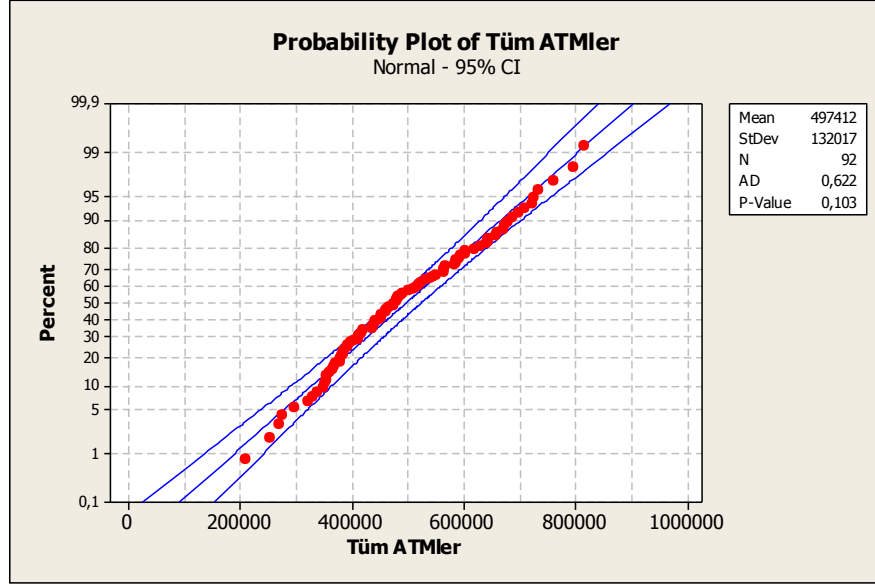
Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	0,622	0,103		
Exponential	23,065	<0,003		
Weibull	0,755	0,047		
<b>Gamma</b>	<b>0,262</b>	<b>&gt;0,250</b>		
Logistic	0,689	0,043		

Tüm ATM'lerden 92 gün boyunca yapılan nakit çekimleri Şekil 4.6.'da, yapılan normallik testi Şekil 4.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Tüm ATM'lerden Çekilen Nakit Miktarları



**Şekil 4.7.** Tüm ATM’lerden Çekilen Nakit Miktarları İçin Normalite Testi

Yapılan analizlerden anlaşılacağı üzere, ATM’ler bireysel olarak incelendiğinde nakit çekimlerinin büyük bir kısmı normal dağılıma uymazken, *merkezi limit teoreminin bir sonucu olarak*, 21 ATM’nin toplam nakit çekim miktarı normal dağılıma uymaktadır.

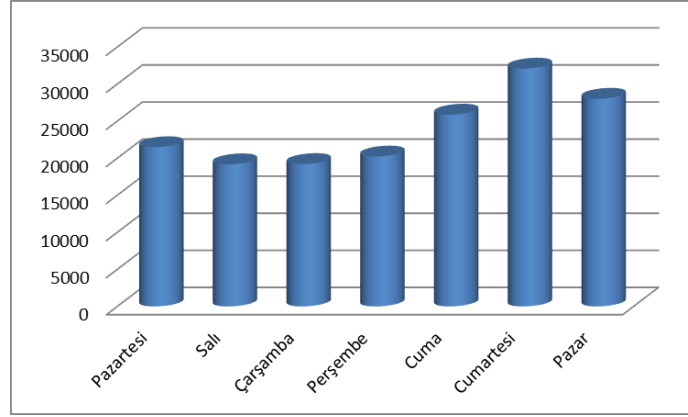
Buraya kadar bulunan sonuçlar ATM’lerden çekilen nakit miktarları açısından müşteri davranışlarını net bir biçimde ortaya koymaktadır. Ancak ATM’lere yüklenecek optimal nakit miktarının hesaplanabilmesi için daha ayrıntılı bir analiz yapılmalıdır. Daha önce belirtildiği gibi, ATM’lerden çekilen nakit miktarları mevsimsel bazı etkilere göre (gün, hafta, ay, yıl, tatil) değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada sadece günlük etkiler incelenecektir.

#### 4.4.1. Haftanın Günleri

Nakit miktarlarındaki temel farklılığın müşterilerin haftanın günlerinde farklı davranışlar sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. ATM’lerden çekilen nakit miktarı hafta boyunca artmakta, Cuma ve Cumartesi günleri zirveye çıkmaktadır. Bu



iki gün boyunca çekilen ortalama nakit miktarı, diğer herhangi bir gün çekilen miktardan % 50 daha fazladır [19]. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, 21 ATM'nin tamamından çekilen günlük ortalama nakit çekim miktarları, haftanın günleri bazında Şekil 4.8.'de incelenmiştir.



**Şekil 4.8.** Nakit Çekim Miktarlarının Haftanın Günlerine Dağılımı

Görüldüğü gibi nakit çekim miktarları hafta boyunca artmakta, Cumartesi günleri zirveye çıkmakta ve Pazar gününden sonra tekrar düşüşe geçmektedir. Bu analizin ardından 21 ATM'nin günlük toplam nakit çekim miktarının haftanın günleri bazında nasıl dağıldığı incelenecektir. 92 günlük periyottaki günlere göre 21 ATM'den çekilen toplam nakit miktarları Çizelge 4.4.'te verilmektedir.

**Çizelge 4.4.** 21 ATM’de Günlere Göre Çekilen Nakit Miktarları

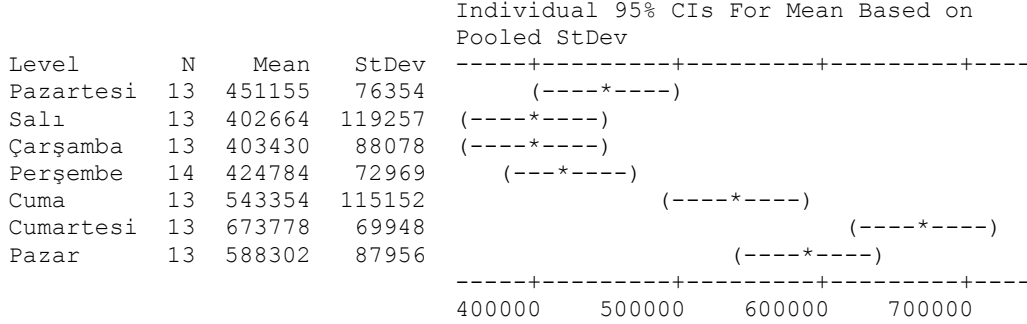
Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
488360	567240	481980	586960	658590	762700	643800
462840	332050	384830	453560	442540	675700	565500
386280	210860	253800	439930	443410	699480	511560
481980	414700	354670	365980	452400	546940	466320
661260	566660	462840	296690	564340	710500	644140
417020	367720	356120	452980	620020	680920	586960
348870	274950	379320	394980	519680	630460	551580
451820	323060	352060	360180	381060	592420	521420
398750	516090	605120	412960	483720	641480	532150
465450	540270	484010	525980	816760	797800	724710
474730	269590	370620	394980	583480	689620	672510
389180	438480	338140	475890	594740	726160	734860
438480	412960	421080	382220	502860	604940	492420
-	-	-	403680	-	-	-

Her bir günü kendi içerisinde bir dağılım testine tabi tutmak beraberinde bir takım sıkıntılar doğurabilir. Örneğin, pazartesi günü için elimizde her ne kadar  $13 \times 21 = 273$  tane günlük nakit çekim verisi bulursa da, bu sayı 21 ATM’nin toplam nakit çekim tutarı hesaplandığında 13’e düşmektedir. 13-14 tane veri ile dağılım testi ve parametre tahmini yapmak yeterince sağlıklı olmayabilir. Problem tipine bağlı olarak değişmekle birlikte sağlıklı bir dağılım testi için en az 30 ( $n \geq 30$ ) tane veriye ihtiyaç duyulur [41]. Bu problemin üstesinden gelebilmek için **benzer davranış gösteren** günler gruplanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde eğer benzer davranıştaki 3 gün gruplanabilirse  $13 \times 3 = 39$  tane veri ile daha sağlıklı dağılım testi yapılabilecektir.

Çizelge 4.4.’teki verilere Minitab programında One-way ANOVA ile benzerlik analizi yapılmıştır. Haftanın günleri, Tukey ve Fisher yöntemleri ile gruplandırılmıştır. Minitab ile yapılan One-way ANOVA analizinin sonuçları aşağıda verilemektedir:

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	6	8,72391E+11	1,45398E+11	17,32	0,000
Error	85	7,13605E+11	8395357170		
Total	91	1,58600E+12			

S = 91626 R-Sq = 55,01% R-Sq(adj) = 51,83%



Buna göre, **P** değeri sıfıra eşit olduğundan günler arasında fark vardır. Bu farkı analiz etmek ve gruplama yapmak için kullanılan **Tukey** ve **Fisher** yöntemlerinin Minitab çıktıları aşağıda verilmektedir:

Grouping Information Using Tukey Method

	N	Mean	Grouping
Cumartesi	13	673778	A
Pazar	13	588302	A B
Cuma	13	543354	B C
Pazartesi	13	451155	C D
Perşembe	14	424784	D
Çarşamba	13	403430	D
Salı	13	402664	D

Grouping Information Using Fisher Method

	N	Mean	Grouping
Cumartesi	13	673778	A
Pazar	13	588302	B
Cuma	13	543354	B
Pazartesi	13	451155	C
Perşembe	14	424784	C
Çarşamba	13	403430	C
Salı	13	402664	C

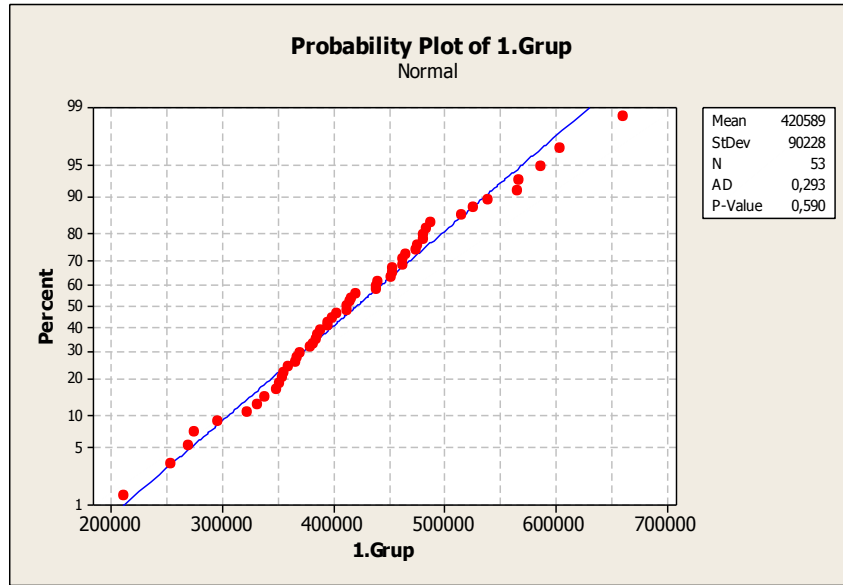
Tukey ve Fisher yöntemlerinden çıkan ortak sonuca göre günler aşağıdaki gibi 3 gruba ayrıldı:

- **1.Grup:** Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe
- **2.Grup:** Cuma, Pazar
- **3.Grup:** Cumartesi

Her gruptaki günler aynı olmasa da benzer davranmaktadır. Buradan, müşterilerin ATM'lerde pazartesi, salı, çarşamba ve perşembe günlerinde genellikle aynı seviyede ve diğer günlere nazaran daha az nakit çektikleri sonucu çıkarılabilir. Müşteriler cuma ve pazar günleri aynı fakat cumartesi gününden daha az diğer günlerden daha fazla nakit çekmektedirler. ATM'lerden en fazla cumartesi günleri nakit çekilmektedir.

Bu aşamadan sonra grupların olasılık dağılımları belirlenecek ve parametreleri tahmin edilecektir. Birinci grupta  $13 \times 4 + 1 = 52$  tane, ikinci grupta  $13 \times 2 = 26$  tane üçüncü grupta **13** tane veri (21 ATM'den çekilen günlük toplam nakit miktarları) bulunmaktadır.

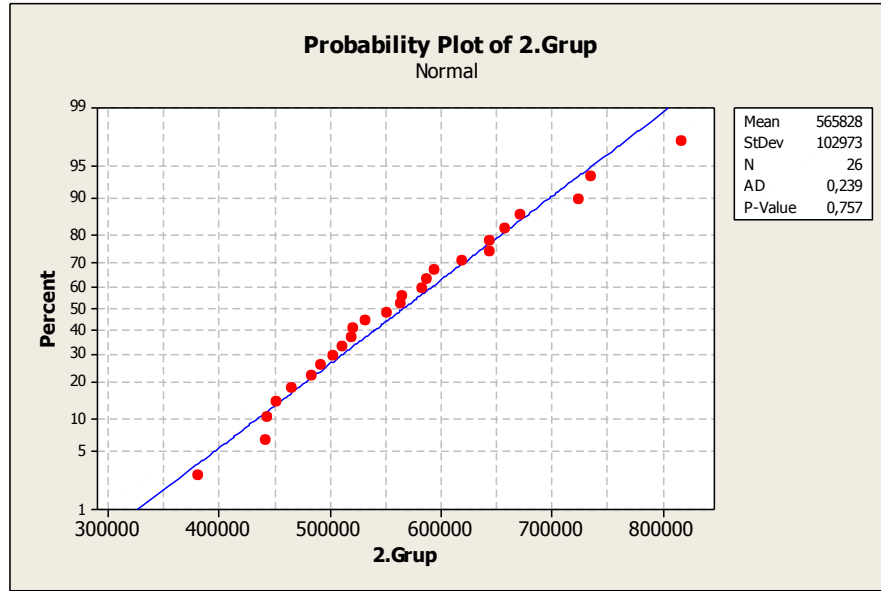
Birinci grup günler için yapılan normalite testi (Anderson-Darling) Şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Birinci Grup Günler İçin Normalite Testi

Test sonucunda elde edilen **P** değerinin 0,05'ten büyük olması (0,590), birinci grup günlerinin, ortalaması 420589 ve standart sapması 90228 olan normal dağılıma, **N(420589, 90228)**, uyduğunu göstermektedir. Yani pazartesi, salı, çarşamba ve

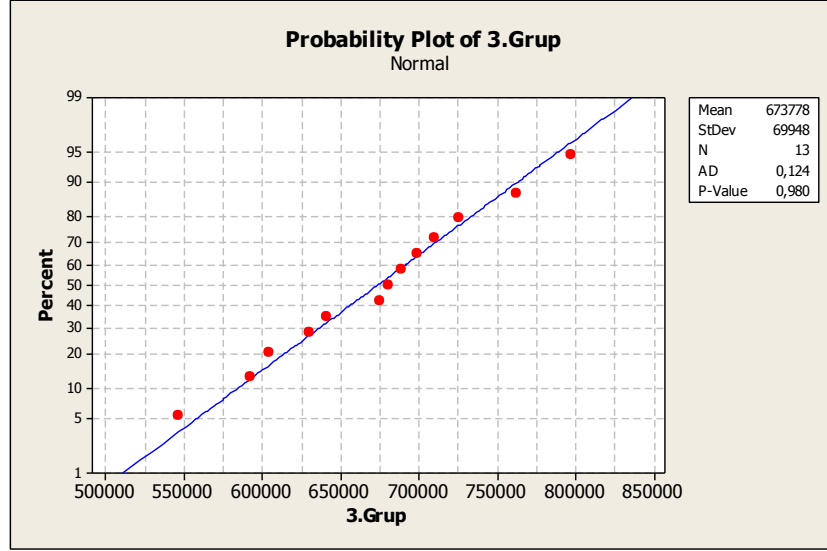
perşembe günlerinin herhangi birinde, 21 ATM'den günlük çekilen nakit miktarının ortalaması 420.589 TL ve standart sapması 90.228 TL olarak tahmin edilmektedir. İkinci grup günler için yapılan normalite testi (Anderson-Darling) Şekil 4.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. İkinci Grup Günler İçin Normalite Testi

Test sonucunda elde edilen  $P$  değerinin 0,05'ten büyük olması (0,757) ikinci grup günlerinin, ortalaması 565828 ve standart sapması 102973 olan normal dağılıma,  $N(565828, 102973)$ , uyduğunu göstermektedir. Yani cuma ve pazar günlerinin herhangi birinde, 21 ATM'den günlük çekilen nakit miktarının ortalaması 565.828 TL ve standart sapması 102.973 TL olarak tahmin edilmektedir.

