

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Yusuf Ali DANIŞ

**GSM OPERATÖRÜ TERCİHİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN GİZLİ
MARKOV MODELLERİ ile ANALİZİ**

Ekonometri Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2015

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Yusuf Ali DANIŞ

**GSM OPERATÖRÜ TERCİHİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN GİZLİ
MARKOV MODELLERİ ile ANALİZİ**

Danışman

Doç. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN

Ekonometri Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2015

Akdeniz Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne,

Yusuf Ali DANIŞ'ın bu çalışması, jürimiz tarafından Ekonometri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ayşe ANAFARTA (İmza)

Üye (Danışmanı) : Doç. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN (İmza)

Üye : Doç. Dr. Gökhan AKYÜZ (İmza)

Tez Başlığı: GSM Operatörü Tercihinde Etkili Olan Faktörlerin Gizli Markov Modelleri ile Analizi

Onay: Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Tez Savunma Tarihi : 09/07/2015

Mezuniyet Tarihi : 23/07/2015

Prof. Dr. Zekeriya KARADAVUT
Müdür

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLOLAR LİSTESİ	v
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
ÖNSÖZ	xi
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KÜRESEL MOBİL İLETİŞİM SİSTEMİ

1.1 GSM Kavramı.....	4
1.1.1 GSM Sistemi ve Mimarisi	4
1.2 GSM'in Evrensel Gelişimi.....	6
1.2.1 Birinci Nesil (1G) Mobil İletişim Sistemleri	7
1.2.2 İkinci Nesil (2G) Mobil İletişim Sistemleri	8
1.2.3 Sayısal Hücreli Sistemin Geliştirilmesi ve 2,5G	9
1.2.4 Üçüncü Nesil (3G) Mobil İletişim Sistemleri.....	9
1.2.5 Dördüncü Nesil (4G) Mobil İletişim Sistemleri	10
1.3 Dünya'da Mobil İletişim.....	11
1.4 Türkiye'de GSM'in Gelişimi	15
1.5 Türkiye'de Faaliyet Gösteren GSM Operatörleri.....	17
1.5.1 TURKCELL.....	18
1.5.2 VODAFONE	18
1.5.3 AVEA	19
1.6 Mobil Pazar Verileri ve Önemli Kavramlar	19
1.7 Numara Taşınabilirliği Sistemi.....	22
1.8 Sosyal, Ekonomik ve Teknolojik Açıdan Mobil İletişimin Türkiye'deki Yeri	24
1.9 Literatür Taraması	27

İKİNCİ BÖLÜM

MARKOV ZİNCİRLERİ ve GİZLİ MARKOV MODELLERİ

2.1 Stokastik Süreçler	31
2.2 Markov Süreci	32
2.3 Markov Zincirleri.....	34
2.3.1 Geçiş Olasılığı Matrisi	35
2.3.2 Markov Zincirinde Durumların Sınıflandırılması.....	37
2.3.3 Çok Adımlı Geçiş Olasılıkları	38
2.3.4 Denge Durumu Analizi	42
2.4 Gizli Markov Modelleri	43
2.4.1 Gizli Markov Modelini Oluşturan Unsurlar	46
2.4.2 Gizli Markov Modelinin Üç Temel Problemi.....	48
2.4.2.1 Değerlendirme (Evaluation) Problemi	48
2.4.2.2 Çözümleme (Decoding) Problemi.....	49
2.4.2.3 Öğrenme (Learning) Problemi	49
2.4.3 Gizli Markov Modelinin Üç Temel Problemi İçin Geliştirilen Algoritmalar.....	49
2.4.3.1 Değerlendirme Probleminin Çözümü	50
2.4.3.1.1 İleri-Yön Algoritması.....	51
2.4.3.1.2 Geri-Yön Algoritması	53
2.4.3.2 Değerlendirme Probleminin Çözümü için Geliştirilen Algoritmaların Zaman Karmaşıklığı.....	55
2.4.3.3 Çözümleme Probleminin Çözümü	56
2.4.3.3.1 Viterbi Algoritması	57
2.4.3.4 Öğrenme Probleminin Çözümü.....	58
2.4.3.4.1 Baum-Welch Algoritması	58

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GSM OPERATÖRÜ TERCİH NEDENLERİNİN GİZLİ MARKOV MODELLERİ ile ANALİZİ

3.1 Araştırmanın Amacı.....	61
3.2 Araştırmanın Yöntemi	62
3.3 Araştırma Bulguları ve Analiz	63
3.3.1 Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular	63
3.4 Gizli Markov Modelinin Oluşturulması.....	66

3.4.1 Model Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Matrislerin Oluşturulması	67
3.4.2 Gizli Markov Modelinin Tahmin Edilmesi	70
3.4.3 Analiz Sonuç Tablosu ve Yorumları	85
SONUÇ	87
KAYNAKÇA.....	90
EK 1 - Anket Formu.....	97
ÖZGEÇMİŞ	101

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 GSM Ağı Mimarisi.....	5
Şekil 1.2 2005-2014 Yılları Arasındaki Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerin Mobil Kullanıcı Sayıları.....	12
Şekil 1.3 2005-2014 Yılları Arasındaki Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerin Mobil Penetrasyon Oranları	12
Şekil 1.4 2005-2014 Yılları Arasında Bölgelere Göre Mobil Kullanıcı Sayıları	13
Şekil 1.5 2005-2014 Yılları Arasında Bölgelere Göre Mobil Penetrasyon Oranları.....	13
Şekil 1.6 GSM Operatörlerinin 2011-3 ve 2014-3 Arası Ön Ödemeli Abonelerinin Dağılımı.....	20
Şekil 1.7 GSM Operatörlerinin 2011-3 ve 2014-3 Arası Faturalı Abonelerinin Dağılımı.....	21
Şekil 1.8 GSM Operatörlerinin Toplam Abone Sayıları	21
Şekil 1.9 Türkiye ve Avrupa Ülkelerinin MoU Değerleri.....	24
Şekil 1.10 OECD Ülkelerinde Mobil Genişbant İnternet Yaygınlığı.....	25
Şekil 1.11 Türkiye ve Bazı Avrupa Ülkelerinin 2014-4 Mobil Penetrasyon Oranları	26
Şekil 2.1 Beş Durumlu Markov Zinciri Örneği.....	34
Şekil 2.2 Bir Madeni Paralı Model.....	44
Şekil 2.3 İki Madeni Paralı Model.....	44
Şekil 2.4 Kap ve Top Modeli	44
Şekil 2.5 Farklı Dağılımlara Sahip Gizli ve Gözlenen Durumlar.....	45
Şekil 2.6 Ardışık Zamanlar Arasında İleri-Yön Değişkeninin Hareketi	52
Şekil 2.7 Başlangıç Anından ($t = 1$) Bitiş Anına ($t = T$) Kadar Olan Sürede $\alpha_t(i)$ Değişkeninin Hesaplanması	53
Şekil 2.8 Geri-Yön Değişkeninin Hareketi.....	55
Şekil 3.1 2008-2014 Yılları Arasındaki Mobil Abone Sayıları ve Penetrasyon Oranları	61

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Dijital Sistemlere Geçiş Sonrası Veri İletim Hızları	10
Tablo 1.2 LTE Pazarında Abone Sayılarına Göre İlk 8 Ülke.....	11
Tablo 1.3 2009-2013 Yılları Arasında Mobil İşletmecilerin Yıllık Net Satış Gelirleri	20
Tablo 1.4 2009-2013 Yılları Arasında Mobil İşletmecilerin Toplam Yıllık Yatırımları	20
Tablo 1.5 Mobil Numara Taşınabilirliği Kapsamında Mobil İşletmelerin Gelen Abone Sayıları.....	23
Tablo 1.6 Mobil Cepten İnternet ve Toplam İnternet Abone Sayıları.....	25
Tablo 1.7 Türkiye'deki M2M Abone Sayısı	27
Tablo 2.1 Stokastik Süreçlerin Durum ve Parametre Uzaylarına Göre Sınıflandırılması.....	32
Tablo 2.2 Markov Süreçlerinin Sınıflandırılması.....	33
Tablo 3.1 Katılımcılara Ait Demografik Bilgiler	64
Tablo 3.2 Servislerin Kullanım Sıklıkları	64
Tablo 3.3 GSM Operatörleri ile İlgili Bilgilerin (Reklam, Kampanya, Teknolojik Gelişmeler) Öğrenildiği Kaynaklar	65
Tablo 3.4 Kullanılan GSM Operatörü Oranları.....	65
Tablo 3.5 Operatör Kullanım Süreleri ve GSM Harcamaları.....	66
Tablo 3.6 Şu Anki ve Bir Sonraki Operatör Tercihi Nedenlerinin Dağılım Oranları	66
Tablo 3.7 Gizli Durumlar Tablosu	68
Tablo 3.8 Durum Geçiş Olasılıkları Matrisi.....	68
Tablo 3.9 Gözlemler Tablosu	69
Tablo 3.10 Gözlem Olasılıkları Matrisi.....	69
Tablo 3.11 Avea – Faturalı'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları	72
Tablo 3.12 Avea – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları	73
Tablo 3.13 Turkcell – Faturalı'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları	74
Tablo 3.14 Turkcell – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları	75
Tablo 3.15 Vodafone – Faturalı'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları	76
Tablo 3.16 Vodafone – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları.....	77
Tablo 3.17 Avea – Faturalı'dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri.....	79
Tablo 3.18 Avea – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri	80
Tablo 3.19 Turkcell – Faturalı'dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri.....	81
Tablo 3.20 Turkcell – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri	82
Tablo 3.21 Vodafone – Faturalı'dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri	83
Tablo 3.22 Vodafone – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri	84

Tablo 3.23 Operatörler Arası Geçiş Olasılıkları ve Tercih Nedenleri.....	85
--	----

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşı Süreci)
AMPS	Advanced Mobile Phone System (Geliştirilmiş Mobil Telefon Sistemi)
ANP	Analytic Network Process (Analitik Ağ Süreci)
ARPU	Average Revenue Per User (Abone Başına Aylık Gelir)
BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
BTS	Base Transceiver Station (Baz İstasyonu)
CDMA	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution (GSM için Geliştirilmiş Veri Hızı)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Komitesi)
FANP	Fuzzy Analytical Network Process (Bulanık Analitik Ağ Süreci)
GMM	Gizli Markov Modeli
GPRS	General Packet Radio Service (Genel Paket Telsiz Hizmeti)
GSM	Global System for Mobile Communications (Küresel Mobil İletişim Sistemi)
GSMA	Groupe Spéciale Mobile Association (GSM Birliği)
HSPA	High Speed Packed Access (Yüksek Hızlı Paket Erişimi)
HSPA+	Evolved High Speed Packed Access (Gelişmiş Yüksek Hızlı Paket Erişimi)
IMT-2000	International Mobile Telecommunications for the year 2000 (Uluslararası Mobil İletişim-2000)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
LTE	Long Term Evolution (Uzun Vadeli Gelişim)
M2M	Machine to Machine (Makineler Arası İletişim)
MoU	Minutes of Usage (Abone Başına Aylık Ortalama Konuşma Süresi)
NMT	Nordic Mobile Telephone (Araç Telefonu Sistemi)
NTS	Numara Taşınabilirliği Sistemi
SIM	Subscriber Identity Module (Abone Kimlik Modülü)
TDMA	Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)

OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Evrensel Mobil İletişim Sistemi)

ÖZET

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) verilerine göre; 2015 yılı birinci çeyrek sonu itibariyle Türkiye’de %92,7 penetrasyon oranına karşılık gelen toplam 72.040.764 mobil abone bulunmaktadır. Mobil cihazların genellikle 9 yaşın üzerindeki kişiler tarafından kullanıldığı varsayıldığında, mobil penetrasyon oranı %112,2’ye çıkmaktadır. Türkiye, 2014 yılı üçüncü çeyreğinde sahip olduğu 370 dakika ortalama aylık mobil telefon kullanım süresi ile Avrupa ülkelerine kıyasla daha fazla görüşme yapan ülke olmuştur. 2015 yılı birinci çeyreğinde de Avrupa Birliği ülkeleri arasındaki liderliğini 367 dakika ile sürdürmektedir. Bu durum, Türkiye’de GSM operatörlerinin ve mobil iletişimin çok fazla ilgi gördüğünü göstermektedir. Operatörlerin kullanımının giderek yaygınlaşması, abone sayıları ve pazar paylarında sürekli bir değişim meydana getirmektedir. Pazar paylarındaki dalgalanmalar ise mobil abonelerin tercih sebeplerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Mart 2015 itibariyle abone sayısına göre ülkemizde faaliyet gösteren GSM operatörlerinden Turkcell’in %47,6, Vodafone’un %29,3 ve Avea’nın %23,1’lik paya sahip olduğu görülmektedir.

2008 yılında NTS (Numara Taşıma Sistemi)’nin kullanıma açılmasıyla birlikte ülkemizde faaliyet gösteren üç büyük GSM operatörü arasında kıyasıya bir rekabet başlamıştır. Operatörler bir yandan kendi müşterilerini ellerinde tutmak isterken diğer yandan farklı operatör kullanıcılarını kendi bünyelerine çekmeyi arzu etmektedirler.

Bu çalışmada, markaların kısa ve uzun dönemde tercih edilme olasılıklarının belirlenmesinde kullanılan Markov zincirleri ve tercih nedenlerinin araştırılmasında kullanılan gizli Markov modelleri ele alınmıştır. Mobil telefon kullanıcılarının operatör tercihlerinin yanında fiyat uygunluğu, hizmet kalitesi, yakın çevrede kullanılması, vb. gibi tercih nedenlerinin de neler olabileceğinin bilinmesi operatörler açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmanın örnekleme mobil iletişim alanında önemli bir müşteri kitlesi olan üniversite öğrencilerinden oluşmaktadır. Öğrencilerin GSM operatörü tercihleri ve bu tercihlerin nedenleri ile ilgili bilgiler anket yoluyla elde edilmiştir. Üniversite öğrencilerinin gelecek dönemdeki GSM operatörü tercihleri ve tercihlerinde önemli olan faktörlerin tespiti gizli Markov modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışma ile mobil iletişim alanında faaliyet gösteren operatörlere bir karar desteği sağlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mobil iletişim, GSM operatörleri, Markov zincirleri, gizli Markov modelleri

SUMMARY

ANALYSIS of FACTORS THAT IMPACT on GSM OPERATOR PREFERENCE by USING HIDDEN MARKOV MODELS

By the end of Q1 2015, there are 72.040.764 mobile subscribers in Turkey corresponding to approximately 92,7% penetration rate according to data of ICTA. Under the assumption of mobile devices are used by people over age of 9 years, mobile penetration ratio rises up to 112,2%. Also Turkey has become the first country phoned the most calls with average of 370 minutes per subscribers compared to European countries by the end of Q3 2014 and has been maintaining its leadership amongst the European Union countries with 367 minutes in Q1 2015. This case shows that GSM operators and mobile communication have been followed too much in Turkey. Subscriber numbers and market shares have been changing consistently because usage of operators have become widespread. Fluctuations in market shares have been occurring from differences in reason for preferences of mobile subscribers. According to the number of subscribers in March 2015, GSM operators Turkcell, Vodafone and Avea has respectively 47,6%, 29,3% and 23,1% market share in Turkey.

When the Number Portability System has opened for use in 2008, a cutthroat competition has begun among three major GSM operators carrying on a business in Turkey. Operators want to retain their own subscribers, on the other hand, they want to incorporate users of different operators into their own structure.

In this study, both Markov chains that frequently used for determining preference for short and long-term possibilities of brands and hidden Markov models that used to research the reason for preference were tackled. Not only operator preferences of mobile phone users but also its reasons hold key factors, such as cost-effectiveness, quality of service, using by circle, etc. The sample for this study was composed of university students which have major customer mass in the mobile communication space. Data about GSM operator preferences of students and their preference reasons were obtained via questionnaire. GSM operator preferences of university students in the future and determining of important factors in the preferences was analysed via hidden Markov models. Providing decision support for the operators carrying on a business in the mobile communication space was aimed with this study.