Üçüncü grup günü için yapılan normalite testi (Anderson-Darling) Şekil 4.11.'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.11.** Üçüncü Grup Günler İçin Normalite Testi

Test sonucunda elde edilen  $P$  değerinin 0,05'ten büyük olması (0,980) ikinci grup günlerinin, ortalaması 673778 ve standart sapması 69948 olan normal dağılıma,  $N(673778, 69948)$ , uyduğunu göstermektedir. Yani cumartesi günlerinin herhangi birinde, 21 ATM'den günlük çekilen nakit miktarının ortalaması 673.778 TL ve standart sapması 69.948 TL olarak tahmin edilmektedir. Ancak, bu grup için 13 tane veri ile bu analizin yapılması bulunan sonuçlara şüphe ile yaklaşılmasına sebep olabilir. Bununla birlikte, bu veri seti aslında içerisinde  $13 \times 21 = 273$  tane veri barındırdığından sonuçların güvenilir olduğu değerlendirilebilir.

Yapılan tüm analizler neticesinde 21 ATM'den çekilen nakit tutarlarının günlere göre olasılık dağılımları ve parametre tahminleri Çizelge 4.5.'te özetlenmektedir.

**Çizelge 4.5.** Günlere Göre Nakit Çekim Ortalama ve Standart Sapmaları

Günler	Olasılık Dağılımı	Ortalaması	Standart Sapması
Pazartesi	Normal	420589	90228
Salı	Normal	420589	90228
Çarşamba	Normal	420589	90228
Perşembe	Normal	420589	90228
Cuma	Normal	565828	102973
Cumartesi	Normal	673778	69948
Pazar	Normal	565828	102973

#### 4.5. Stokastik Periyodik Gözden Geçirmeli Stok Modeli Uygulama

Problemin çözümünde stok teorisinin kullanılma sebeplerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Hammadde/Mamul ambarında gereğinden fazla hammadde/mamul bulundurmada elde bulundurma maliyetini ortaya çıkaracağı gibi, ATM'lerde gereğinden fazla nakit bulundurmada elde bulundurma maliyetini ortaya çıkaracaktır. Çünkü, ATM'lerde gereğinden fazla tutulan nakit gecelik repoya yatırılmayacak, bunun sonucunda bir fırsat maliyeti oluşacaktır.
- Hammadde/Mamul ambarında gereğinden az hammadde/mamul bulundurmada, diğer bir deyişle üretim talebinden az sipariş vermek ya da müşteri talebinden az üretim yapmak yok satma maliyetine ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olduğu gibi, ATM'lerde gereğinden az nakit bulundurmada da yok satma maliyetine (talep karşılanamadığından dolayı müşteri tarafından çekilemeyen her birim nakit avans fırsat maliyeti oluşturacaktır) ve müşteri memnuniyetsizliğine sebep olacaktır. ATM'ler bankaların en önemli hizmet kanallarından birisidir. Müşteri memnuniyetinin artmasında ATM'lerin rolü büyüktür ve bankaların kârlılıklarını etkileyen en önemli faktörlerin başında müşteri memnuniyeti gelmektedir.

- Bir işletme hammadde siparişi verdiğinde sabit bir “sipariş verme maliyeti”ne katıldığı gibi bankalar da ATM'lere nakit yüklemek için sipariş verme maliyeti (araç, personel, sigorta) adı altında sabit bir maliyete katlanırlar.

Yukarıda ifade edildiği gibi üretim sektöründe tanımlanan tüm stok maliyet parametreleri ATM nakit yükleme hizmetleri için de geçerlidir. Dolayısıyla, ATM nakit yükleme faaliyeti tam bir stok problemidir. Güvenlik ve risk gerekçelerinden dolayı ATM'lere her zaman nakit yüklemesinin yapılması mümkün olamamaktadır. Bundan dolayı sürekli gözden geçirmeli stok modelleri, bu problem için uygun bir seçenek değildir. Bu model kullanıldığı takdirde, ATM'lere her an nakit yüklemesi yapılması gerekecektir ve bu istenmeyen bir durumdur. Problem, periyodik gözden geçirmeli stok modeli ile ele alındığında, belirli bir zamanda gözden geçirme ve yine belirli ve güvenli bir zamanda yükleme faaliyeti yapılabilmesi mümkün olabilecektir.

ATM ağının günlük nakit talebi olasılıklı bir değişken olduğundan, stokastik periyodik gözden geçirmeli stok modeli ile hesaplanacaktır. Veri analizi kısmında haftanın günleri nakit taleplerine göre 3 farklı gruba ayrılmıştı. Grupların hepsinde günlük nakit çekim miktarları normal dağılmaktadır, ancak parametreler farklıdır. Dolayısıyla her grup için ayrı bir hesaplama gerekmektedir. Öncelikle stok modelinde kullanılacak parametreler ve değerleri tanımlanmalıdır:

- **W**: ATM'lerden müşterilere nakit sağlayamamanın getirdiği fırsat maliyeti. Bu parametre daha önce 0,0312 olarak hesaplanmıştı.
- **h**: Gün ATM'lerde bulunan ve gecelik repoya yatırılmayan paranın fırsat maliyeti. Bu parametre daha önce 0,00015 olarak hesaplanmıştı.
- **T**: Gözden geçirme periyodu. Bu süre önerilen modelde 1 gün olarak belirtilmişti.
- **l**: Yükleme saat tam 10:00'da tamamlandığı varsayıldığından gecikme zamanı sıfırdır.
- **$\mu$** : 21 ATM'den çekilen günlük ortalama nakit miktarı.
- **$\sigma$** : 21 ATM'den çekilen günlük ortalama nakit miktarının standart sapması.



- $I_{max}^*$ : Toplam nakit bulundurma, bulundurmama ve yükleme maliyetlerini minimize eden, günlük ATM ağında bulunması gereken optimal nakit miktarı.

#### 4.5.1. Birinci Grup için Optimal Nakit Miktarının Hesaplanması

Pazartesi, salı, çarşamba ve perşembe günleri için ATM ağında bulunması gereken optimal nakit miktarının hesaplanması ile ilgili veriler Çizelge 4.6.'da özetlenmiştir:

Çizelge 4.6. Birinci Gruba Ait Parametreler

Parametreler	W	h	T	$\mu$	$\sigma$
Değerler	0,00312	0,00015	1	420.589	90.228

Eşitlik 3.15 kullanılarak  $I_{max}^*$  aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\int_0^{I_{max}^*} g(x, l+T) dx = \frac{W}{W+hT} = \frac{0,00312}{0,00312 + (0,00015 \times 1)} = 0,9541$$

Burada nakit talebi normal dağıldığından;

$$\frac{I_{max}^* - \mu}{\sigma} = Z(0,9541)$$

Eşitliği ve standart normal dağılım tablosu kullanılarak sonuç aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{I_{max}^* - 420589}{90228} = 1,686$$

$$I_{max}^* = 572.752 \text{ TL}$$

Toplam maliyetin minimize edilebilmesi için pazartesi, salı, çarşamba ve perşembe günlerinin başlangıcında (saat 10:00) ATM ağında 572.752 TL bulundurulması gerekir.

#### 4.5.2. İkinci Grup için Optimal Nakit Miktarının Hesaplanması

Cuma ve pazar günleri için ATM ağında bulunması gereken optimal nakit miktarının hesaplanması ile ilgili veriler Çizelge 4.7.'de özetlenmiştir:

Çizelge 4.7. İkinci Gruba Ait Parametreler

Parametreler	W	h	T	$\mu$	$\sigma$
Değerler	0,00312	0,00015	1	565.828	102.973

Eşitlik 3.15 kullanılarak  $I_{max}^*$  aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\int_0^{I_{max}^*} g(x, l+T) dx = \frac{W}{W+hT} = \frac{0,00312}{0,00312 + (0,00015 \times 1)} = 0,9541$$

Burada nakit talebi normal dağıldığından;

$$\frac{I_{max}^* - \mu}{\sigma} = Z(0,9541)$$

Eşitliği ve standart normal dağılım tablosu kullanılarak sonuç aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{I_{max}^* - 565828}{102973} = 1,686$$

$$I_{max}^* = 739.485 \text{ TL}$$

Toplam maliyetin minimize edilebilmesi için cuma ve pazar günlerinin başlangıcında (saat 10:00) ATM ağında 739.485 TL bulundurulması gerekir.

#### 4.5.3. Üçüncü Grup için Optimal Nakit Miktarının Hesaplanması

Cumartesi günü için ATM ağında bulunması gereken optimal nakit miktarının hesaplanması ile ilgili veriler Çizelge 4.8.'de özetlenmiştir:

**Çizelge 4.8.** Üçüncü Gruba Ait Parametreler

Parametreler	W	H	T	$\mu$	$\sigma$
Değerler	0,00312	0,00015	1	673.778	69.948

Eşitlik 3.15 kullanılarak  $I_{max}^*$  aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\int_0^{I_{max}^*} g(x, l + T) dx = \frac{W}{W + hT} = \frac{0,00312}{0,00312 + (0,00015 \times 1)} = 0,9541$$

Burada nakit talebi normal dağıldığından;

$$\frac{I_{max}^* - \mu}{\sigma} = Z(0,9541)$$

Eşitliği ve standart normal dağılım tablosu kullanılarak sonuç aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{I_{max}^* - 673778}{69948} = 1,686$$

$$I_{max}^* = 791.741 \text{ TL}$$

Toplam maliyetin minimize edilebilmesi için cuma ve pazar günlerinin başlangıcında (saat 10:00) ATM ağında 791.741 TL bulundurulması gerekir.

#### **4.6. AHP Uygulama**

Veri analizi kısmında ATM ağının günlere göre nakit talebi tahmin edilmiştir. Bu bölümde tahmin edilen nakit talebinin ATM'lere paylaşılması için analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılacaktır. Bu yöntemin kullanılma maksadı nakit dağıtımını yapabilmek için ATM'ler arasındaki önem ağırlıklarını belirlemektir.

##### *Adım 1: Modelin Yapılandırılması*

ATM'ler konusunda hatırı sayılır bir tecrübe ve bilgi birikimine sahip olan PGM yetkililerine "Bir ATM'nin nakit talebi hangi faktörlere bağlı olarak azalır veya artar?" sorusu sorularak ATM'lerin nakit talebini etkileyen 7 önemli kriter aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

1. Alışveriş Merkezine Yakınlık
2. Kamu Binasına Yakınlık
3. Ulaşım Hatlarına Yakınlık
4. Diğer ATM'lere Yakınlık
5. İşlem Özellikleri
6. Güvenli Çevre
7. Çevrenin Ekonomik Yapısı

Belirlenen kriterlere göre 21 ATM için oluşturulan AHP hiyerarşisi EK-4'te verilmektedir.

*Adım 2: Alternatif ve kriterlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi*

Modelin yapılandırılmasının ardından (kriterlerin belirlenmesi, hiyerarşinin oluşturulması) kriterlerin birbirlerine göre önem derecesini gösteren ikili karşılaştırma matrisi ( $A$ ) oluşturulmuştur. Bu aşamada, üç kişilik PGM ekibinden yardım alınmış ve Çizelge 4.9.'da belirtilen skalaya göre aşağıdaki matris elde edilmiştir:

**Çizelge 4.9.** Kriterlerin İkili Karşılaştırması

		$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$
$A =$	$c_1$	1,00	2,00	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00
	$c_2$	0,50	1,00	0,50	1,00	2,00	4,00	3,00
	$c_3$	1,00	2,00	1,00	2,00	6,00	5,00	5,00
	$c_4$	0,50	1,00	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00
	$c_5$	0,33	0,50	0,17	0,50	1,00	0,50	0,50
	$c_6$	0,50	0,25	0,20	0,50	2,00	1,00	0,50
	$c_7$	0,50	0,33	0,20	0,50	2,00	2,00	1,00

Eşitlik 3.18 kullanılarak her bir kriter için  $B$  sütun vektörleri hesaplanmış,  $B$  sütun vektörleri birleştirilerek  $C$  matrisi Çizelge 4.10.'daki gibi elde edilmiştir:

**Çizelge 4.10.** Kriterler İçin  $C$  Matrisi

$C =$		$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$
	$c_1$	0,23	0,28	0,28	0,27	0,17	0,12	0,14
	$c_2$	0,12	0,14	0,14	0,13	0,11	0,24	0,21
	$c_3$	0,23	0,28	0,28	0,27	0,33	0,30	0,36
	$c_4$	0,12	0,14	0,14	0,13	0,11	0,12	0,14
	$c_5$	0,08	0,07	0,05	0,07	0,06	0,03	0,04
	$c_6$	0,12	0,04	0,06	0,07	0,11	0,06	0,04
	$c_7$	0,12	0,05	0,06	0,07	0,11	0,12	0,07

Eşitlik 3.21 kullanılarak kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini ifade eden sağ özvektör ( $W_K$ ) Çizelge 4.11.'deki gibi hesaplanmıştır:

**Çizelge 4.11.** Kriterlere Ait Sağ Özvektör

$W_K =$	$c_1$	0,2130
	$c_2$	0,1568
	$c_3$	0,2934
	$c_4$	0,1293
	$c_5$	0,0546
	$c_6$	0,0687
	$c_7$	0,0841

*Adım 3: Tercihlerin sentezi*

Bu adımda, matematiksel sürecin normalize edilir ve her bir matrisin görelî ağırlıkları bulunur. İlk olarak,  $A$  matrisi ile  $W_K$  sütun vektörü çarpılarak Çizelge 4.12.'deki  $D$  sütun vektörü elde edilir.

**Çizelge 4.12.** Kriterler İçin  $D$  Sütun Vektörü

$D =$	$c_1$	1,548
	$c_2$	1,176
	$c_3$	2,171
	$c_4$	0,954
	$c_5$	0,394
	$c_6$	0,489
	$c_7$	0,613

Eşitlik 3.23 kullanılarak ( $D$  sütun vektörü ile  $W_K$  sütun vektörünün elemanlarının karşılıklı elemanlarının oranlanması)  $E$  vektörü (değerlendirme kriterine ilişkin temel değer) Çizelge 4.13.'teki gibi hesaplanır.

**Çizelge 4.13.** Kriterler İçin  $E$  Sütun Vektörü

$E =$	$c_1$	7,269
	$c_2$	7,497
	$c_3$	7,399
	$c_4$	7,379
	$c_5$	7,211
	$c_6$	7,12
	$c_7$	7,285

E sütun vektöründeki değerlerin aritmetik ortalaması ile (Bkz. Eşitlik 3.24)  $\lambda_{\max}$  değeri bulunur.

$$\lambda_{\max} = \frac{7,269 + 7,497 + 7,399 + 7,379 + 7,211 + 7,12 + 7,285}{7}$$

$$\lambda_{\max} = 7,309$$

Eşitlik 3.25 kullanılarak ikili karşılaştırma değerlendirmelerinin tutarlılığı testi için tutarlılık indeksi (**CI**) hesaplanır.

$$CI = \frac{7,309 - 7}{7 - 1}$$

$$CI = 0,051$$

Eşitlik 3.26 ile nihai tutarlılık oranı (**CR**), **CI**'nin rastsal indekse (Bkz. Çizelge 3.2.) oranı ile hesaplanır.

$$CR = \frac{0,051}{1,32}$$

$$CR = 0,039$$

CR değerinin 0,1'den küçük olması yapılan değerlendirmenin tutarlı olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla kriterlerin birbirlerine göre yapılan ikili değerlendirmeleri tutarlıdır.

Bu noktadan sonra, ilk üç adımdaki işlemlerin aynısı alternatiflerin kriterlere göre karşılaştırılması için yapılacaktır. Tüm alternatifler belirlenen 7 kritere göre değerlendirilecektir. Bu durumda 7 farklı değerlendirme daha yapılacaktır.