Keywords: Mobile communication, GSM operators, Markov chains, hidden Markov models

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum bu tez boyunca, yoğun zamanları da dahil olmak üzere zaman ayırarak beni en iyi şekilde yönlendiren, çalışmamın her anında gerekli düzeltmelerin yapılmasında bana yardımcı olan ve tüm bunları yaparken daima güleryüz ve iyi niyeti ile bana destek olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Emre İPEKÇİ ÇETİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmam boyunca benden desteklerini eksik etmeyerek çalışmamı en iyi şekilde tamamlamam noktasında gerekli motivasyonu sağlamama yardımcı olan aileme ve Ekonometri Bölümü'nün değerli öğretim elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Yusuf Ali DANIŞ

Antalya, 2015

GİRİŞ

Dünyada meydana gelen teknolojik gelişmeler, iletişim sektöründe de kendini göstermektedir. Haberleşme ihtiyacının dünyanın birçok yerinde artması ve teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesiyle telefonlar hareketli hale gelmeye başlamıştır. Bu durum, kişilerin devamlı sabit kalma zorunluluğunu ortadan kaldırmış ve mobil iletişim için sistemin ilk adımlarının atılmasını sağlamıştır. Mobil iletişim sistemi olan GSM'in (Küresel Mobil İletişim Sistemi) hayatımıza girmesi beraberinde birçok yenilik getirmiştir. Bu yeniliklerden en önemlisi "roaming" olarak bilinen ve aynı hat ile değişik ülkelerden görüşme yapılmasına olanak sağlayan teknolojidir.

Modern iletişim sistemlerinin, toplumun her alanında ayrılmaz bir parça olarak görülmesi ve dünya ekonomisi içerisinde yer almanın esaslarından biri sayılması, dünyada mobil iletişim sektöründe rekabete sebep olmuştur. 1990'lı yılların başında dünyada kullanılmaya başlanan GSM teknolojisinin getirmiş olduğu diğer önemli özellik, ses ve veri iletiminde yaşanmaktadır. Aslında 2G teknolojik altyapısına sahip olan bu sistem, zamanla gelişerek günümüzde 4G yani dördüncü nesil teknolojiye kadar ulaşmıştır. Dolayısıyla mobil iletişim sistemlerinin, her an bağlantılı olabilmeye, hızlı, güvenli ve kaliteli ses ve veri iletimi gibi çok önemli ihtiyaçları karşıladığı görülmektedir.

Mobil iletişim teknolojilerinin, hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte çok sayıda kişi bu teknolojiden faydalanmak istemiştir. Mobil abone sayısı dünyada olduğu gibi Türkiye'de de her geçen gün daha da artmaktadır. Öyle ki, 1994 yılında Türkiye'de kullanımına başlanan GSM teknolojisi 81.276 kullanıcı sayısına ulaşmıştır. Dünyada standartların belirlendiği tarihten yaklaşık on yıl sonra, 2009 yılında, Türkiye'de faaliyete geçen 3G üçüncü nesil mobil iletişim teknolojisine kadar bu rakam orantısız bir biçimde artmış ve 2008 yılında 65 milyonun üzerine çıkmıştır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'ndan alınan verilere göre, 2014 yılının son çeyreğinde Türkiye'deki mobil abone sayısı 72 milyona ulaşmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da mobil penetrasyon rakamlarıdır. Nüfusa göre mobil abone sayısının oranını ifade eden mobil penetrasyon değerinin, 2014 yılı son çeyreğinde %92,5 olduğu görülmektedir. Mobil abonelerin genel olarak 9 yaşın üzerindeki kişilerden oluştuğu varsayıldığında ise penetrasyon oranı %110'nun üzerine çıkmaktadır. Türkiye'deki mobil abone sayısı ve penetrasyon oranları birlikte incelendiğinde, piyasanın belirli bir doygunluğa ulaştığını söylemek mümkündür.

Türkiye’de 2004 yılından itibaren üç tane operatör faaliyet göstermektedir. Bu operatörler Turkcell, Avea ve Vodafone’dur. 2008 yılına kadar operatörler, yeni müşteri kazanmak için birbirleriyle kıyasıya bir rekabete girmişlerdir. Kasım 2008’de Numara Taşınabilirliği Sistemi’nin (NTS) kullanıma açılmasıyla birlikte piyasa kısa sürede doygunluğa ulaşmış ve operatörler farklı tarife ve kampanyalarla diğer operatörlerden müşteri kazanmaya çalışmışlardır. Günümüzde ise operatör şirketleri ellerindeki müşterileri koruyarak sadık müşteri profili oluşturmaya ve aynı zamanda diğer operatör kullanıcılarını da çekmeye yönelik bazı avantajlar sunmaktadırlar. Mobil abonelerin, daha önce kullandıkları numarayı değiştirmeden başka bir operatöre geçmelerine izin veren NTS ile GSM pazarındaki rekabet daha da artmıştır. Rekabetin artması ile Şubat 2015’te 79 milyonun üzerinde numara taşıma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Mobil operatör kullanıcılarının, telefonun mesaj, konuşma, internet gibi özellikleri bakımından kullanım alışkanlıkları incelendiğinde en çok konuşmanın, daha sonra internetin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Operatörler, elde ettikleri gelirlerin büyük bir kısmını konuşma ücretlerinden sağlasa da, mobil veriden elde edilen gelirlerdeki artan trend, kısa bir süre içerisinde bu durumu değiştireceğini haber vermektedir. Aynı zamanda dördüncü nesil (4G) sistemlerine geçmeye yaklaştığımız şu günlerde bütün operatörler, alt yapılarını hazırlamakta ve yeni teknolojinin olanaklarını kullanarak en hızlı veri transferini abonelerine sağlamayı amaçlamaktadırlar.

Belirli sebeplerden dolayı mobil telefon kullanıcıları şu anda kullanmış oldukları operatörlere sadık kalmakta ya da başka bir operatöre numaralarını taşımaktadırlar. Bu sebepler çoğunlukla operatörün fiyat uygunluğundan, hizmet kalitesinden, kişiye özel tarife veya paketlerin olmasından, numara taşıma işlemi sırasında sağlanan fırsatlardan ya da çekim gücünden kaynaklanmaktadır. Ancak bu tercih sebepleri mobil kullanıcılar tarafından bilinirken operatörler tarafından direkt olarak bilinmemektedir. Müşteri kazanmanın ya da mevcut müşterileri koruyacak gerekli düzenlemelerin operatör firmaları tarafından yapılabilmesi için GSM operatörlerinin tercih sebeplerinin bilinmesi gerekmektedir. Böylece ilgili şirketler, kısa veya uzun dönem politikalarını belirleyebileceklerdir.

Bu çalışmada, yapılan anket sonucunda elde edilen verilerle katılımcıların bir sonraki tercih edecekleri operatörlerin tercih olasılıkları ve bu tercihlerin nedenleri araştırılmıştır. Mobil penetrasyon oranının fazla olduğu Türkiye’de GSM operatörlerinin, özellikle üniversite öğrencileri tarafından oldukça takip edilmesi ve bu kitlenin operatörler tarafından büyük bir pazar oluşturmasından dolayı çalışma, üniversite öğrencileri üzerine uygulanmıştır.

Literatürde, mobil iletişim sektöründe faaliyet göstermekte olan GSM operatörleri üzerine çok boyutlu karar verme yöntemleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu

yöntemler arasında sınıflama amaçlı olarak kümeleme ve dikriminant analizi, veri indirgeme amaçlı olarak faktör analizi ve bazı çok kriterli karar verme yöntemleri bulunmaktadır. Karar verme problemlerinde kriter sayısının fazla olduğu durumlarda çözüm bulmayı amaçlayan bu yöntemler, bulanık mantık (fuzzy logic) ile birleştirilerek belirsizlik anında doğru kararlar verilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda, operatörlerin memnuniyetlerinin ölçülmesi, operatör tercihlerinin sıralaması, pazar paylarının tahmini ve operatör tercih nedenleri araştırılmıştır. Bu çalışmada GSM operatörlerinin tercih nedenleri, literatürde daha önce bu sektöre uygulanmamış olan gizli Markov modelleri ile araştırılmıştır. Markov zincirlerinin özel bir hali olan gizli Markov modelleri, hem operatörler arası geçiş olasılıklarının hem de operatörlerin tercih nedenlerinin bulunmasında kullanılmış ve operatörlerin geleceğe yönelik alacağı tedbirler hakkında çıkarımlarda bulunulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde GSM kavramı üzerine genel bilgiler verilmiş, GSM mimarisi, alt yapısı ve evrensel gelişimi açıklanmıştır. Daha sonra dünyada ve Türkiye'deki mobil iletişim, ulusal ve uluslararası pazar verileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Ulusal veriler, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun 2014 yılı üçüncü çeyreğine kadar olan pazar verilerinden alınmıştır.