Çalışmada 21 ATM ele alındığından, ATM'ler birer alternatif olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar ATM'ler arasında doğrudan bir seçim yapmayı amaçlamasak da, ATM'lerin birbirlerine göre nakit çekim miktarı bazlı ağırlıklarını belirlemeye çalışacağız. Kriter değerlendirmesinde olduğunun aksine, alternatifler değerlendirirken objektif bir durum söz konusudur. Çünkü değerlendirme noktaları (mesafe, özellik, çevre, vb.) yoruma açık olmayan, bilinen değerlerdir. Dolayısıyla değerlendirme PGM yetkililerine danışmadan, ilgili veriler alınmak suretiyle yapılmıştır. Kriterlere göre alternatiflerin değerlendirilmesi aşağıda sırasıyla verilmektedir:

#### *Alışveriş Merkezine Yakınlık*

Alınan verilere dayanılarak oluşturulan alternatiflerin *Alışveriş Merkezine Yakınlık* kriterine göre ikili değerlendirme matrisi (**A**) oluşturulmuştur. İlgili adımlar takip edilerek önce **B** ve **C** matrisleri, ardından kriterin alternatiflere göre yüzde önem dağılımlarını gösteren (**W<sub>1</sub>**) hesaplanmıştır. Daha sonra sırasıyla **D** ve **E** vektörleri hesaplanmış ve  $\lambda_{\max}=22,074$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-5'te sunulmuştur. Alternatif sayısı 21 olduğundan ve Çizelge 3.2.'de rastsal indeks en fazla 13 için verildiğinden, burada rastsal indeks n=13 için verilen değer olan 1,59 alınmıştır. Zira, n=13 için sonuç tutarlı çıkarsa, n=21 için (daha küçük bir değer elde edileceğinden) kesinlikle tutarlı çıkacaktır. Nihai tutarlılık oranı (**CR**) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,099}{1,59}$$

$$CR = 0,062$$

Hesaplanan **CR** değeri 0,1'den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *Kamu Binasına Yakınlık*

Alınan verilere dayanılarak sırasıyla **A**, **B** ve **C** matrisleri oluşturulmuş, ardından **W<sub>2</sub>** hesaplanmıştır. Daha sonra, **D** ve **E** vektörleri hesaplanarak  $\lambda_{\max}=21,952$  olarak

bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-6'da sunulmuştur. Nihai tutarlılık oranı ( $CR$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,093}{1,59}$$

$$CR = 0,058$$

Hesaplanan  $CR$  değeri 0,1'den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *Ulaşım Hatlarına Yakınlık*

Alınan verilere dayanılarak sırasıyla  $A$ ,  $B$  ve  $C$  matrisleri oluşturulmuş, ardından  $W_3$  hesaplanmıştır. Daha sonra,  $D$  ve  $E$  vektörleri hesaplanarak  $\lambda_{\max}=21,594$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-7'de sunulmuştur. Nihai tutarlılık oranı ( $CR$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,076}{1,59}$$

$$CR = 0,048$$

Hesaplanan  $CR$  değeri 0,1'den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *Diğer ATM'lere Yakınlık*

Alınan verilere dayanılarak sırasıyla  $A$ ,  $B$  ve  $C$  matrisleri oluşturulmuş, ardından  $W_4$  hesaplanmıştır. Daha sonra,  $D$  ve  $E$  vektörleri hesaplanarak  $\lambda_{\max}=21,868$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-8'de sunulmuştur. Nihai tutarlılık oranı ( $CR$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,080}{1,59}$$

$$CR = 0,051$$

Hesaplanan **CR** değeri 0,1'den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *İşlem Özellikleri*

Alınan verilere dayanılarak sırasıyla **A**, **B** ve **C** matrisleri oluşturulmuş, ardından **W<sub>5</sub>** hesaplanmıştır. Daha sonra, **D** ve **E** vektörleri hesaplanarak  $\lambda_{\max}=21,809$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-9'da sunulmuştur. Nihai tutarlılık oranı (**CR**) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,086}{1,59}$$

$$CR = 0,054$$

Hesaplanan **CR** değeri 0,1'den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *Güvenli Çevre*

Alınan verilere dayanılarak sırasıyla **A**, **B** ve **C** matrisleri oluşturulmuş, ardından **W<sub>6</sub>** hesaplanmıştır. Daha sonra, **D** ve **E** vektörleri hesaplanarak  $\lambda_{\max}=21,475$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-10'da sunulmuştur. Nihai tutarlılık oranı (**CR**) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,070}{1,59}$$

$$CR = 0,044$$

Hesaplanan **CR** değeri 0,1'den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *Çevrenin Ekonomik Yapısı*

Alınan verilere dayanılarak sırasıyla **A**, **B** ve **C** matrisleri oluşturulmuş, ardından **W<sub>7</sub>** hesaplanmıştır. Daha sonra, **D** ve **E** vektörleri hesaplanarak  $\lambda_{\max}=21,543$  olarak

bulunmuştur. Hesaplanan tüm matrisler EK-11’de sunulmuştur. Nihai tutarlılık oranı ( $CR$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CR = \frac{0,073}{1,59}$$

$$CR = 0,046$$

Hesaplanan  $CR$  değeri 0,1’den küçük olduğundan yapılan değerlendirme tutarlıdır.

#### *Adım 5: Karar*

Her bir kriter için alternatiflerin değerlendirilmesiyle oluşan  $W_i$  sağ özvektörleri birleştirilerek  $W_A$  matrisi (7x21) elde edilir.  $W_A$  matrisi ile kriterlerin sağ özvektörü ( $W_K$ ) çarpıldığında alternatiflerin yüzde dağılımlarını gösteren  $K$  vektörü elde edilir. Matrisler ve yapılan hesaplamalar EK-12’de verilmektedir. Sonuç olarak,  $K$  karar vektöründen elde edilen ve 21 ATM’nin birbirlerine göre yüzdesel ağırlıklarını gösteren Çizelge 4.14. bulunmuştur.

**Çizelge 4.14.** ATM’lerin Birbirlerine Göre Yüzde Önem Ağırlıkları

ATM	Ağırlık	ATM	Ağırlık	ATM	Ağırlık
ATM1	0,0306929	ATM8	0,0420592	ATM15	0,0712818
ATM2	0,0234258	ATM9	0,0543795	ATM16	0,0786949
ATM3	0,0182574	ATM10	0,0531684	ATM17	0,0986279
ATM4	0,022795	ATM11	0,0534815	ATM18	0,0746544
ATM5	0,0228579	ATM12	0,0425669	ATM19	0,0708685
ATM6	0,0351027	ATM13	0,0389932	ATM20	0,0484303
ATM7	0,0350694	ATM14	0,0363876	ATM21	0,0482048

ATM'lerin kendi aralarındaki yüzdesel ağırlıkların hesaplanmasının ardından, stokastik periyodik gözden geçirmeli stok modeli kullanılarak ATM ağının günlere göre belirlenen nakit ihtiyacı ATM'lere dağıtılacaktır.

#### 4.6.1. Birinci Grup için Optimal Nakit Miktarının ATM'lere Dağıtılması

ATM ağının pazartesi, salı, çarşamba, ve perşembe günlerine ait optimal nakit ihtiyacı 572.752 TL olarak hesaplanmıştı. AHP ile bulunan ağırlıklara göre bu ihtiyacın ATM'lere dağıtılması Çizelge 4.15.'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.15.** Birinci Grup İçin Günlük Optimal Maksimum Nakit Seviyeleri

ATM	$I_{max}^*$	ATM	$I_{max}^*$	ATM	$I_{max}^*$
ATM1	17579	ATM8	24090	ATM15	40827
ATM2	13417	ATM9	31146	ATM16	45073
ATM3	10457	ATM10	30452	ATM17	56489
ATM4	13056	ATM11	30632	ATM18	42758
ATM5	13092	ATM12	24380	ATM19	40590
ATM6	20105	ATM13	22333	ATM20	27739
ATM7	20086	ATM14	20841	ATM21	27609

Örneğin, ATM1'de pazartesi günü için bulundurulması gereken optimal nakit miktarı;  $572.750 \times 0,0306929 = 17.579$  TL ile elde edilir. Eğer pazartesi saat 00:00'da yapılan kontrolde, ATM1 de 5500 TL nakit varsa, saat 10:00'da ATM1'e  $17579 - 5500 = 12079$  TL nakit yüklemesi yapılacaktır. Bu noktada, saat 23:00 ile 07:00 arasında ATM'lerden yapılan nakit çekimlerinin ihmal edildiği varsayımı unutulmamalıdır.

#### 4.6.2. İkinci Grup için Optimal Nakit Miktarının ATM'lere Dağıtılması

ATM ağının cuma ve pazar günlerine ait optimal nakit ihtiyacı 739.485 TL olarak hesaplanmıştı. AHP ile bulunan ağırlıklara göre bu ihtiyacın ATM'lere dağıtılması Çizelge 4.16.'da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.16.** İkinci Grup İçin Günlük Optimal Maksimum Nakit Seviyeleri

ATM	$I_{max}^*$	ATM	$I_{max}^*$	ATM	$I_{max}^*$
ATM1	22697	ATM8	31102	ATM15	52712
ATM2	17323	ATM9	40213	ATM16	58194
ATM3	13501	ATM10	39317	ATM17	72934
ATM4	16857	ATM11	39549	ATM18	55206
ATM5	16903	ATM12	31478	ATM19	52406
ATM6	25958	ATM13	28835	ATM20	35814
ATM7	25933	ATM14	26908	ATM21	35647

#### 4.6.3. Üçüncü Grup için Optimal Nakit Miktarının ATM'lere Dağıtılması

ATM ağının cumartesi gününe ait optimal nakit ihtiyacı 791.741 TL olarak hesaplanmıştı. AHP ile bulunan ağırlıklara göre bu ihtiyacın ATM'lere dağıtılması Çizelge 4.17.'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.17.** Üçüncü Grup İçin Günlük Optimal Maksimum Nakit Seviyeleri

ATM	$I_{max}^*$	ATM	$I_{max}^*$	ATM	$I_{max}^*$
ATM1	24301	ATM8	33300	ATM15	56437
ATM2	18547	ATM9	43054	ATM16	62306
ATM3	14455	ATM10	42096	ATM17	78088
ATM4	18048	ATM11	42343	ATM18	59107
ATM5	18098	ATM12	33702	ATM19	56109
ATM6	27792	ATM13	30873	ATM20	38344
ATM7	27766	ATM14	28810	ATM21	38166

Buraya kadar olan bölümde, verilerin analizi ile haftanın günleri gruplandırıldı, nakit çekim miktarlarının dağılım testleri yapıldı ve parametreleri tahmin edildi. Ardından stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli ile ATM ağının minimum maliyeti veren maksimum nakit seviyesi hesaplandı. Son olarak AHP ile ATM'lerin nakit talep ağırlıkları belirlendi ve AHP kullanılarak bulunan ağırlıklar ile ATM'lere dağıtıldı. Bir sonraki bölümde, ARENA simülasyon programı ile mevcut ve önerilen modeller simülasyon ortamına aktarılacak. Simülasyondan elde edilen sonuçlara göre modeller karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılacaktır.

#### 4.7. Simülasyon

Modelleri simülasyon ortamında çalıştırmak için ARENA 14 simülasyon programı kullanılmıştır. Mevcut ve önerilen modelleri karşılaştırmak için oluşturulan simülasyon modelleri, iki ana bölümden oluşmaktadır:

1. ATM'lerden nakit çekme faaliyeti
2. Nakit yükleme birimi

Öncelikle, her iki model için ortak olan birinci bölüm anlatılacaktır. ATM'lerden nakit çekme faaliyeti modellenirken bir takım varsayımlar yapılmıştır:

- Müşteriler, 23:00 ile 07:00 saatleri arasında ATM'leri nakit çekmek için kullanmamaktadır.
- Müşteriler, günün kalan 16 saatinin her bir saatinde, eşit miktarda nakit çekmektedir. Örneğin, saat 09:00-10:00 saatleri arasında yapılan çekim miktarı ile 22:00-23:00 saatleri arasında yapılan çekim miktarları eşittir.
- Nakit çekmek için geldikleri ATM'de yeterli miktarda nakit bulunmaması durumunda, müşteriler ATM'ye en yakın konumdaki diğer ATM'ye giderler. Gittikleri ATM'de de yeterli nakit yoksa, üçüncü bir ATM'ye gitmeden sistemden ayrılırlar.
- Müşterilerin gittikleri ATM'de yeteri kadar nakit olmasa bile, müşteri bulunan miktarı çeker, eksik kalan miktar için en yakındaki ATM'ye gider. Örneğin, içerisinde 400 TL bulunan bir ATM'ye, 500 TL çekmek için gelen müşteri, 400 TL'yi bu ATM'den, kalan 100 TL'yi en yakın diğer ATM'den çekmektedir.

ATM'lerde nakit çekim faaliyetleri 07:00-23:00 saatleri arasında yapılmaktadır. Her bir saat aralığında gerçekleşen nakit çekim miktarlarının analizi Minitab programı ile yapılmıştır. Her bir gün (yani grup) için nakit çekim miktarlarının dağılım uygunluk testleri yapılmış ve parametreleri tahmin edilmiştir. Girdi analizi ile elde edilen ve simülasyon modelinde kullanılan, her bir ATM'nin gün bazında nakit çekim miktarı dağılımları ve parametreleri EK-13'te sunulmaktadır. Yapılan varsayımlar ve girdi analizi ile elde edilen sonuçlara göre ATM'lerden nakit çekme faaliyeti modellenerek EK-14'te verilmiştir.

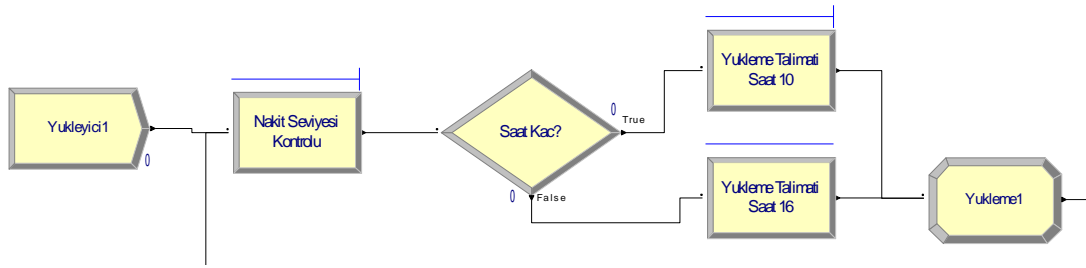
#### **4.7.1. Mevcut Sistem**

Oluşturulan mevcut sistem simülasyonu dört farklı bölümde incelenmiştir. ATM'lerden nakit çekim faaliyeti, birincisi olarak bir önceki bölümde anlatılmıştır.



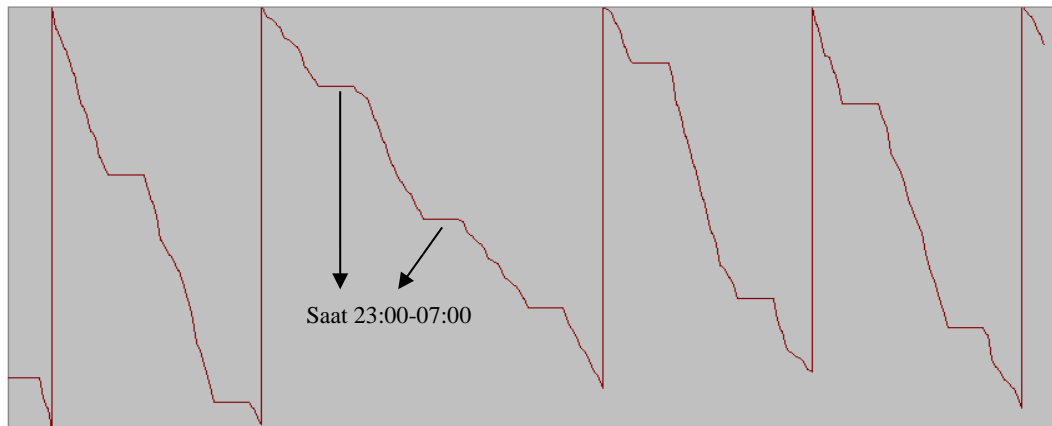
#### 4.7.1.1. Yükleme Birimi

Mevcut sistemin anlatıldığı bölümde, nakit yükleme faaliyetlerinin ( $r, R$ ) sistemi ile yapıldığı belirtilmişti. Yani, ATM'lerdeki nakit seviyesi önceden belirlenmiş olan  $r$  seviyesine eşit yada daha az olduğunda  $R-I$  kadar yükleme yapılmaktadır. Yükleme faaliyeti saat 10:00'da ve 16:00'da yapılmaktadır. Faaliyet ortalama 2 saat sürmektedir. Saat 10:00'da yapılamayan yükleme 16:00'da, 16:00'da yapılamayan yükleme ertesi gün saat 10:00'da yapılmaktadır. Bu bilgiler ışığında mevcut sistemde her bir ATM için yükleme birimi ARENA programında Şekil 4.12.'deki gibi modellenmiştir.