İkinci bölümde konuyu analiz etmek için kullanılacak yöntem tanıtılmıştır. Bu amaçla öncelikle stokastik süreçler ve Markov zincirleri ele alınmıştır. Daha sonra çalışmanın konusunu oluşturan gizli Markov modellerinin, Markov zincirlerinden farkı ortaya konmuştur. Bölümün ilerleyen başlıklarında, modeli oluşturan temel kavramlar ve bu kavramları kullanarak gizli Markov modelinin üç temel problemi ele alınmıştır. Son olarak daha önceden geliştirilmiş olan algoritmalar ile bu problemlerin çözüm yöntemleri adım adım gösterilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, gizli Markov modellerinin üç temel problemin ilk ikisinin çözümü araştırılmıştır. Bu amaçla geçerli olan anketlerden elde edilen verilerle olasılık matrisleri çıkarılmıştır. Elde edilen matris elemanları, çözüm için geliştirilen algoritmaların girdilerini oluşturmuştur. Algoritmaların verdiği sonuç değerlerine göre operatörler arası geçiş olasılıkları ve operatörlerin tercih nedenleri ortaya çıkarılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

KÜRESEL MOBİL İLETİŞİM SİSTEMİ

1.1 GSM Kavramı

İngilizce literatürde “Global System for Mobile Communications” olarak ifade edilen ve kelimelerinin ilk harflerinden oluşan GSM kavramının Türkçe literatürdeki karşılığının, “Mobil İletişim için Küresel Sistem” ya da “Küresel Mobil İletişim Sistemi” şeklinde olduğu görülmektedir. Bir mobil iletişim protokolü olan GSM, Avrupa İletişim Standartları Komitesi’nin (ETSI) bir alt kuruluşu olan Mobil İletişim Özel Grubu’nun (Groupe Spéciale Mobile) ismini taşımış fakat daha sonra sistemin Avrupa, Japonya ve diğer birçok ülkede kullanılması ile küresel bir boyuta ulaşarak “Global System for Mobile Communications” şeklinde ifade edilmiştir.

1.1.1 GSM Sistemi ve Mimarisi

GSM sisteminin en kullanışlı özelliği, kullanıcıların aynı hat ile değişik ülkelerden görüşme yapabiliyor olmalarıdır. Bu özellik “roaming” olarak adlandırılmaktadır. Mobil iletişim sisteminin en yeni ve en gelişmişlerinden olan bu sistem, kullanıcılarına daha güvenli ve kaliteli bir iletişim sunmanın yanında uluslararası bir seyahat serbestliği ve mekan özgürlüğü sağlamaktadır.

GSM sistemi, ses ve veri haberleşmesini aynı anda sağlayan ISDN alt yapısıyla hizmet veren bir hücresel sistemdir. Hücresel sistem, her bir mobil şebekeye ait kapsama alanı içerisinde küçük parçalara bölünmüş hücrelerin olduğu ve her hücrenin bir alıcı-verici özelliğini sağlayan BTS (Baz İstasyonu) donanımlarına sahip olduğu bir sistemdir. Sistem içerisindeki bütün hücreler kendilerine ait çalışma frekansında haberleşme imkanı sağlamaktadırlar. Hücrelerin çapı şehirden uzak kırsal bölgelerde daha büyük ve 35-40 km, şehir merkezlerinde ise daha küçük olup 5 km’ye kadar düşmektedir (www.elektrikport.com).

Hücresel sistemler haberleşmek için radyo dalgaları ve çeşitli protokolleri de kullanırlar. Bunun için hücre olarak adlandırılan birbirine bitişik coğrafi alanlara yerleştirilmiş radyo antenlerinden yararlanırlar. Bir cep telefonundan yerel bir hücreye aktarılan iletiler varış noktalarına kadar antenden antene, hücreden hücreye geçerek ilerlerler (Laudon ve Laudon, 2011: 257).

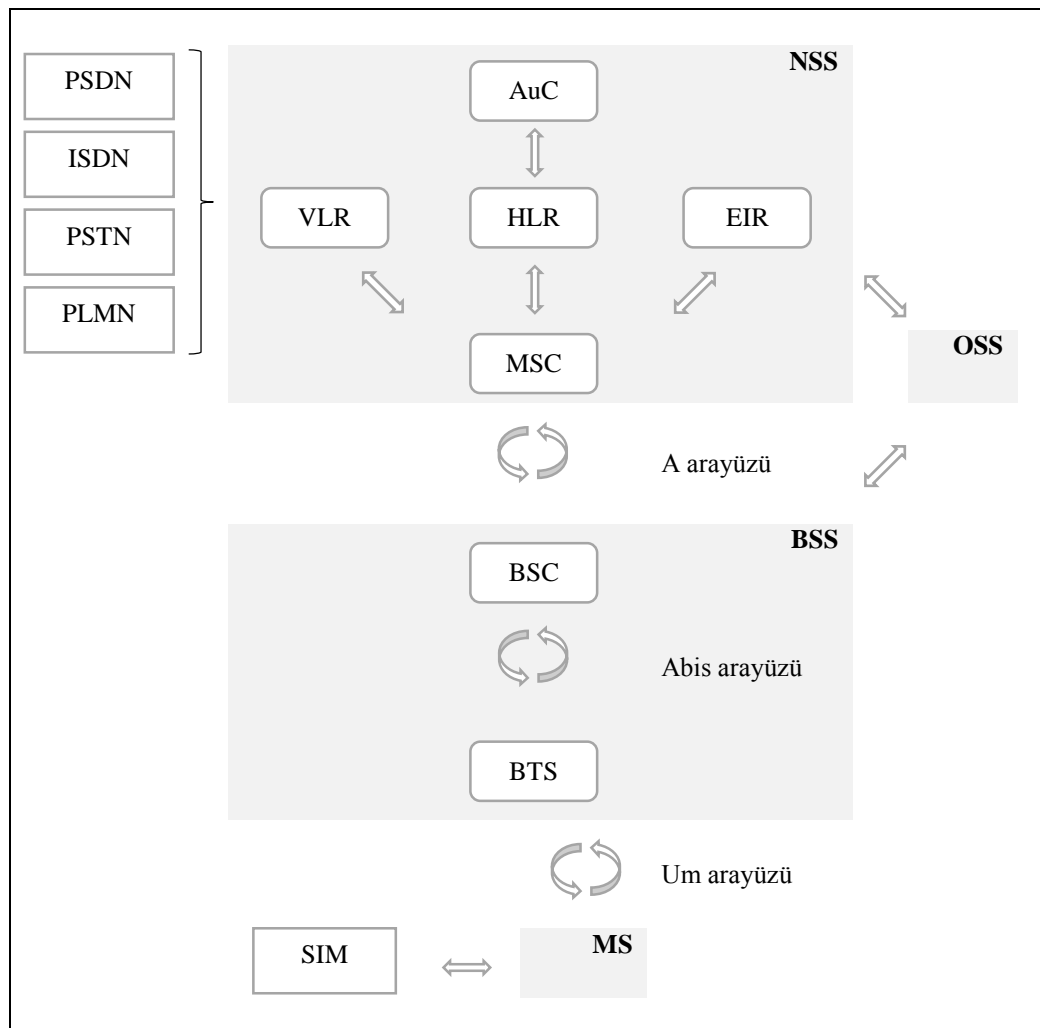
Mobil şebekenin kapsama alanının küçük parçalara ayrılması sayesinde hem baz istasyonu hem de mobil cihaz daha az enerji harcamakta ve herhangi bir telefon görüşmesi sırasında kişinin bir hücreden başka bir hücreye hareket etmesiyle birlikte sistem kişiyi

otomatik olarak yeni bir BTS hücrene yönlendirmektedir. Yönlendirme işlemi görüşme yapan kişiler tarafından anlaşılamayacak kadar kısa bir süre içerisinde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla GSM sistemlerinin hücresel ağ sistemini kullanması ile güç tasarrufu sağlandığı ve aynı zamanda dolaşım sırasında bile hücreler arası geçiş yapma imkanına sahip olduğu görülmektedir. Böylece GSM operatörü kullanıcıları kapsama alanının dışına çıkmadığı sürece dünyanın herhangi bir yerinde mobil ya da sabit olan bir telefonu arayabilmekte veya benzer şekilde dünyanın herhangi bir yerinden aranabilmektedirler (Aktay, 2010: 39).