Şekil 4.12. Mevcut Sistemde Yükleme Birimi

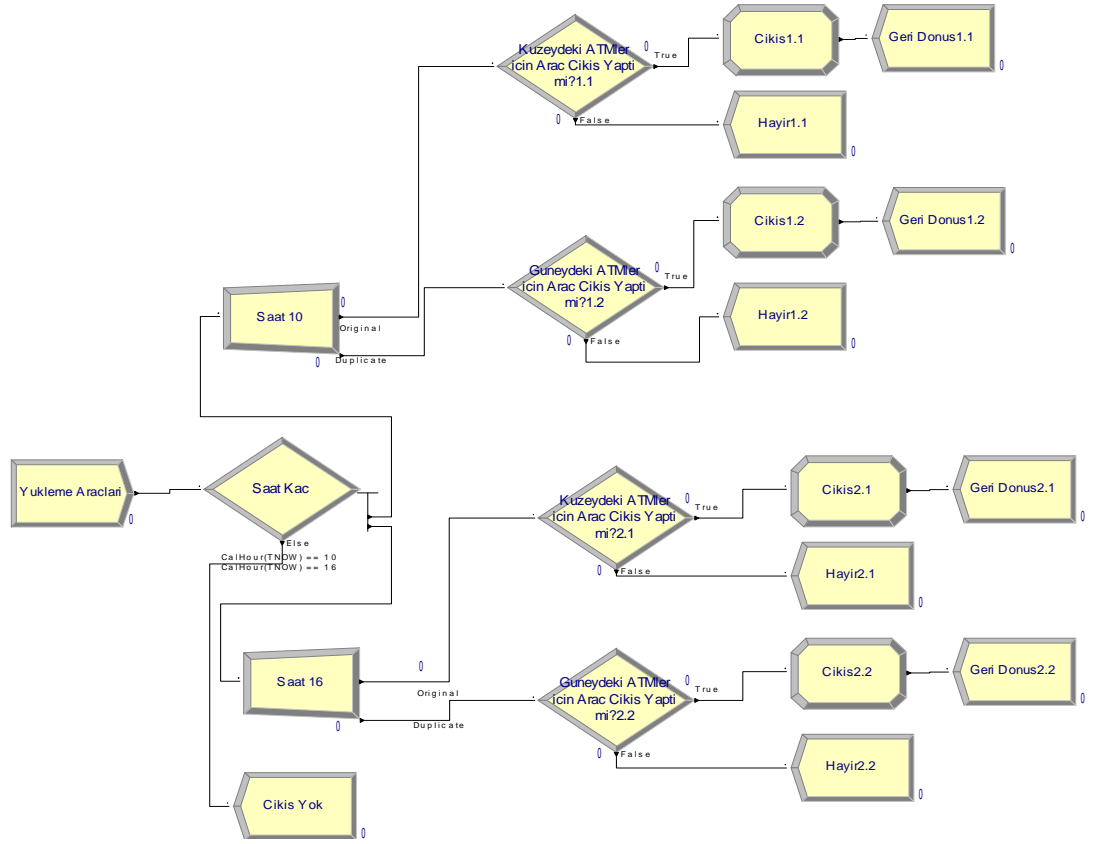
ATM nakit çekme faaliyeti ve yükleme birimi oluşturulduktan sonra simülasyon çalıştırılmış ve ATM1'e ait 10 günlük nakit seviyesi Şekil 4.13.'teki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Mevcut Model İçin Nakit Seviyesi Değişimi

#### 4.7.1.2. Yükleme Sayacı

Mevcut modelde, kuzey ve güneyde bulunan ATM'lere nakit yükleme işlemini yapan araçların çıkış sayılarının hesaplanması için oluşturulan bölümdür. Buradan elde edilen çıkış sayısı, yükleme maliyeti ile çarpılarak toplam nakit yükleme maliyeti (sipariş verme maliyeti) elde edilecektir. Yükleme sayacı Şekil 4.14.'teki gibi modellenmiştir.

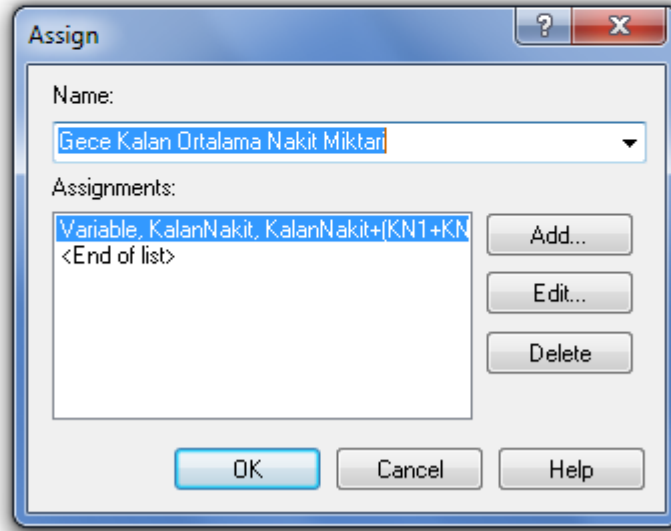
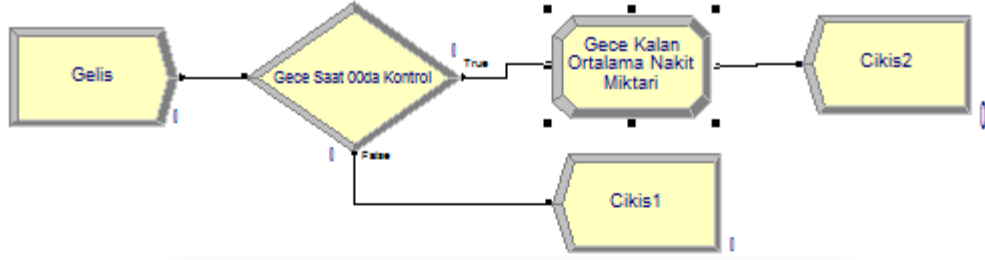


Şekil 4.14. Mevcut Sistem Yükleme Sayacı

#### 4.7.1.3. Veri Toplama ve Yazma

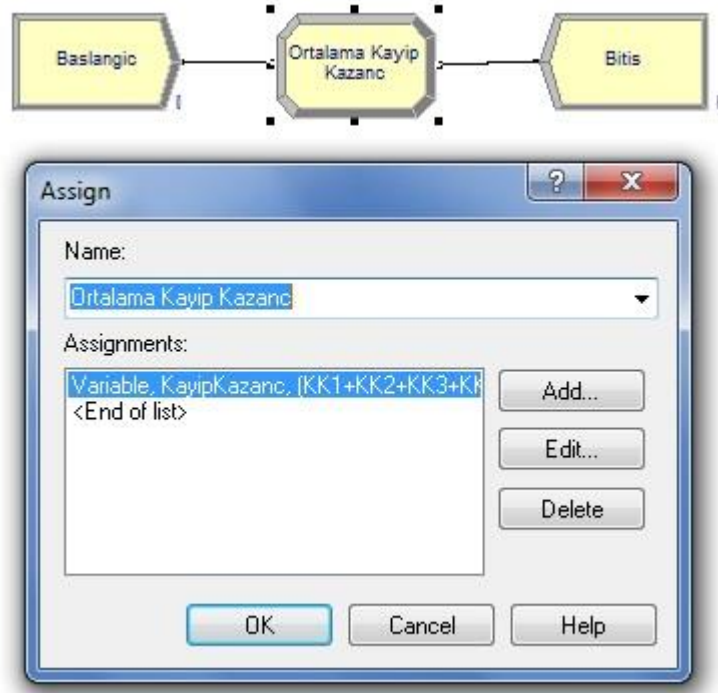
Bu bölümde, ATM'lerde bulundurulanan ortalama nakit miktarı ve ATM'lerden müşterilere sağlanamayan nakit miktarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu sayede,

daha önce elde edilen yükleme maliyeti ile birlikte bu parametreler de hesaplandığında toplam maliyet bulunmuş olacaktır. Geceleri, ATM'lerde bulundurulan ortalama nakit miktarının hesaplanması için Şekil 4.15.'teki model oluşturulmuştur.



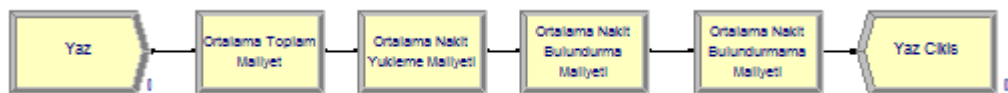
**Şekil 4.15.** Mevcut Sistem Ortalama Nakit Miktarı Hesaplama Modülü

ATM'lerden müşterilere sağlanamayan nakit miktarının hesaplanması için Şekil 4.16.'daki model oluşturulmuştur.



Şekil 4.16. Mevcut Sistem Kayıp Kazanç Hesaplama Modülü

İlgili veriler toplandıktan sonra, toplam maliyet ve diğer maliyetlerin bir excel dosyasına otomatik olarak yazdırılması için Şekil 4.17.'deki modül kullanılmıştır.



Şekil 4.17. Mevcut Model Yazdırma Modülü

Toplam maliyet hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Toplam Maliyet} = \text{Yükleme Sayısı} * 55 + \text{Yükleme Sayısı} * 5 + \text{Elde Bulundurulan Nakit} * 0,00015 + \text{Müşterilere Sağlanamayan Nakit} * 0,00312$$

#### 4.7.1.4. Toplam Maliyet

ATM nakit yönetimine ilişkin mevcut süreç modellenmiş, maliyet parametreleri bu modele göre hesaplanmış ve toplam maliyet fonksiyonu kullanılarak mevcut modele ait günlük ortalama maliyet elde edilmiştir. Oluşturulan simülasyon modeli 10 kez çalıştırılmış ve günlük ortalama nakit yükleme maliyeti Çizelge 4.18.'deki gibi;

**Çizelge 4.18.** Günlük Ortalama Nakit Yükleme Maliyeti

	<b>Günlük Ortalama Nakit Yükleme Maliyeti</b>
<b>Tekrar 1</b>	136,70
<b>Tekrar 2</b>	134,46
<b>Tekrar 3</b>	134,46
<b>Tekrar 4</b>	137,27
<b>Tekrar 5</b>	137,82
<b>Tekrar 6</b>	129,41
<b>Tekrar 7</b>	141,22
<b>Tekrar 8</b>	125,46
<b>Tekrar 9</b>	136,68
<b>Tekrar 10</b>	129,94

ATM'lerde gecelik ortalama nakit bulundurma maliyeti Çizelge 4.19.'daki gibi;

**Çizelge 4.19.** Gecelik Ortalama Nakit Bulundurma Maliyeti

	<b>Gecelik Ortalama Nakit Bulundurma Maliyeti</b>
<b>Tekrar 1</b>	57,54
<b>Tekrar 2</b>	57,46
<b>Tekrar 3</b>	58,37
<b>Tekrar 4</b>	57,74
<b>Tekrar 5</b>	58,29
<b>Tekrar 6</b>	58,98
<b>Tekrar 7</b>	57,66
<b>Tekrar 8</b>	58,36
<b>Tekrar 9</b>	57,92
<b>Tekrar 10</b>	58,29

ATM'lerden müşterilere günlük ortalama nakit sağlayamama maliyeti Çizelge 4.20.'deki gibi;

**Çizelge 4.20.** Günlük Ortalama Nakit Sağlayamama Maliyeti

	<b>Günlük Ortalama Nakit Sağlayamama Maliyeti</b>
<b>Tekrar 1</b>	25,83
<b>Tekrar 2</b>	22,66
<b>Tekrar 3</b>	17,83
<b>Tekrar 4</b>	22,86
<b>Tekrar 5</b>	16,22
<b>Tekrar 6</b>	17,41
<b>Tekrar 7</b>	25,29
<b>Tekrar 8</b>	21,89
<b>Tekrar 9</b>	19,39
<b>Tekrar 10</b>	18,57

elde edilmiştir. Buna göre mevcut sistemde günlük ortalama toplam maliyet; 10 tekrardan elde edilen sonuçların ortalaması alındığında 213,20 TL olarak hesaplanmıştır.

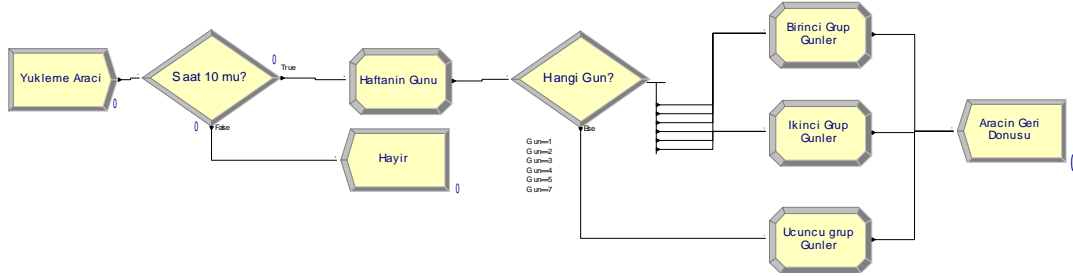
#### **4.7.2. Önerilen Model**

Çalışma kapsamında, gözden geçirme periyoduna göre üç farklı model önerilmiştir. Bu üç simülasyon modelinde tek farklı nokta yükleme modülleridir. Çünkü, modeller arasındaki temel fark yükleme periyotlarının farklı olmasıdır. ATM'lerden nakit çekim faaliyeti, birincisi olarak bir önceki bölümde anlatılmıştır.

##### **4.7.2.1. Yükleme Birimi**

Önerilen modeldeki yükleme stratejisi daha önceki bölümlerde anlatılmıştı. Dolayısıyla burada ayrıntıya girilmeyecektir. Simülasyon ortamında gözden geçirme

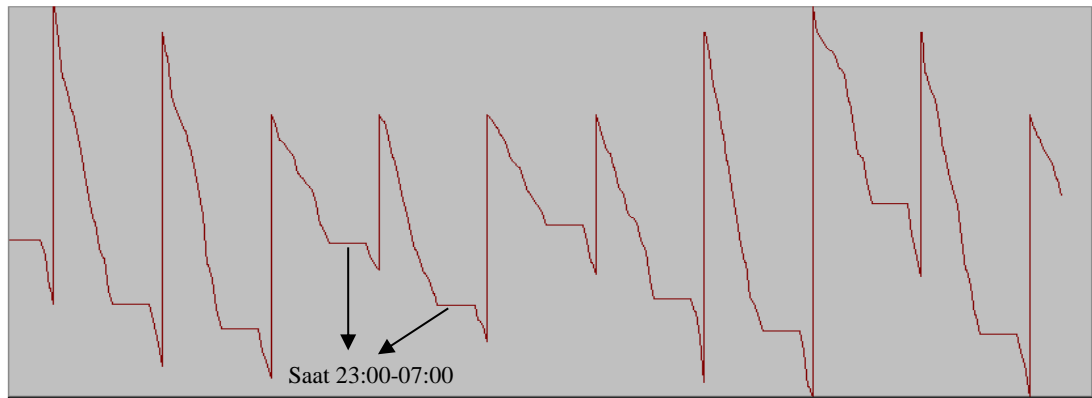
periyodunun üç farklı durumu denenmiştir;  $T=1$ ,  $T=2$  ve  $T=3$ . Bu periyotlar boyunca yapılacak yükleme faaliyetleri için Şekil 4.17.'deki modül oluşturulmuştur.



Şekil 4.18. Önerilen Model Yükleme Birimi

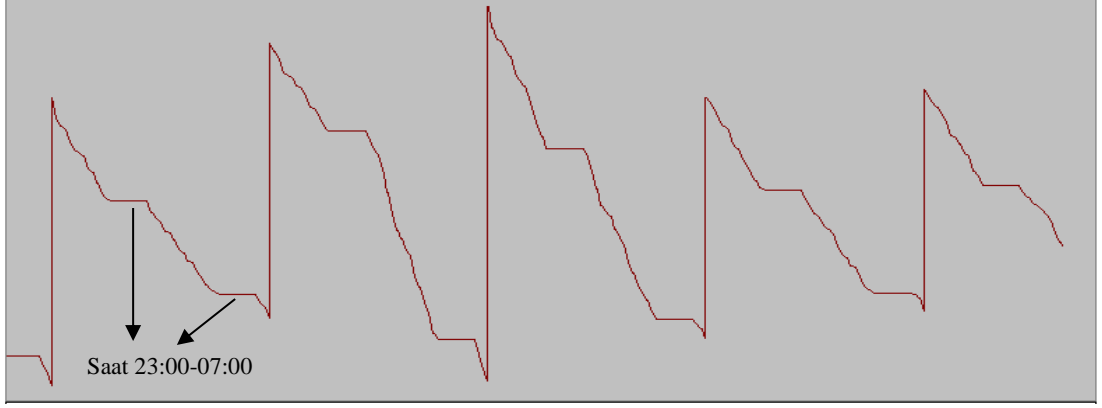
Bu modül sayesinde gözlem yapılan günlerde saat 10:00'da ihtiyaç duyulan nakit miktarı ATM'lere yüklenecektir.

Önerilen modeller için ATM nakit çekme faaliyeti ve yükleme birimi oluşturulduktan sonra simülasyon çalıştırılmış ve önerilen model\_1 ( $T=1$ ) için ATM1'e ait 10 günlük nakit seviyesi Şekil 4.18.'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.19. Önerilen Model-1 İçin Günlük Nakit Seviyesi Değişimi

Önerilen model\_1 ( $T=2$ ) için ATM1'e ait 10 günlük nakit seviyesi Şekil 4.19.'daki gibi elde edilmiştir.



**Şekil 4.20.** Önerilen Model-2 İçin Günlük Nakit Seviyesi Değişimi

Önerilen model\_3 ( $T=3$ ) için ATM1'e ait 10 günlük nakit seviyesi Şekil 4.20.'deki gibi elde edilmiştir.



**Şekil 4.21.** Önerilen Model-3 İçin Günlük Nakit Seviyesi Değişimi

#### 4.7.2.2. Veri Toplama ve Yazma

Mevcut simülasyon modelinde kullanılan modül, aynı ile önerilen modeller için de kullanılmıştır.



#### 4.7.2.3. Toplam Maliyet

Mevcut modelde kullanılan toplam maliyet fonksiyonu, önerilen modellerin maliyet hesapları için de kullanılmıştır. Veri toplama ve yazma bölümünden elde edilen veriler kullanılarak simülasyonun toplam maliyeti hesaplaması sağlanmıştır. Önerilen modeller ARENA 14 ile 10 kez koşulmuş ve günlük ortalama nakit yükleme maliyeti Çizelge 4.21.'deki gibi;

**Çizelge 4.21.** Önerilen Model Günlük Ortalama Nakit Yükleme Maliyetleri

<b>Günlük Ortalama Nakit Yükleme Maliyeti</b>	<b>Önerilen Model-1 (T=1)</b>	<b>Önerilen Model-2 (T=2)</b>	<b>Önerilen Model-3 (T=3)</b>
<b>Tekrar 1</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 2</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 3</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 4</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 5</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 6</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 7</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 8</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 9</b>	105	52,5	35,38
<b>Tekrar 10</b>	105	52,5	35,38

ATM'lerde gecelik ortalama nakit bulundurma maliyeti Çizelge 4.22.'deki gibi;

**Çizelge 4.22.** Önerilen Model Gecelik Ortalama Nakit Bulundurma Maliyetleri

<b>Gecelik Ortalama Nakit Bulundurma Maliyeti</b>	<b>Önerilen Model-1 (T=1)</b>	<b>Önerilen Model-2 (T=2)</b>	<b>Önerilen Model-3 (T=3)</b>
<b>Tekrar 1</b>	36,88	128,48	149
<b>Tekrar 2</b>	36,84	125,56	148,84
<b>Tekrar 3</b>	37,02	125,77	149,21
<b>Tekrar 4</b>	36,90	125,27	148,48
<b>Tekrar 5</b>	37,24	126,04	149,67
<b>Tekrar 6</b>	37	125,58	149,10
<b>Tekrar 7</b>	36,66	125,28	148,57
<b>Tekrar 8</b>	37,13	125,82	149,34
<b>Tekrar 9</b>	37,09	125,67	149,43
<b>Tekrar 10</b>	36,96	125,82	149,14

ATM'lerden müşterilere günlük ortalama nakit sağlayamama maliyeti Çizelge 4.23.'deki gibi;

**Çizelge 4.23.** Önerilen Model Günlük Ortalama Nakit Sağlayamama Maliyetleri

<b>Günlük Ortalama Nakit Sağlayamama Maliyeti</b>	<b>Önerilen Model-1 (T=1)</b>	<b>Önerilen Model-2 (T=2)</b>	<b>Önerilen Model-3 (T=3)</b>
<b>Tekrar 1</b>	3,39	0	0
<b>Tekrar 2</b>	3,21	0	0
<b>Tekrar 3</b>	3,2	0	0
<b>Tekrar 4</b>	2,93	0	0
<b>Tekrar 5</b>	3,8	0	0
<b>Tekrar 6</b>	3,54	0	0
<b>Tekrar 7</b>	3,79	0	0
<b>Tekrar 8</b>	2,54	0	0
<b>Tekrar 9</b>	3,31	0	0
<b>Tekrar 10</b>	3,38	0	0

elde edilmiştir. Buna göre önerilen sistemlerde günlük ortalama toplam maliyet; 10 tekrardan elde edilen sonuçların ortalaması alındığında aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

- Önerilen Model\_1 = 145,28 TL
- Önerilen Model\_2 = 178,13 TL
- Önerilen Model\_3 = 184,46 TL

Sonuç olarak mevcut model ve önerilen modellerin maliyet karşılaştırılması Çizelge 4.24.'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.24.** Toplam Maliyetlerin Karşılaştırılması

<b>Toplam Maliyet</b>	<b>Mevcut Model</b>	<b>Önerilen Model-1 (T=1)</b>	<b>Önerilen Model-2 (T=2)</b>	<b>Önerilen Model-3 (T=3)</b>
<b>10 Tekrarın Ortalaması</b>	213,20 TL	145,28 TL	178,13 TL	184,46 TL
<b>İyileşme %</b>		31,86	16,45	13,48

Yapılan tüm analizler sonucunda gözden geçirme süresinin 1 gün olduğu durumda mevcut sisteme göre % 31,86'lık bir iyileşme, 2 gün olduğu durumda % 16,45'lik bir iyileşme ve 3 gün olduğu durumda % 13,48'lik bir iyileşme sağlandığı görülmektedir.

Çalışma yapılan bankanın Türkiye genelinde 3400 ATM'si bulunmaktadır. 21 ATM için maliyetlerde günlük  $213,20 - 145,28 = 85,92$  TL azalma mümkündür.

Türkiye genelinde günlük yaklaşık;  $(3400/21) * 85,92 = 13.910,86$  TL maliyetlerde azaltma yapılabilir. Bu hesaplama yıllık bazda yapıldığında, bankanın sahip olduğu tüm ATM'lerde yıllık toplam nakit kaynaklı maliyetler yaklaşık olarak  $13.910,86 * 365 = 5.077.462$  TL azaltılabilir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bir bankanın merkezi konumda bulunan 21 ATM'sinde nakit kaynaklı maliyetleri minimize eden, günlük olarak bulundurulması gereken optimal nakit miktarları ve nakit yükleme periyotları, stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli tabanlı bir optimizasyon süreci ile hesaplanmıştır.

Çalışmanın ilk kısımlarında ATM'lerin gelişimi ve tarihçesi anlatılmış, günümüzde ATM nakit yönetiminin önemi üzerinde durulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş, bu çalışma ile olan benzerlikler ve farklılıklara dikkat çekilmiştir. Materyal ve yöntem kısmında, çalışmada kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), stok kontrol modelleri ve simülasyon yöntemleri anlatılmıştır.

Problem tanımı beş farklı başlık altında yapılmıştır. Müşteri davranışları, ATM sayıları, ATM konumları ve ATM bakım hizmetleri çalışma kapsamına alınmamıştır. Çalışmada üzerinde durulan en önemli nokta, ATM'lerde bulundurulması gereken optimal nakit miktarının hesaplanmasıdır.

Öncelikle, bankadan elde edilen veriler analiz edilmiştir. Bankadan alınan yaklaşık 11 aylık veri incelenmiştir. Çalışma sadece mart, nisan ve mayıs ayları içerisinde ATM'lerden yapılan nakit çekimlerini kapsayacak şekilde ele alınmıştır. Dikkate alınan aylarda nakit çekim davranışlarının aynı olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, maaş günleri gibi özel günlerin etkileri ihmal edilmiştir. Bu varsayımlar modeli gerçek hayattan bir miktar uzaklaştırmakla beraber, asıl konuya odaklanılmasını sağlamıştır. Yapılan analizlerin ardında 92 günlük bir veri seti oluşturulmuştur. Veri seti gün bazında ele alınmış ve günlük nakit çekim miktarlarının davranış biçimlerini belirlemek için olasılık dağılım testleri yapılmıştır. Daha ayrıntılı ve sağlıklı analiz için günler Tukey ve Fisher yöntemleri ile gruplandırılmıştır. Gruplandırma neticesinde hafta içi ve hafta sonu günlerinin farklı davrandığı tespit edilmiş ve üç grup oluşturulmuştur. Ancak, kullanılan bu yöntemler çok güçlü istatistiksel araçlar olmadığından, daha tatmin edici yöntemler kullanmak mümkündür. Çalışma kapsamında problemin istatistiki boyutu derinlemesine incelenmemiştir. Ardından

her gün grupları için dağılım testleri yapılarak ATM ağının günlük nakit ihtiyacı tahmin edilmiştir.

Stokastik periyodik gözden geçirmeli stok kontrol modeli ile ATM ağı için toplam maliyeti minimum yapan günlük optimal yükleme seviyesi belirlenmiştir. Problemin çözümünde, sürekli gözden geçirmeli stok modeli yerine periyodik stok modelinin kullanılmasının en temel sebebi güvenlik gerekçesidir. Çünkü, banka günün her saatinde yükleme yapmaya sıcak bakmamaktadır. Hırsızlık vakaları riskinin minimum olduğu saatlerin tercih edilmesi, problemin periyodik stok modeli ile çözümü zorunlu kılmıştır. Gözlem periyotları bir, iki ve üç gün olarak belirlenmiş ve simülasyonun ardından karşılaştırılmıştır.

Modelin temel parametreleri olan elde bulundurma maliyeti için gecelik repo, yok satma maliyeti için ATM'lerden sağlanan nakit avans oranları dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin haftalık hatta günlük olarak değişmesi mümkün olduğu için, modelin dinamik bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Ancak çalışma kapsamında bu durum ihmal edilmiştir.

ATM ağının günlük optimal nakit ihtiyacının ATM'lere dağıtılması için AHP kullanılmıştır. Banka yetkilileri ile görüşmek suretiyle ATM'lerin birbirlerine göre talep ağırlıkları hesaplanmıştır. Ancak, yapılan değerlendirmelerin subjektif olduğunu düşündüğümüzde, elde edilen sonuçların güvenilirliği tartışmaya açıktır. Daha güçlü yöntemler (bulanık TOPSIS) ile daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilecektir.

21 ATM için günlük bazda optimal nakit yükleme seviyeleri belirlendikten sonra Arena 14 simülasyon programı ile mevcut durum ve önerilen modeller simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar çalıştırılmış ve daha önceden belirlenen bir toplam maliyet fonksiyonuna göre değerlendirmeler yapılmıştır. Toplam maliyet fonksiyonunda; yükleme maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve yok satma maliyetleri tanımlanmıştır. Yükleme maliyeti hesaplanırken bazı kabuller yapılmıştır. Öncelikle bu maliyet kalemi ikiye ayrılmıştır: Yakıt ve personel. Yükleme faaliyeti her gün değiştiğinden dinamik bir yapıya sahiptir. Yükleme maliyeti belirlenirken, her ATM başına yükleme maliyeti olarak sabit bir değer alınması anlamlı

olmayacaktır. Çünkü, bazı durumlarda bir ATM'ye yükleme yapmak ile üç ATM'ye yükleme yapmak arasında yakıt maliyeti açısından fark bulunmamaktadır. Zira, personele yükleme başına değil, çıkış başına ücret ödenmektedir. Dolayısıyla, yakıt maliyeti hesaplanırken ATM ağı için ortalama bir güzergah belirlenmiş ve yine ortalama bir yakıt maliyeti (5 TL) belirlenmiştir. Halbuki, araç rotama modeli ile, rotalar günlük olarak belirlenebilir, hem maliyet etkin hem de güvenli güzergahlar dinamik olarak elde edilebilir. Bu sayede, hem maliyetler azalır, hem de hırsızlık riskleri minimize edilmiş olur. Ancak, bu çalışma kapsamında bu noktaya değinilmemiş, gelecek çalışmalara açık kapı olarak bırakılmıştır.

Sonuç olarak, simülasyon sonuçları bir günlük periyotlar halinde ATM'lerindeki nakit seviyesi kontrol edilerek, belirlenen maksimum nakit seviyesine kadar yükleme yapıldığında toplam maliyetin mevcut duruma göre %31,86 oranında azaldığını göstermiştir. Ayrıca, iki ve üç günlük periyotlar halinde gözlem yapılması durumunda sırasıyla %16,45 ve %13,48 oranlarında iyileştirmeler yapılabilmektedir. Her ne kadar iki ve üç günlük gözlem periyotlarında toplam maliyet bir günlük periyoda göre fazla çıkmış olsa da, yok satma maliyetlerinin sıfır olması ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin %100 seviyesine çıkıyor olması bankanın iki ve üç günlük gözlem periyotlarını tercih edebileceğini göstermektedir. Çalışma neticesinde, önerilen model-1'in bankanın sahip olduğu tüm ATM'lere uygulanması halinde ATM'lerin nakit kaynaklı maliyetlerinde yıllık yaklaşık 5 milyon TL iyileştirme yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] American Bankers Association Consumer Survey Conducted By Ipsos Public Affairs.  
<http://www.aba.com/Press/Documents/PreferredBankingMethods55+.pdf>  
(Erişim Tarihi: 16.04.2014)
- [2] Simutis, R., Dilijonas, D., Bastina, L., Friman, J., Dorbinov, P., Optimization Of Cash Management For ATM Network. Information Technology And Control, 36 (1A), 2007.
- [3] Bankamatik. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Bankamatik>  
(Erişim Tarihi: 10.01.2014)
- [4] Automated Teller Machines (ATMs) (per 100,000 adults).  
<http://data.worldbank.org/indicator/FB.ATM.TOTL.P5>  
(Erişim Tarihi: 18:04.2014)
- [5] Türkiye’de ATM İstatistikleri. <http://www.bkm.com.tr/donemsel-bilgiler.bkm>  
(Erişim Tarihi: 12.02.2014)
- [6] Automated Teller Machine Use In The United States.  
<http://www.creditcards.com/credit-card-news/atm-use-statistics-3372.php>  
(Erişim Tarihi: 12.02.2014)
- [7] Dilijonas, D. ve Sakalauskas V., Self-service Systems Performance Evaluation and Improvement Model. International Federation For Information Processing. Lithuania, AICT 353, 87-98, 2011.
- [8] Armenise, R., Birtolo, C., Sangianantoni, E., Troinano, L., A Generative Solution For ATM Cash Management. International Conference Of Soft Computing And Pattern Recognition. Napoli-Italy. 978-1-4244-7896-5/10/\$26.00, 2010.
- [9] Baumol, W.J., The Transactions Demand For Cash: An Inventory Theoretic Approach. Quarterly Journal Of Economics. 66 (4), 1952.
- [10] Johnson, D.C., Montgomery, L.A., Operations Research In Production Planning, Scheduling And Inventory Control, John Wiley and Sons Inc., New York, 1974.
- [11] Constandinides, G.M., Richard, S.F., Existence Of Optimal Simple Policies For Discounted-Cost Inventory And Cash Management In Continuous Time. Operations Research. 26 (4): 620-636, 1978.