GSM ağı 4 temel bileşenden oluşmaktadır.

- i. Mobil İstasyon (MS)
- ii. Baz İstasyonu Sistemi (BSS)
- iii. Ağ Anahtarlama Sistemi (NSS)
- iv. İşletim Destek Sistemi (OSS)

Şekil 1.1’de bu bileşenlerden oluşan GSM ağı mimarisi görülmektedir.



Şekil 1.1 GSM Ağı Mimarisi (paginas.fe.up.pt)

Şekil 1.1'e göre Mobil İstasyon (MS), santral ve Abone Kimlik Modülü (SIM) bileşenlerini içermektedir. MS ile Baz İstasyonu (BTS) arasındaki “Um arayüzü (hava arayüzü)”, şebeke ile abone arasındaki hücre ve veri akışını radyo haberleşmesi vasıtasıyla gerçekleştirmektedir. BTS, hücrenin alıcı-vericilerini içermektedir. BTS ile Baz İstasyonu Denetçisi (BSC), Abis arayüzü üzerinden haberleşmektedirler. BSC, radyo kaynaklarını idare etmektedir. A arayüzü ise BSC ile Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC) arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır. MSC, NSS sisteminin merkezi olup mobil abonenin kayıt olma, asıllama, çağrı yönlendirme, sabit telefon hattına bağlanma gibi ihtiyaçlarını karşılamaktadır (web.itu.edu.tr).

Merkez Konum Kaydı (HLR), abone bilgilerini depolayan ve yöneten önemli bir veritabanıdır. Örneğin bir kullanıcı GSM operatöründen abonelik satın aldığı anda, kullanıcının kaydı operatörün HLR veritabanına yapılmaktadır. Mobil istasyon bir çağrı gerçekleştirdiğinde her defasında HLR'a başvurmadan çağrı gerçekleştirmek için, aboneler hakkındaki geçici bilgiler Ziyaretçi Konum Kaydı (VLR) veritabanına kaydedilir. Cihaz Kimlik Kaydı (EIR), güvenlik amacıyla kullanılmakta olan bir veritabanıdır. Bu veritabanı çalıntı, yetkisiz veya arızalı mobil istasyonlardan çağrı yapılmasını engelleyen ve ağıdaki mobil cihazlar hakkında bilgiler içermektedir (www.yasinkaplan.com). Veritabanında bulunan geçerli istasyonlar, her bir GSM telefon cihazına üretim aşamasında yüklenen Uluslararası Mobil Cihaz Kodu (IMEI) ile belirlenmektedir. Kullanıcı kimliğinin doğrulanması, çağrı güvenliğinin sağlanması ve kriptolama işlemlerinin gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan parametrelerin üretilmesi, Doğrulama Merkezi (AuC) tarafından yapılmaktadır.

Ağ operatörününün ağı izlemesini ve denetlemesini sağlayan OSS, bir GSM ağında müşterilere destek için gereken merkezi, bölgesel ve yerel işlemlerin uygun maliyetlerle gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (www.yasinkaplan.com).

Paket Anahtarlama Veri Ağı (PSDN), Tümlşik Hizmetler Sayısal Ağı (ISDN), Genel Aktarılmalı Telefon Ağı (PSTN) ve Yerel Karasal Mobil Telefon Ağı (PLMN) Ağ Anahtarlama Sistemine destek vermekte olan ağlardır.

1.2 GSM'in Evrensel Gelişimi

Günümüzdeki GSM sistemlerinin temelleri ilk olarak 1857 yılında İskoç teorik fizikçi ve matematikçi James Clerk Maxwell'in elektromanyetik alan teorisini ortaya çıkarmasıyla başlamıştır. 1901 yılında ise İtalyan fizikçi Guglielmo Marconi, radyo dalgalarının iletimi üzerine başarılı bir keşifte bulunarak ilk kez başarılı telsiz telgraf sistemini geliştirmiştir. Fakat bu gelişmeler kablosuz veri iletişimi için yetersiz sayılmış ve iletişim teknolojileri adına yapılan çalışmalar giderek hız kazanmıştır.

1947 yılında Bell Laboratuvarı mühendisleri tarafından gezgin telefonlar için altıgen hücrelerin önerilmesi ile mobil radyo frekansları etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum neticesinde bugünkü mobil iletişim sisteminin altyapısı oluşturulmuş ve sabit bağlantıların dışına çıkmıştır (Değermen, 2006: 118).

Dünya’da mobil iletişim teknolojisi adına yapılan en büyük gelişme, hücreli sistemlerin ortaya çıkarılması olarak görülmektedir (Nacar, 2004: 52). Hücreli kavramının ilk evrelerinde sistem tasarımcıları, sistemin tasarımını ve yerleşimini düzenlemek için belirli bir arazinin kapsama alanı olarak görülen bütün hücrelerin aynı şekle sahip olması gerektiğini kabul etmişlerdir. Bunun için ilk olarak daire şeklindeki hücreler önerilmiş ancak hiçbir hücrenin içerilmediği ya da fazla hücrenin içerildiği anlamsız alanlar elde edildiğinden bu tasarımın kullanışsız olduğuna karar vermişlerdir. Bu modelden farklı olarak herhangi bir boşluğa ya da kesişime izin vermeyecek olan eşkenar üçgen, kare ve düzgün altıgen şeklindeki hücre modelleri önerilmiştir. Bell Laboratuvarı’nda yapılan çalışmalar sonucunda sistem tasarımcıları ekonomik nedenlerden dolayı düzgün altıgen şeklindeki hücre modellerini önermişlerdir (Mac Donald, 1979: 20).

Alman demiryolu şirketi Reichsbann’ın müşterilerine ilk tren telefonunu tanıttıktan sonra mobil iletişimin sağlanabilmesi adına ülkeler birbirlerinden bağımsız olarak araştırmalarda bulunmuşlardır. Özellikle savaş dönemlerinde mobil iletişimin oldukça önem kazandığı görülmektedir. İlk olarak 1973 yılında ABD ordusu tarafından kullanılmaya başlayan ilk mobil telefon Motorola tarafından geliştirilmiş fakat 18 kg ağırlığındaki bu telefon ile yalnızca 7-8 dakikalık görüşme yapılabilmektedir. 1983 yılında ise ticari olarak sunulmuştur (Aktay, 2010: 40).

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile insanların haberleşme alanındaki ihtiyaçları yeni boyutlar kazanmıştır. Devamlı hareket halinde olan kişilerin telefon ile haberleşme sağlamalarında karşılaştıkları zorlukları aşmak ve devamlı sabit olma zorunluluğunu ortadan kaldırmak üzere, telefonları hareketli hale getiren teknolojiler 20.yy’ın sonlarına damgasını vurmuştur. Bu sebeple mobil iletişim için sistemin ilk adımları atılmış ve sürekli gelişerek günümüze kadar gelmiştir (Değermen, 2006: 117).

1.2.1 Birinci Nesil (1G) Mobil İletişim Sistemleri

1980 yılına kadar ABD başta olmak üzere birçok ülkede hücre tabanlı mobil radyo hizmetleri geliştirilmiştir. Ticari anlamda hücreli sistemler ilk olarak 1981 yılında İskandinav ülkelerinden İsveç, Norveç, Finlandiya ve Danimarka’yı kapsaması amaçlanan NMT (Nordic Mobile Telephone) ile hizmete sunulmuştur. 1983 yılında Amerika’da Geliştirilmiş Mobil Telefon Sistemi (AMPS) ve 1985 yılında da İngiltere’de Tam Erişimli Haberleşme Sistemi

(TACS) faaliyete geçmiştir. Ancak bu durum farklı ülkelerdeki sistemlerin birbirlerinden bağımsız olarak çalışmalarına sebep olduğundan bir sistemdeki mobil telefon cihazı başka bir sistemde kullanılamamıştır.

Mevcut analog sistemler zamanında çok başarılı olmasına karşın küreselleşmenin de etkisiyle kullanıcıların ihtiyaçlarını ve taleplerini karşılayamaz hale gelmiştir. Kullanıcıların verilen hizmeti ülke sınırları dışında da kullanmak istemesi ve kapsama alanının dışında kalan bölgelerde iletişimin aksaması ile sistemlerin yetersiz kalması bu durumun en belirgin problemi olmuştur. NMT, AMPS ve TACS gibi birinci nesil mobil iletişim sistemlerinin sadece ses iletimine dayalı çalışması ve bu sistemlerin terminal ve altyapı yetersizliği sebebiyle gelişen teknolojiye ayak uyduramamış olmaları, ülkeleri dijital sisteme geçmek zorunda bırakmıştır (Ürper, 2009: 4).

1.2.2 İkinci Nesil (2G) Mobil İletişim Sistemleri

1980'li yılların başında kullanılmakta olan analog sistemler genellikle ses iletiminde kullanılmaktaydı ve yüksek talep karşısında yetersiz kalmıştı. Artan ihtiyacı karşılamak üzere tasarlanacak yeni sistemlerin maliyetini Avrupa ülkelerinin tek başına yüklenmek istememelerinden dolayı 1982 yılında Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Yönetimi Birliği (CEPT) toplantısında, bütün Avrupa ülkelerinde kullanılması mümkün olan ve sayısal teknolojiye dayanan bir mobil telefon sisteminin geliştirilmesi kararlaştırıldı. Bu amaçla kurulan ve sistemin standartlarını belirleyen Mobil İletişim Özel Grubu'nun (Groupe Spéciale Mobile) kurulmasıyla Avrupa ülkeleri arasında mobil dolaşımın mümkün kılınması ve düşük servis maliyeti ile uygun konuşma kalitesinin sağlanması planlanmıştır (İlgün, 2006: 100). 1988 yılında bu grubun çalışmaları Avrupa Telekomünikasyon Standartları Komitesi'ne (ETSI) devredilerek küresel iletişim sistemi bir bütün haline getirilmiştir.

1990'lı yıllarda analog sistemlerden sayısal sistemlere geçilmiştir ve sesin yanında SMS gibi veri iletimine de olanak sağlanmıştır. Bu sebeple veri iletiminin daha da hızlanması ve daha kaliteli görüşmeler yapılması amaçlanmıştır. 2G olarak bilinen bu sistemlerden GSM, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) ve Dijital Geliştirilmiş Mobil Telefon Sistemleri (D-AMPS) en çok bilinen mobil iletişim standartlarıdır (Ürper, 2009: 5). GSM teknolojisi, kullandığı radyo erişim teknikleri bakımından birçok yenilikler getirmiş ve küresel sistemlere geçişi sağlayacak önemli bir aşama olarak kabul edilmiştir. Bu yeniliklerden en önemli olanları GSM'in güvenlik sistemi ve ses kalitesi olarak görülmektedir.

Dijital hücreli sistemler çeşitli rekabetçi standartları kullanırlar. Avrupa'da ve ABD'nin dışında kalan dünyanın birçok ülkesinde Küresel Mobil İletişim Sistemi (GSM) standarttır. GSM sisteminde Zaman Bölmeli Çoklu Erişim teknolojisi kullanılmaktadır.

GSM'in gücü uluslararası dolaşabilme yeteneğinden gelmektedir. ABD'deki en yaygın standart ise Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim (CDMA) tabanlı sistemdir ve ABD'deki iki büyük firma olan Verizon ve Sprint tarafından kullanılmaktadır. GSM mobil sistemi olarak ise T-Mobile ve AT&T Wireless sistemleri kullanılmaktadır (Laudon ve Laudon, 2011: 276).

1.2.3 Sayısal Hücrel Sistemlerin Geliştirilmesi ve 2,5G

2,5G sistemleri, mobil iletişim kullanıcılarının yeni nesil iletişim sistemlerine geçişte adapte olabilmeleri ve 2G sistemlerinin güncellenerek daha fazla veri iletebilmeleri için atılmış olan bir adımdır. GSM sisteminin veri iletim hızını daha ileriye taşımak adına geliştirilen Genel Paket Telsiz Hizmeti (GPRS) ve aynı zamanda Geliştirilmiş GPRS (EGPRS) olarak da bilinen GSM için Geliştirilmiş Veri Hızı (EDGE) bu kategoride değerlendirilmektedir (Barulay, 2013: 10).

1.2.4 Üçüncü Nesil (3G) Mobil İletişim Sistemleri

2000'li yıllara kadar ikinci nesil sayısal hücrel mobil iletişim sistemleri kullanılmıştır. Sürekli kendini yenileyen teknoloji sayesinde küresel rekabet artmış ve ülkeler "roaming" halinde iken daha kaliteli ses ve görüntü transferine ihtiyaç duymuşlardır. Dolayısıyla insanların hayat standartlarının yükselmesi ve gelişen teknoloji sebebiyle bu sistemlerin de yetersiz kaldığı görülmüştür. 2000'li yıllarda mobil iletişim sektöründe devam eden çalışmalar ile, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin (ITU) IMT-2000 çerçevesinde geliştirilen ve üçüncü nesil mobil iletişim sistemlerinden biri olan Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi'ne (UMTS) geçilmiştir. 3G sistemleri sayesinde mobil telefon kullanıcıları aynı numara ile herhangi bir mekan sınırlaması olmadan küresel dolaşım imkanına sahip olmuşlardır.

Üçüncü nesil iletişim sistemleri olarak adlandırılan sistemler, bütün dünyayı kapsayan ortak iletişim özelliği ile kişisel mobil iletişimi sağlamıştır. Bu sistemler Avrupa'da UMTS, ITU içinde ise Geleceğin Kamu Karasal Mobil Telekomünikasyon Sistemi (FPLMTS) olarak geçmektedir (Nacar, 2004: 53). Bu sistemin yanında Qualcomm firması tarafından geliştirilen ve çoğunlukla ABD'de kullanılmakta olan CDMA2000 sistemi bulunmaktadır (Barulay, 2013: 13).

Üçüncü nesil ya da 3G ağlar ile hem sabit kullanıcılar için hem de hareketli kullanıcılar için (örneğin bir arabadaki) görüntü, grafik ve diğer zengin ortamların iletim hızları yüksek kapasitelere ulaşmıştır. Sese ilave olarak günümüzdeki birçok mobil telefonun 3G ile uyumlu olmasından dolayı kablosuz geniş bant internet erişimi de sağlanabilmektedir. Yüksek hızlı hücrel ağlar Japonya, Güney Kore, Tayvan, Hong Kong, Singapur ve Kuzey Avrupa'nın çeşitli noktalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Laudon ve Laudon, 2011: 276).

1.2.5 Dördüncü Nesil (4G) Mobil İletişim Sistemleri

2G ve 3G standartlarının devamı olan ve 4G olarak adlandırılan yeni nesil mobil iletişim sistemi tamamıyla paket anahtarlamalı olarak tasarlanmıştır. Bu özelliği ile diğer mobil sistemlere göre daha kaliteli, daha güvenli ve daha hızlı olmakta ve 3G’de ortaya çıkan kapsama alanı problemini çözmesi beklenmektedir.

Uluslararası alandaki mobil abone sayısının her yıl bir önceki yıla göre artması ile ses, görüntü ve veri hizmetlerine olan gereksinim de artmaktadır. 4G teknolojileri IP tabanlı olması sebebiyle, haberleşme alanında hız ve kapasite devrimi yaparak her zaman ve her yerde genişbant erişimi sağlayabilmektedir (Urfalıoğlu, 2011: 12). Tüm bu teknolojilerden yararlanmak isteyen ve bunları yakından takip eden işletmeciler, kendileri için mükemmel sayılan bu pazardaki kullanıcılarına kaliteli ve çeşitli hizmet sunmak için birbirleriyle rekabet içerisine girmektedirler.

Uzun Vadeli Gelişim (LTE) ve Mobil WiMax teknolojileri 4G olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda günümüz dünyasında da kullanımı artmakta olan ve şirketlerin bilgi merkezleriyle makinalar arasında kablosuz iletişim kurulabilmesini sağlayan Makineden Makineye İletişim (M2M) teknolojisi, 4G ile bağlı olarak çalışmaktadır.