- [12] Boeschoten, W.C., Cash Management, Payment Patterns And Demand For Money. *De Economist*. 146 (1): 117-142, 1998.
- [13] Miranda, A.K., Muñoz, D.F., Dss To Manage ATM Cash Under Periodic Review With Emergency Orders. Autonomous Technological Institute of Mexico. Technical Report, 2005.
- [14] Alvarez, F., Lippi, F., Financial Innovation And The Transactions Demand For Cash. *Econometrica*, Econometric Society, 77 (2): 363-402, 2009.
- [15] Brentnall, A.R., Crowder, M.J., Hand, D.J., A Statistical Model For The Temporal Pattern Of Individual Automated Teller Machine Withdrawals. *Applied Statistic*. 57 (1): 43-59, 2008.
- [16] Brentnall, A.R., Crowder, M.J., Hand, D.J., Predicting The Amount Individuals Withdraw At Cash Machines Using A Random Effects Multinomial Model. *Statistical Modeling*. 10(2): 197–214, 2010.
- [17] Simutis, R., Dilijonas, D., Bastina, L., Cash Demand Forecasting For ATM Using Neural Networks And Support Vector Regression Algorithms. *Continuous Optimization and Knowledge-Based Technologies (EurOPT-2008)*, Neringa- Lithuania, 416–421, 2008.
- [18] Snellman, H., Viren, M., ATM Network And Cash Usage. *Applied Financial Economics*. 19 (10): 841-851, 2009.
- [19] Esteves, P.S., Rodrigues, P.M.M., Calendar Effects In Daily ATM Withdrawals. *Economics Bulletin*, 30(4): 2587-2597, 2010.
- [20] Brentnall, A.R., Crowder, M.J., Hand, D.J., Predictive-Sequential Forecasting System Development For Cash Machine Stocking. *International Journal of Forecasting*. 26 (2010): 764–776, 2010.
- [21] Azuma, R.M., Coelho, G.P., Zuben, F.J.V., Evolutionary Multi-Objective Optimization For The Vendor-Managed Inventory Routing Problem. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. 978-1-4244-7835-4/11/\$26.00, 2011.
- [22] Venkatesh, K., Ravi, V., Prinzie, A., Poel, D.V., Cash Demand Forecasting In ATMs By Clustering And Neural Networks. *European Journal of Operational Research*. 232 (2014): 383–392, 2013.
- [23] Çelik, T.Y., Doğan, E., Sancı, E., Türeci, H., Köksalan, M., Gürel, S., Bankamatik Kasalarının Nakit Yönetimi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 24 (3-4): 16-28, 2013.



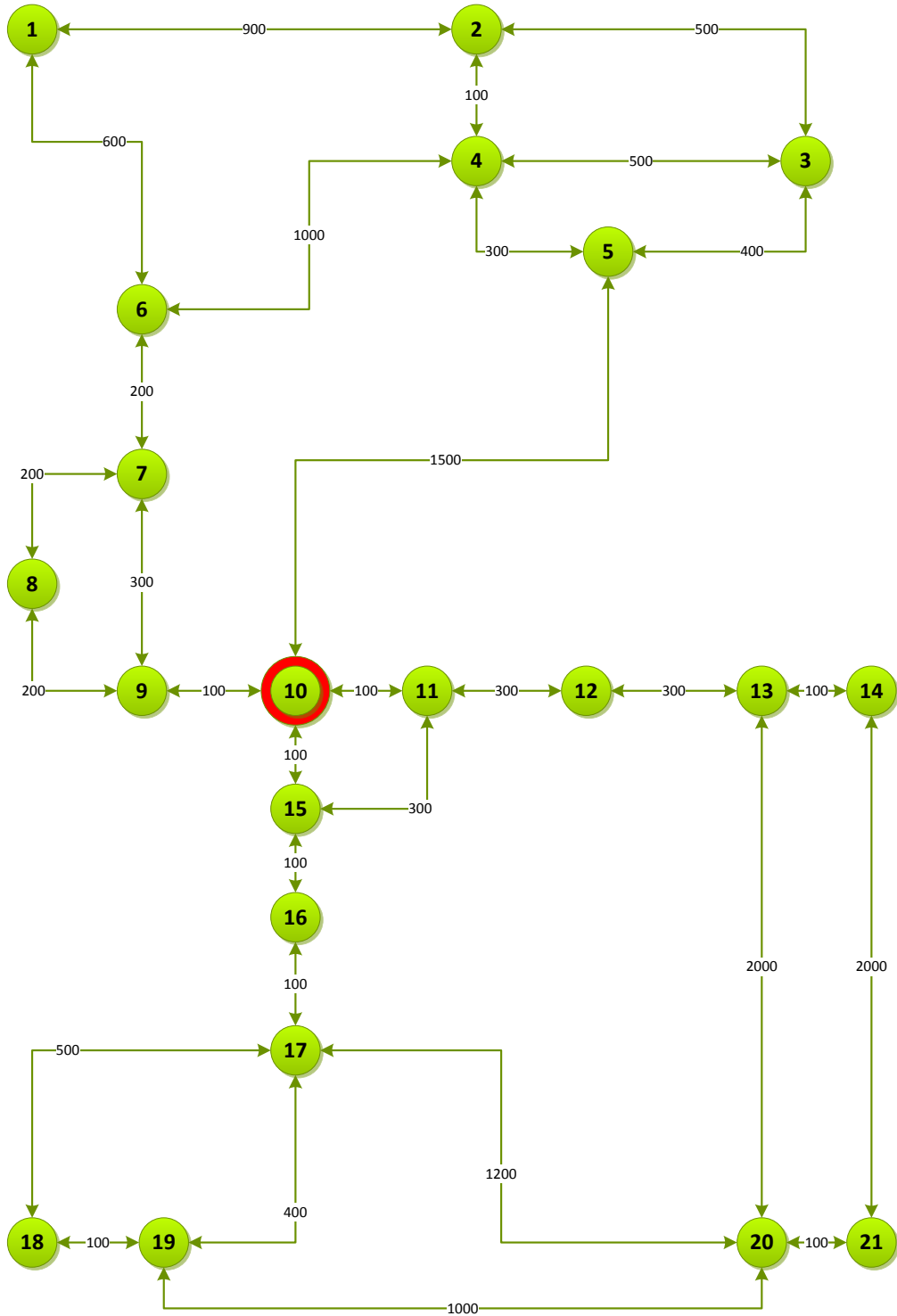
- [24] Baker, T., Jayaraman, V., Ashley, N., A Data-Driven Inventory Control Policy For Cash Logistics Operations: An Exploratory Case Study Application At A Financial Institution. *Decision Science*. 44 (1): 205-226, 2012.
- [25] Elsayed, E.A., Boucher, T.O., *Analysis And Control Of Production Systems*, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
- [26] Taha, H.A., *Yöneylem Araştırması, Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 2010.
- [27] Winston, W.L., *Operations Research: Applications And Algorithms*, Cengage Learning, 2003.
- [28] Starr, M.K., David, W.M., *Inventory Control: Theory And Practice*, Prentice Hall, New Jersey, 1963.
- [29] Inderfurth, K., Minner S., Safety Stocks In Multi-stage Inventory Systems Under Different Service Measures. *European Journal of Operational Research*. 106 (1): 57-73, 1998.
- [30] Ermiş, A., Çarlıoğlu, S., “Periyodik Gözden Geçirmeli Modeller”, Gazi Üniversitesi Ders Notları, 3-4, 2004.
- [31] Johansen, S.G., Hill, R.M., The  $(r,Q)$  Control Of A Periodic-review Inventory System With Continuous Demand And Lost Sales. *International Journal of Production Economics*. 68 (3): 279-286, 2000.
- [32] Chen, F., Zheng, Y.S., Sensitivity Analysis Of An  $(s,S)$  Inventory Model. *Operations Research Letters*. 21 (1): 19-23, 1997.
- [33] DeCroix, G.A., Mookerjee, V.S., Purchasing Demand Information In A Stochastic-demand Inventory System. *European Journal of Operational Research*. 102 (1): 36-57, 1997.
- [34] Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, USA, McGraw Hill, 1980.
- [35] Badri, M.A., A Combined AHP–GP Model For Quality Control Systems. *International Journal of Production Economics*. 72 (30): 27-40, 2001.
- [36] Dyer, R.F., Forman, E., Mustafa, M., Decision Support For Media Selection Using The Analytic Hierarchy Process. *Journal of Advertising*. 21: 59-62, 1992.
- [37] Albayrak, E., Erensal, Y.C., Using Analytic Hierarchy Process (AHP) To Improve Human Performance: An Application Of Multiple Criteria Decision

- Making Problem”. Journal of Intelligent Manufacturing, 15 (4): 491-503, 2004.
- [38] Wang, J.J., Yang, D.L., Using A Hybrid Multi-criteria Decision Aid Method For Information Systems Outsourcing. Computers & Operations Research. 34 (12): 369, 1-3700, 2007.
- [39] Analitik Hiyerarşi Prosesi  
[www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/.../Analitik\\_Hiyerarshi\\_Proses.doc](http://www.deu.edu.tr/userweb/k.yaralioglu/.../Analitik_Hiyerarshi_Proses.doc)  
(Erişim Tarihi: 25.05.2014)
- [40] Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Sturrock, D.T., Simulation With Arena, Third Edition, McGraw Hill, New York, 2003.
- [41] Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Sturrock, D.T., Simulation With Arena, Fourth Edition, McGraw Hill, New York, 2007.
- [42] Nelson, B.L., Stochastic Modeling: Analysis And Simulation, Dover Publications, New York, 2010.
- [44] Rosetti, M.D., Simulation Modeling And Arena, John Wiley and Sons Inc., New York, 2009.
- [45] Bateman, R.E., Bowden, R.G., Gogg, T.J., Harrell, C.L., Mott, J.R.A., System Improvement Using Simulation, Fifth Edition, Promodel Corporation, 1997.
- [46] Türker, A.K., Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon Ve Arena, Kral Matbaa, Eskişehir, 2011.
- [47] Minitab StatGuide, Minitab Inc., Coventry, United Kingdom, 2012.
- [48] Arena User’s Guide, Rockwell Automation, Inc., Chicago, 2010.