Tablo 1.1 Dijital Sistemlere Geçiş Sonrası Veri İletim Hızları

Nesil	Mobil Sistem Teknolojisi	Hız	Simge
2G	GSM	14,4 Kbps download/upload	2G
2G ara geçiş	2,5G	48 Kbps download/upload	G
	2,75G	236 Kbps download/upload	E
3G	UMTS	384 Kbps download 64 Kbps upload	3G
3G ara geçiş	3,5G	14,4 Mbps download 5,8 Mbps upload	H
	3,75G	84 Mbps download 22 Mbps upload	H+
4G	LTE	100 Mbps download 50 Mbps upload	4G
	LTE-Advanced	1 Gbps download 500 Mbps upload	4G+

Kaynak: www.ispreview.co.uk

Tablo 1.1’de mobil iletişimde sık karşılaşılan veri transferi için farklı standartlar ve bunların karşından yükleme (download)-karşıya yükleme (upload) hızları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Mobil kullanıcılar, yer ve zaman gözetmeksizin sabit ya da hareketli olsalar da ihtiyaç duyulan veriye en kolay ve en hızlı şekilde ulaşmak istemektedirler. Şimdiden gelişmiş ülkelerde 5G teknolojilerinden söz edilse de 2018 sonuna kadar tüm LTE kullanıcılarının %45’inin LTE-Advanced aboneleri olacağı ve bu oranın dünya çapında 927 milyon aboneden daha fazla bir değer olacağı tahmin edilmektedir.

1.3 Dünya’da Mobil İletişim

Genel merkezi Fransa’da bulunan IDATE kuruluşu tarafından yapılan araştırmada 2014 yılı dördüncü çeyreğinde dünya çapındaki 500 milyondan fazla LTE kullanıcılarının, toplam SIM kart kullanıcılarının %7’sini temsil ettiği ifade edilmiştir. 2018 yılı sonunda ise 2,3 milyar LTE kullanıcılarının olacağı ve bunun da toplamda SIM kart kullanıcılarının %29’una karşılık geleceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda dünyada ABD, Japonya ve Güney Kore’nin Haziran 2014’te LTE teknolojisini en çok kullanan ülkeler olduğu belirtilmiştir (www.idate.org).

Tablo 1.2’de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler içerisinde Haziran 2014 itibariyle 4G olarak adlandırılan LTE mobil teknolojilerini en çok kullanan 8 ülke gösterilmiştir. ITU tarafından hazırlanan rapora göre 2005-2014 yılları arasında mobil kullanıcı sayısının ve penetrasyon oranının hem gelişmiş ülkelerde hem de gelişmekte olan ülkelerde sürekli arttığı görülmektedir.

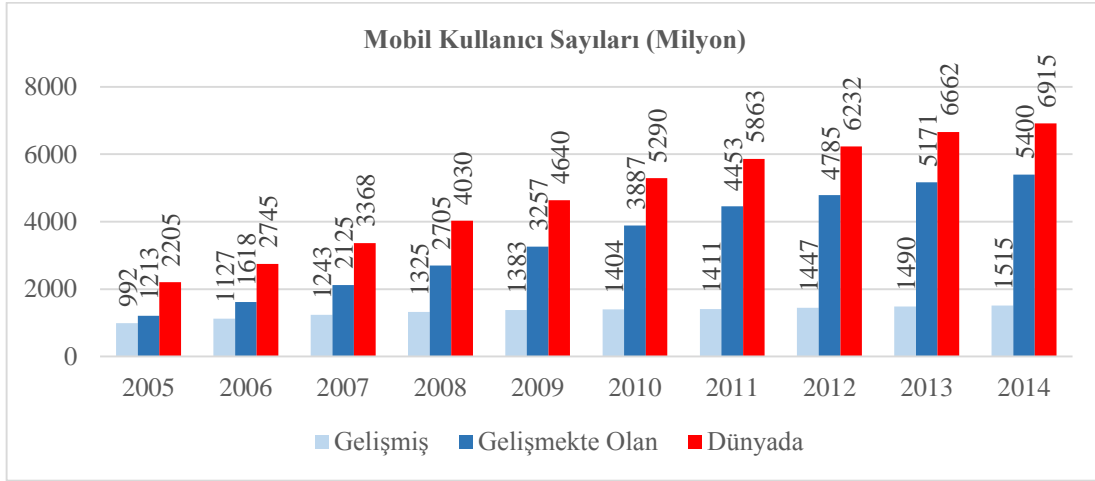
Tablo 1.2 LTE Pazarında Abone Sayılarına Göre İlk 8 Ülke

Ülke	Haziran 2014 Verileri*
ABD	140
Japonya	51,2
Güney Kore	32,6
Çin	14,9
Avustralya	9,1
Almanya	9
İngiltere	7,6
Fransa	5,5

*Haziran 2014 verileri “milyon” olarak belirtilmiştir.

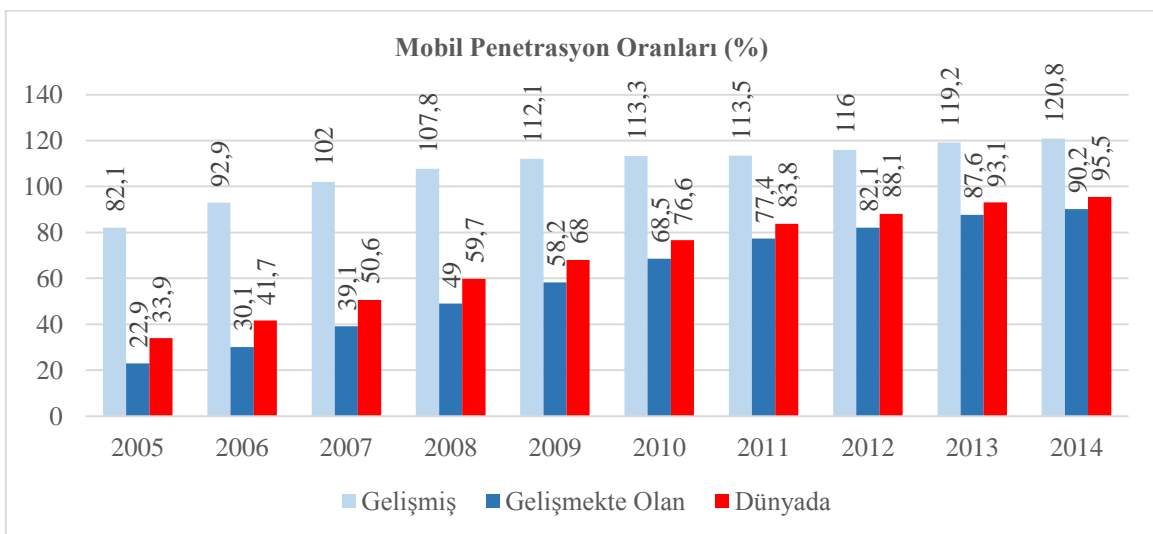
Kaynak: www.idate.org

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi 2014 yılında gelişmiş ülkelerde 1,5 milyar’dan fazla, gelişmekte olan ülkelerde ise 5,4 milyar’dan fazla mobil kullanıcı sayısının olduğu tahmin edilmiştir.