## EKLER

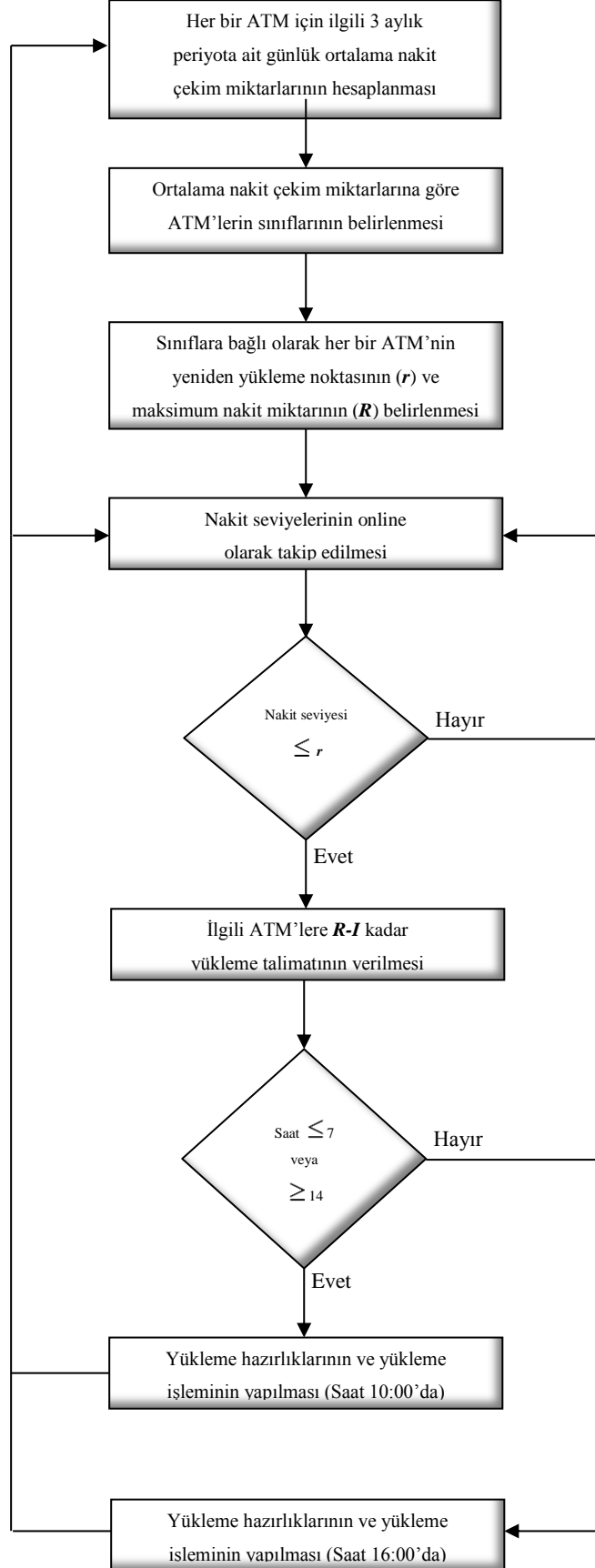
### EK-1

#### ATM Konumları ve Yaklaşık Mesafeler



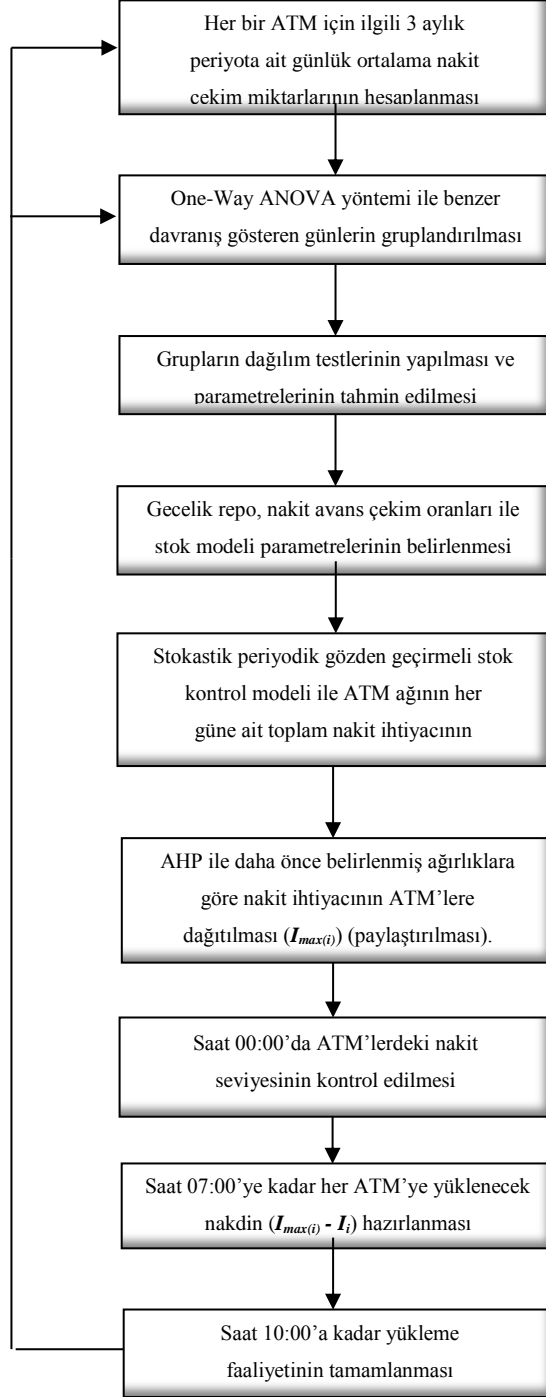
## EK-2

### Mevcut Durumdaki Nakit Yükleme Süreci



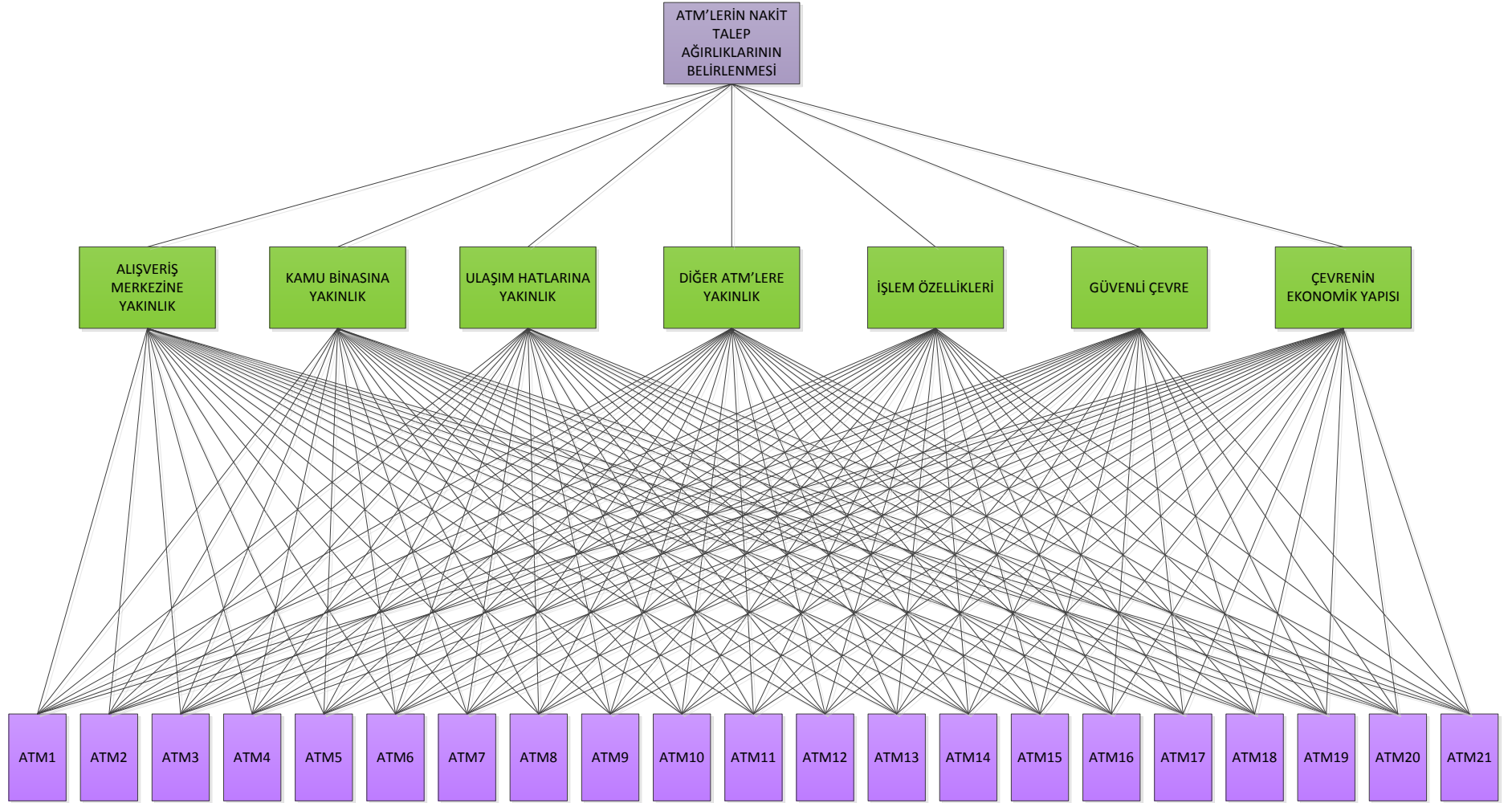
### EK-3

#### Önerilen Modeldeki Nakit Yükleme Süreci



## EK-4

### AHP Hiyerarşisi



**EK-5**

**Alışveriş Merkezine Yakınlık**

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	0,50	0,50	0,33	2,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,25	0,33	0,50	0,50	0,50
2	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,33	1,00	0,33	0,33	0,25	0,25	0,20	0,25	0,33	0,33	0,33
3	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,50	0,20	0,25	0,17	0,50	0,25	0,25	0,17	0,25	0,13	0,17	0,17	0,20	0,20
4	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	0,50	1,00	1,00	0,33	0,33	0,25	1,00	0,33	0,33	0,25	0,25	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25
5	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	0,33	0,33	0,25	1,00	0,33	0,33	0,33	0,25	0,25	0,33	0,33	0,25	0,25
6	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,33	2,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
7	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00	0,50	0,50	0,33	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50
8	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	0,33	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00
9	2,00	2,00	5,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	0,50	3,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50
10	2,00	2,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	0,50	3,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
11	3,00	3,00	6,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50
12	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00
13	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
14	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,20	0,50	0,50
15	3,00	4,00	6,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
16	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	2,00	2,00	1,00	1,00
17	4,00	5,00	8,00	5,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00
18	3,00	4,00	6,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
19	2,00	3,00	6,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	5,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
20	2,00	3,00	5,00	4,00	4,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21	2,00	3,00	5,00	4,00	4,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04
2	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
5	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
6	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
7	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,01	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
8	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07
9	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,08	0,03	0,08	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,06	0,04	0,04
10	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,03	0,02	0,04	0,03	0,08	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04
11	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,05	0,08	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,06	0,04	0,04
12	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07
13	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04
14	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,01	0,04	0,04
15	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,05	0,09	0,08	0,07	0,04	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07
16	0,08	0,08	0,05	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,05	0,09	0,08	0,14	0,08	0,05	0,14	0,13	0,07	0,07
17	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,08	0,09	0,08	0,14	0,16	0,10	0,14	0,13	0,07	0,07
18	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,09	0,08	0,10	0,05	0,09	0,08	0,07	0,04	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07
19	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,05	0,08	0,05	0,05	0,09	0,19	0,07	0,04	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07
20	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	0,03	0,09	0,08	0,10	0,03	0,09	0,08	0,07	0,08	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07
21	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	0,03	0,09	0,08	0,10	0,03	0,09	0,08	0,07	0,08	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07

**EK-5 (devam)**

<b>W</b>	1	<b>D</b>	1	<b>E</b>	1
1	0,03001	1	0,66	1	21,91
2	0,01953	2	0,43	2	21,99
3	0,01231	3	0,27	3	21,91
4	0,01949	4	0,43	4	21,93
5	0,01784	5	0,39	5	21,96
6	0,03106	6	0,68	6	21,94
7	0,03151	7	0,69	7	21,82
8	0,03070	8	0,67	8	21,78
9	0,04981	9	1,10	9	22,12
10	0,04333	10	0,96	10	22,05
11	0,06186	11	1,37	11	22,23
12	0,02715	12	0,59	12	21,70
13	0,04672	13	1,03	13	22,14
14	0,04581	14	1,01	14	22,13
15	0,07090	15	1,58	15	22,33
16	0,08211	16	1,83	16	22,28
17	0,09798	17	2,17	17	22,12
18	0,07090	18	1,58	18	22,33
19	0,06963	19	1,56	19	22,40
20	0,07068	20	1,57	20	22,23
21	0,07068	21	1,57	21	22,23



**EK-6**

**Kamu Binasına Yakınlık**

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00
2	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50
3	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,25	0,33	0,33	0,50	0,50
4	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50
5	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50
6	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
7	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50	1,00	2,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00
8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
9	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
10	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
11	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
12	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
13	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
14	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50
15	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00
16	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
17	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
18	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
19	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
20	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
21	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,03	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
2	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
3	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
4	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
5	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02
6	0,03	0,08	0,07	0,08	0,08	0,04	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
7	0,03	0,06	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04	0,07	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
8	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
9	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05	0,09	0,09	0,07	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
10	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,08	0,08	0,04	0,04
11	0,06	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
12	0,06	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
13	0,06	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
14	0,06	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
15	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,07	0,05	0,05	0,09	0,09	0,09	0,07	0,05	0,03	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04
16	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,10	0,05	0,04	0,04	0,07	0,11	0,06	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09
17	0,09	0,08	0,10	0,08	0,08	0,07	0,11	0,07	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,05	0,06	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09
18	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,11	0,05	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,06	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09
19	0,09	0,08	0,07	0,08	0,05	0,07	0,08	0,07	0,11	0,05	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,06	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09
20	0,03	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
21	0,03	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

**EK-6 (devam)**

<b>W</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	<b>1</b>	<b>E</b>	<b>1</b>
1	0,03375	1	0,74	1	21,90
2	0,02922	2	0,64	2	21,84
3	0,02496	3	0,54	3	21,79
4	0,02530	4	0,55	4	21,78
5	0,02595	5	0,56	5	21,76
6	0,04375	6	0,96	6	21,87
7	0,04142	7	0,90	7	21,80
8	0,03640	8	0,80	8	21,89
9	0,05715	9	1,26	9	22,09
10	0,05234	10	1,15	10	22,02
11	0,04711	11	1,04	11	22,10
12	0,04403	12	0,97	12	22,06
13	0,04403	13	0,97	13	22,06
14	0,03860	14	0,86	14	22,16
15	0,05823	15	1,28	15	22,02
16	0,05815	16	1,27	16	21,89
17	0,08545	17	1,88	17	21,98
18	0,08262	18	1,82	18	22,00
19	0,08140	19	1,79	19	22,01
20	0,04506	20	0,99	20	21,97
21	0,04506	21	0,99	21	21,97

**EK-7**

**Ulaşım Hatlarına Yakınlık**

<b>A</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,25	0,25	0,33	1,00	1,00
2	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50
3	0,33	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,20	0,20	0,25	0,33	0,33
4	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	0,25	0,25	0,20	0,20	0,25	0,50	0,50
5	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	0,25	0,25	0,20	0,20	0,25	0,50	0,50
6	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,33	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00
7	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	0,33	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00
8	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00
9	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00
10	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00
11	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00
12	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00
13	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50
14	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,33	0,33	0,33	0,25	0,33	0,50	0,50
15	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00
16	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00
17	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	4,00	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	0,50	2,00	2,00	2,00
18	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	4,00	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00
19	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00
20	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
21	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00

<b>C</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
2	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
3	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
4	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
5	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
6	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04
7	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04
8	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
9	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04
10	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,08	0,08
11	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
12	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04
13	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02
14	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
15	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	0,06	0,09	0,09	0,05	0,09	0,07	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,08	0,08
16	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,13	0,09	0,11	0,09	0,07	0,08	0,07	0,12	0,08	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08
17	0,11	0,08	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,13	0,11	0,13	0,10	0,08	0,07	0,12	0,16	0,10	0,06	0,16	0,08	0,08
18	0,11	0,08	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,13	0,11	0,13	0,10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,21	0,12	0,16	0,08	0,08
19	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,12	0,12	0,09	0,13	0,11	0,09	0,10	0,08	0,07	0,12	0,08	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08
20	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04
21	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04

**EK-7 (devam)**

<b>W</b>	1	<b>D</b>	1	<b>E</b>	1
1	0,02943	1	0,63	1	21,35
2	0,02003	2	0,43	2	21,36
3	0,01517	3	0,33	3	21,65
4	0,01948	4	0,42	4	21,38
5	0,01948	5	0,42	5	21,38
6	0,03150	6	0,68	6	21,57
7	0,03396	7	0,73	7	21,48
8	0,04824	8	1,04	8	21,66
9	0,04823	9	1,04	9	21,65
10	0,05616	10	1,21	10	21,58
11	0,04888	11	1,06	11	21,66
12	0,03453	12	0,74	12	21,42
13	0,02630	13	0,57	13	21,50
14	0,02349	14	0,51	14	21,61
15	0,06845	15	1,48	15	21,69
16	0,08399	16	1,84	16	21,85
17	0,10669	17	2,34	17	21,95
18	0,11579	18	2,53	18	21,85
19	0,08838	19	1,94	19	21,90
20	0,04090	20	0,88	20	21,50
21	0,04090	21	0,88	21	21,50

## EK-8

### Diğer ATM'lere Yakınlık

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,25	0,25	0,20	0,50	0,33	0,50	0,50
2	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,25	0,50	0,33	1,00	1,00
3	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,25	0,25	0,50	0,33	1,00	1,00
4	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,25	0,25	1,00	0,50	1,00	1,00
5	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	0,25	0,25	1,00	0,50	1,00	1,00
6	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,33	0,25	0,25	1,00	0,50	1,00	1,00
7	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	0,50	1,00	1,00
8	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,33	0,33	2,00	1,00	2,00	2,00
9	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	0,33	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00
10	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	3,00	3,00
11	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	2,00	1,00	3,00	3,00
12	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00	1,00	2,00	2,00
13	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00	1,00	2,00	2,00
14	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	0,50	1,00	1,00
15	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00
16	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00
17	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00
18	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	2,00	2,00	2,00
19	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
20	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
21	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
2	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03
3	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03
4	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
5	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
6	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
7	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
8	0,04	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,07	0,04	0,06	0,06
9	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,09	0,03	0,03	0,07	0,09	0,06	0,06
10	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05	0,07	0,09	0,09	0,09
11	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,09	0,09
12	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,06	0,06
13	0,04	0,06	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,07	0,04	0,06	0,06
14	0,04	0,06	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
15	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,06	0,12	0,12	0,11	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,06	0,06
16	0,08	0,08	0,09	0,11	0,11	0,12	0,09	0,12	0,17	0,12	0,12	0,11	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,06	0,06
17	0,10	0,11	0,09	0,11	0,11	0,12	0,09	0,12	0,17	0,12	0,12	0,11	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,06	0,06
18	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09	0,06	0,06
19	0,06	0,08	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,06	0,06	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03
20	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03
21	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03

**EK-8 (devam)**

<b>W</b>	1	<b>D</b>	1	<b>E</b>	1
1	0,01811	1	0,39	1	21,68
2	0,02882	2	0,62	2	21,63
3	0,02329	3	0,50	3	21,57
4	0,02834	4	0,61	4	21,63
5	0,02943	5	0,64	5	21,63
6	0,02927	6	0,63	6	21,66
7	0,03117	7	0,67	7	21,63
8	0,04525	8	0,98	8	21,74
9	0,06064	9	1,32	9	21,73
10	0,06497	10	1,41	10	21,77
11	0,06548	11	1,42	11	21,73
12	0,05902	12	1,29	12	21,79
13	0,04166	13	0,90	13	21,71
14	0,03372	14	0,73	14	21,70
15	0,08852	15	1,92	15	21,75
16	0,10080	16	2,20	16	21,84
17	0,10303	17	2,25	17	21,82
18	0,03763	18	0,82	18	21,73
19	0,04928	19	1,06	19	21,60
20	0,03078	20	0,66	20	21,53
21	0,03078	21	0,66	21	21,53

## EK-9

### İşlem Özellikleri

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00
2	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
3	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
4	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,33	0,33	0,50
5	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
6	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	2,00	0,50	0,50	1,00
7	0,50	1,00	1,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
8	0,50	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50	0,50
9	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	2,00	0,50	2,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00
10	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,33	1,00	0,50	2,00	0,50	1,00	1,00
11	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	2,00	0,50	0,50	0,50
12	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	0,50	2,00	0,50	3,00	1,00	1,00	1,00
13	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,50	0,50	0,50
14	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	2,00	1,00	3,00	1,00	1,00	2,00
15	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00
16	0,50	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,33	1,00	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00
17	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00
18	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	1,00	0,33	0,33	0,50	0,33	1,00	1,00	2,00	2,00
19	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
20	1,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00
21	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07	0,09	0,05	0,08	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05
2	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
3	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
4	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
5	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
6	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,06	0,04	0,02	0,05
7	0,03	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
8	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
9	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07	0,09	0,05	0,08	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05
10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05
11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,06	0,04	0,02	0,02
12	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06	0,06	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,09	0,05	0,08	0,05	0,09	0,07	0,05	0,05
13	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02
14	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,08	0,09	0,09	0,07	0,05	0,09
15	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	0,12	0,09	0,10	0,10	0,13	0,12	0,14	0,10	0,09	0,11	0,12	0,09	0,09	0,14	0,10	0,09
16	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05
17	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	0,12	0,09	0,10	0,10	0,09	0,12	0,14	0,10	0,05	0,11	0,08	0,09	0,09	0,07	0,10	0,09
18	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,07	0,10	0,09
19	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,09	0,03	0,07	0,10	0,09
20	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,05	0,01	0,04	0,05	0,05
21	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04	0,08	0,07	0,07	0,02	0,05	0,04	0,05	0,01	0,04	0,05	0,05

**EK-9 (devam)**

<b>W</b>	1	<b>D</b>	1	<b>E</b>	1
1	0,05488	1	1,20	1	21,80
2	0,02403	2	0,52	2	21,76
3	0,02363	3	0,51	3	21,75
4	0,02255	4	0,49	4	21,75
5	0,02571	5	0,56	5	21,78
6	0,04265	6	0,93	6	21,83
7	0,02929	7	0,64	7	21,79
8	0,03351	8	0,73	8	21,72
9	0,05261	9	1,15	9	21,87
10	0,04607	10	1,01	10	21,84
11	0,04157	11	0,91	11	21,81
12	0,07270	12	1,59	12	21,90
13	0,03639	13	0,79	13	21,69
14	0,05091	14	1,11	14	21,86
15	0,10078	15	2,21	15	21,91
16	0,04011	16	0,88	16	21,84
17	0,09120	17	2,00	17	21,88
18	0,03427	18	0,75	18	21,96
19	0,07543	19	1,64	19	21,78
20	0,05291	20	1,15	20	21,75
21	0,04879	21	1,06	21	21,74





**EK-10 (devam)**

<b>W</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	<b>1</b>	<b>E</b>	<b>1</b>
1	0,03581	1	0,77	1	21,46
2	0,02865	2	0,61	2	21,35
3	0,02504	3	0,54	3	21,40
4	0,02975	4	0,64	4	21,42
5	0,02975	5	0,64	5	21,42
6	0,05466	6	1,17	6	21,48
7	0,05466	7	1,17	7	21,48
8	0,05466	8	1,17	8	21,48
9	0,05466	9	1,17	9	21,48
10	0,05466	10	1,17	10	21,48
11	0,05466	11	1,17	11	21,48
12	0,05466	12	1,17	12	21,48
13	0,04844	13	1,04	13	21,47
14	0,04617	14	0,99	14	21,49
15	0,05881	15	1,27	15	21,57
16	0,06361	16	1,37	16	21,53
17	0,09644	17	2,07	17	21,50
18	0,01928	18	0,41	18	21,46
19	0,03458	19	0,74	19	21,50
20	0,05051	20	1,09	20	21,53
21	0,05051	21	1,09	21	21,53

## EK-11

### Çevrenin Ekonomik Yapısı

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50
2	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50
3	0,33	0,50	1,00	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33
4	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50
5	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50
6	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00
7	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00
8	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
9	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00
10	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00
11	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
12	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
13	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50
14	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50
15	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00
16	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00
17	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00
18	2,00	3,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
19	2,00	2,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
20	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
21	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
2	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
3	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
5	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
6	0,03	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
7	0,03	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
8	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
9	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,09	0,10	0,07	0,10	0,09	0,10	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,09
10	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	0,09
11	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
12	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,08	0,07	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
13	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,02	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02
14	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
15	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,06	0,05	0,07	0,05	0,09	0,10	0,08	0,07	0,07	0,10	0,05	0,05	0,05	0,09	0,09
16	0,09	0,06	0,06	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,14	0,10	0,09	0,10	0,08	0,11	0,07	0,10	0,10	0,11	0,11	0,09	0,09
17	0,09	0,06	0,06	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,14	0,10	0,09	0,10	0,08	0,11	0,14	0,10	0,10	0,11	0,11	0,09	0,09
18	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
19	0,06	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
20	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05	0,08	0,07	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
21	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05	0,08	0,07	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04

**EK-11 (devam)**

<b>W</b>	<b>1</b>	<b>D</b>	<b>1</b>	<b>E</b>	<b>1</b>
1	0,03059	1	0,65	1	21,40
2	0,02139	2	0,46	2	21,41
3	0,01481	3	0,32	3	21,47
4	0,02398	4	0,52	4	21,49
5	0,02398	5	0,52	5	21,49
6	0,02988	6	0,64	6	21,48
7	0,02988	7	0,64	7	21,47
8	0,05014	8	1,08	8	21,52
9	0,07354	9	1,59	9	21,65
10	0,05441	10	1,17	10	21,57
11	0,04851	11	1,04	11	21,51
12	0,05215	12	1,13	12	21,63
13	0,04417	13	0,95	13	21,48
14	0,04006	14	0,86	14	21,56
15	0,07098	15	1,53	15	21,62
16	0,09330	16	2,02	16	21,61
17	0,09657	17	2,09	17	21,62
18	0,05420	18	1,17	18	21,60
19	0,05318	19	1,15	19	21,61
20	0,04715	20	1,02	20	21,62
21	0,04715	21	1,02	21	21,62

## EK-12

### AHP Karar Hesaplamaları

$W_A$	Alışveriş Merkezine Yakınlık	Kamu Binalarına Yakınlık	Ulaşım Hatlarına Yakınlık	Diğer ATM'lere Yakınlık	İşlem Özelliği	Güvenli Çevre	Çevrenin Ekonomik Yapısı
ATM1	0,0300057	0,0337504	0,0294303	0,0181083	0,0548797	0,0358119	0,0305914
ATM2	0,0195295	0,0292162	0,0200297	0,0288195	0,0240347	0,0286499	0,0213862
ATM3	0,0123079	0,0249628	0,0151725	0,0232926	0,0236312	0,0250402	0,0148084
ATM4	0,019493	0,0253005	0,0194847	0,0283443	0,0225507	0,0297518	0,0239753
ATM5	0,0178414	0,0259528	0,0194847	0,0294265	0,0257064	0,0297518	0,0239753
ATM6	0,0310576	0,0437549	0,0314951	0,0292703	0,0426545	0,0546616	0,0298845
ATM7	0,031505	0,0414155	0,0339579	0,0311722	0,029292	0,0546616	0,0298845
ATM8	0,0306992	0,0364048	0,0482443	0,0452533	0,033512	0,0546616	0,050142
ATM9	0,0498052	0,0571543	0,0482269	0,0606382	0,0526108	0,0546616	0,0735394
ATM10	0,0433338	0,0523421	0,0561647	0,0649705	0,0460697	0,0546616	0,0544064
ATM11	0,0618626	0,047114	0,0488792	0,0654815	0,0415722	0,0546616	0,0485093
ATM12	0,0271473	0,0440301	0,0345345	0,0590202	0,0727029	0,0546616	0,0521469
ATM13	0,0467236	0,0440301	0,0262989	0,0416618	0,0363903	0,0484441	0,0441724
ATM14	0,0458088	0,0386018	0,0234937	0,0337196	0,0509071	0,046166	0,0400591
ATM15	0,0709023	0,0582255	0,0684521	0,0885196	0,1007796	0,0588102	0,0709793
ATM16	0,082108	0,0581507	0,0839862	0,1007956	0,0401081	0,0636143	0,0933032
ATM17	0,0979819	0,0854463	0,1066876	0,1030341	0,0911982	0,0964417	0,0965685
ATM18	0,0709023	0,0826199	0,1157937	0,0376281	0,0342668	0,0192834	0,0541994
ATM19	0,0696302	0,0813989	0,0883752	0,0492795	0,0754343	0,0345773	0,0531753
ATM20	0,0706773	0,0450644	0,0409041	0,0307821	0,0529134	0,0505132	0,0471465
ATM21	0,0706773	0,0450644	0,0409041	0,0307821	0,0487852	0,0505132	0,0471465

**EK-12 (devam)**

$$W_A \times \begin{array}{|c|} \hline W_K \\ \hline 0,2129855 \\ \hline 0,1568432 \\ \hline 0,2933813 \\ \hline 0,1293231 \\ \hline 0,0546400 \\ \hline 0,0686931 \\ \hline 0,0841338 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline K & \text{Ağırlıklar} \\ \hline \text{ATM1} & 0,0306929 \\ \hline \text{ATM2} & 0,0234258 \\ \hline \text{ATM3} & 0,0182574 \\ \hline \text{ATM4} & 0,022795 \\ \hline \text{ATM5} & 0,0228579 \\ \hline \text{ATM6} & 0,0351027 \\ \hline \text{ATM7} & 0,0350694 \\ \hline \text{ATM8} & 0,0420592 \\ \hline \text{ATM9} & 0,0543795 \\ \hline \text{ATM10} & 0,0531684 \\ \hline \text{ATM11} & 0,0534815 \\ \hline \text{ATM12} & 0,0425669 \\ \hline \text{ATM13} & 0,0389932 \\ \hline \text{ATM14} & 0,0363876 \\ \hline \text{ATM15} & 0,0712818 \\ \hline \text{ATM16} & 0,0786949 \\ \hline \text{ATM17} & 0,0986279 \\ \hline \text{ATM18} & 0,0746544 \\ \hline \text{ATM19} & 0,0708685 \\ \hline \text{ATM20} & 0,0484303 \\ \hline \text{ATM21} & 0,0482048 \\ \hline \end{array}$$

**EK-13****ATM Günlük Nakit Talep Dağılımları ve Parametreleri**

Günler	ATM1	ATM2	ATM3
1	GAMM(3615.48042,3.61861)	GAMM(4434.34111,1.80289)	WEIB(7308.82893,1.23186)
2	GAMM(3615.48042,3.61861)	GAMM(4434.34111,1.80289)	WEIB(7308.82893,1.23186)
3	GAMM(3615.48042,3.61861)	GAMM(4434.34111,1.80289)	WEIB(7308.82893,1.23186)
4	GAMM(3615.48042,3.61861)	GAMM(4434.34111,1.80289)	WEIB(7308.82893,1.23186)
5	GAMM(3690.72559,6.07219)	GAMM(7917.22522,1.67697)	GAMM(1928.02898,3.46468)
6	NORM(20133.84615,9907.28817)	WEIB(18909.70774,1.93913)	WEIB(9603.46563,1.95565)
7	GAMM(3690.72559,6.07219)	GAMM(7917.22522,1.67697)	GAMM(1928.02898,3.46468)

ATM4	ATM5	ATM6
WEIB(12584.34148,1.69364)	GAMM(3590.19165,2.13533)	WEIB(18120.56631,2.32514)
WEIB(12584.34148,1.69364)	GAMM(3590.19165,2.13533)	WEIB(18120.56631,2.32514)
WEIB(12584.34148,1.69364)	GAMM(3590.19165,2.13533)	WEIB(18120.56631,2.32514)
WEIB(12584.34148,1.69364)	GAMM(3590.19165,2.13533)	WEIB(18120.56631,2.32514)
WEIB(18828.89826,1.76554)	GAMM(3530.25734,4.30117)	NORM(21068.46154,7886.24508)
WEIB(20596.14690,2.08103)	GAMM(2790.53361,6.77731)	NORM(29627.69231,9456.80545)
WEIB(18828.89826,1.76554)	GAMM(3530.25734,4.30117)	NORM(21068.46154,7886.24508)

ATM7	ATM8	ATM9
WEIB(14000.82184,1.73193)	NORM(16245,5389.84066)	WEIB(27529.51878,1.87368)
WEIB(14000.82184,1.73193)	NORM(16245,5389.84066)	WEIB(27529.51878,1.87368)
WEIB(14000.82184,1.73193)	NORM(16245,5389.84066)	WEIB(27529.51878,1.87368)
WEIB(14000.82184,1.73193)	NORM(16245,5389.84066)	WEIB(27529.51878,1.87368)
GAMM(5308.72596,3.92757)	NORM(22770,9435.0398)	GAMM(4295.69681,7.14651)
NORM(25604.61538,7964.21226)	WEIB(26716.37061,2.76352)	NORM(44306.15385,16137.89822)
GAMM(5308.72596,3.92757)	NORM(22770,9435.0398)	GAMM(4295.69681,7.14651)

ATM10	ATM11	ATM12
WEIB(24402.06039,1.99182)	WEIB(29054.49369,2.362)	GAMM(6161.33799,2.83496)
WEIB(24402.06039,1.99182)	WEIB(29054.49369,2.362)	GAMM(6161.33799,2.83496)
WEIB(24402.06039,1.99182)	WEIB(29054.49369,2.362)	GAMM(6161.33799,2.83496)
WEIB(24402.06039,1.99182)	WEIB(29054.49369,2.362)	GAMM(6161.33799,2.83496)
WEIB(28209.42985,2.86109)	GAMM(6100.6152,5.12843)	NORM(17160.76923,7694.30435)
NORM(38829.23077,14236.58109)	NORM(28990.76923,11994.56437)	GAMM(3617.42484,8.15667)
WEIB(28209.42985,2.86109)	GAMM(6100.6152,5.12843)	NORM(17160.76923,7694.30435)

**EK-13 (devam)**

<b>ATM13</b>	<b>ATM14</b>	<b>ATM15</b>
GAMM(3884.1945,4.73346)	GAMM(13015.12338,1.33598)	GAMM(5216.75863,5.9625)
GAMM(3884.1945,4.73346)	GAMM(13015.12338,1.33598)	GAMM(5216.75863,5.9625)
GAMM(3884.1945,4.73346)	GAMM(13015.12338,1.33598)	GAMM(5216.75863,5.9625)
GAMM(3884.1945,4.73346)	GAMM(13015.12338,1.33598)	GAMM(5216.75863,5.9625)
WEIB(25206.98969,2.59197)	NORM(20421.53846,9417.7788)	GAMM(4855.38655,9.31139)
NORM(23373.84615,6945.07684)	NORM(31915.38462,8328.18169)	WEIB(42287.7488,4.53691)
WEIB(25206.98969,2.59197)	NORM(20421.53846,9417.7788)	GAMM(4855.38655,9.31139)

<b>ATM16</b>	<b>ATM17</b>	<b>ATM18</b>
GAMM(4526.70744,6.97679)	WEIB(43294.94508,1.78321)	NORM(30798.49057,13232.821)
GAMM(4526.70744,6.97679)	WEIB(43294.94508,1.78321)	NORM(30798.49057,13232.821)
GAMM(4526.70744,6.97679)	WEIB(43294.94508,1.78321)	NORM(30798.49057,13232.821)
GAMM(4526.70744,6.97679)	WEIB(43294.94508,1.78321)	NORM(30798.49057,13232.821)
NORM(41528.46154,11906.12101)	GAMM(8280.96983,6.92784)	WEIB(47292.14471,2.40844)
WEIB(61282.0757,6.35357)	NORM(66655.38462,22757.71979)	NORM(41224.61538,17619.77706)
NORM(41528.46154,11906.12101)	GAMM(8280.96983,6.92784)	WEIB(47292.14471,2.40844)

<b>ATM19</b>	<b>AMT20</b>	<b>ATM21</b>
WEIB(34660.57911,3.16943)	WEIB(24020.63639,2.0652)	GAMM(4997.92699,4.08015)
WEIB(34660.57911,3.16943)	WEIB(24020.63639,2.0652)	GAMM(4997.92699,4.08015)
WEIB(34660.57911,3.16943)	WEIB(24020.63639,2.0652)	GAMM(4997.92699,4.08015)
WEIB(34660.57911,3.16943)	WEIB(24020.63639,2.0652)	GAMM(4997.92699,4.08015)
WEIB(41738.63321,2.57963)	NORM(26734.61538,11553.08244)	GAMM(6001.31782,4.87419)
NORM(45052.30769,11102.9862)	GAMM(4775.33112,6.97559)	WEIB(36823.42626,4.53177)
WEIB(41738.63321,2.57963)	NORM(26734.61538,11553.08244)	GAMM(6001.31782,4.87419)



## EK-14

### Mevcut Nakit Çekim Süreci