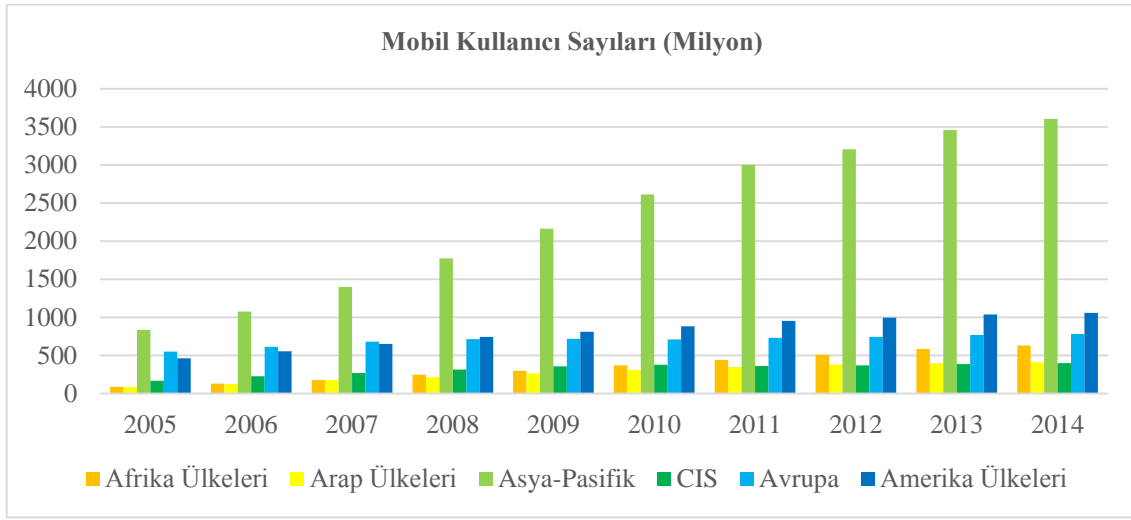
Şekil 1.2 2005-2014 Yılları Arasındaki Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerin Mobil Kullanıcı Sayıları (www.itu.int)

Şekil 1.3’e göre, 2014 yılındaki mobil penetrasyon oranları incelendiğinde gelişmiş ülkelerde bu oranın %120,8 olduğu görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu oran %90,2’de kalmıştır. Dünya geneline bakıldığında yaklaşık 7 milyar mobil kullanıcının bulunduğu ve dünya nüfusunun %95’lik kısmını oluşturduğu ifade edilmektedir. 2014 yılında Ericsson tarafından açıklanan mobilite raporuna göre mobil abone sayısının 2015 yılında dünya nüfusundan fazla olacağı tahmin edilmektedir (www.ericsson.com).

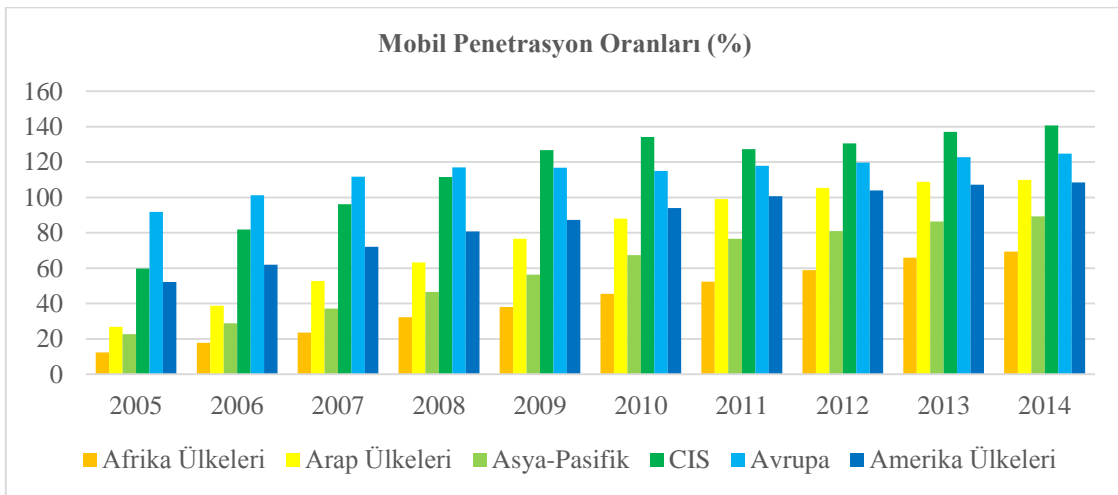


Şekil 1.3 2005-2014 Yılları Arasındaki Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerin Mobil Penetrasyon Oranları (www.itu.int)

Bölgelere göre incelendiğinde, mobil kullanıcı sayısı Asya ve Pasifik ülkelerinin nüfusu da dikkate alındığında 3,5 milyarın üzerinde olduğu görülmektedir. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi en az mobil kullanıcı sayısına sahip olan bölge, içerisinde Azerbaycan, Türkmenistan, Kazakistan, Ukrayna ve Rusya gibi 14 ülkenin bulunduğu Bağımsız Devletler Topluluğu'dur (CIS). Ancak Şekil 1.5'te ifade edilen mobil penetrasyon oranları baz alındığında CIS, Avrupa ve Amerika ülkelerini de geride bırakarak %140,6 oranla ilk sıraya yerleşmiştir. Afrika ülkeleri ise %69,7 penetrasyon oranı ile son sırada yer almıştır.



Şekil 1.4 2005-2014 Yılları Arasında Bölgelere Göre Mobil Kullanıcı Sayıları
(www.itu.int)



Şekil 1.5 2005-2014 Yılları Arasında Bölgelere Göre Mobil Penetrasyon Oranları
(www.itu.int)

ABD'de birbiriyle en çok rekabet halinde olan 4 büyük operatör bulunmaktadır. Bunlar Verizon, Sprint, AT&T Wireless ve T-Mobile'dır. Verizon sadece ABD'de kullanılırken, AT&T Wireless ve Sprint operatörleri Porto Riko ve Virjinya Adaları'nda da kullanılmaktadır.

T-Mobile ise Deutsche Telekom şirketine ait olup daha çok Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. GSMA Intelligence verilerine göre 2014'ün son çeyreğinde 323,9 milyon nüfusa sahip ABD'de SIM penetrasyon oranı %102 olarak ölçülmüştür (gsmaintelligence.com, United States of America). 2014 üçüncü çeyrek sonundaki abone sayıları dikkate alındığında 125,3 milyon abone sayısı ile Verizon'un birinci sırada olduğu ve onu 118,7 milyon, 54,8 milyon ve 52,9 milyon abone sayıları ile sırasıyla AT&T, Sprint ve T-Mobile takip etmektedir (www.fiercewireless.com).

2001 yılında ilk ticari 3G hizmetinin tüm dünyaya tanıtıldığı ve dünyanın önde gelen GSM şirketlerinden olan Japon NTT DoCoMo, Japonya'da Haziran 2013 verilerine göre 61,6 milyon ile en çok kullanılan operatör olmuştur (www.tca.or.jp). 2014'ün dördüncü çeyreğinde 126,9 milyon nüfusa sahip Japonya'da mobil penetrasyon oranının %125 olduğu görülmektedir (gsmaintelligence.com, Japan).

Ocak 2002'de 3G hizmetini başlatan Güney Kore operatörlerinden SK Telecom 28 milyon'dan fazla kullanıcı sayısı ile ülke çapında en çok tercih edilen operatör olmuştur (www.sktelecom.com). 2014 son çeyreğinde Güney Kore'de 49,6 milyon nüfusun %112 penetrasyon oranına karşılık gelen 55,6 milyon mobil kullanıcı bulunmaktadır (gsmaintelligence.com, South Korea).

Şubat 2015'te 808,5 milyon abone sayısı ile Chine Mobile, Çin'de en çok kullanılan operatör olmuştur (www.chinamobiletd.com). Dünyanın en kalabalık ülkesi konumunda bulunan ve 2014 son çeyrek verilerine göre 1,4 milyar nüfusa sahip olan ülkede mobil penetrasyon oranının %92'de kaldığı görülmüştür (gsmaintelligence.com, China).

İlk ticari 3G hizmetinin 2003 Mart ayında verildiği Avustralya'da 2014 son çeyrek verilerine göre mobil penetrasyon oranının %126 olduğu görülmektedir. Penetrasyon oranının yüksek olduğu bu ülkede 30 milyon mobil kullanıcı sayısı bulunmaktadır (gsmaintelligence.com, Australia). Avustralya'da Telstra, Optel ve Vodafone operatörleri kullanılmaktadır. 16 milyon mobil abone sayısı ile Telstra ilk sırada yer almaktadır (www.telstra.com.au). Telstra'yı 9,4 milyon kullanıcısı ile Optus takip etmektedir (www.afr.com).

2014 son çeyrek verilerine göre Almanya'nın 82,6 milyon nüfusu ve %135 SIM penetrasyon oranı ile 111,3 milyon mobil bağlantısı bulunmaktadır (gsmaintelligence.com, Germany). Ülkede Alman kuruluşu Deutsche Telekom'a ait T-Mobile, İngiliz Vodafone firmasına ait Vodafone Almanya ve İspanyol operatör firmasının hizmet verdiği Telefónica operatörleri bulunmaktadır. En fazla kullanıcıya sahip olan operatörün, dünyada 150 milyon'dan fazla kullanıcıya hizmet veren ve Almanya'da 39 milyon mobil kullanıcı sayısı bulunan T-Mobile olduğu görülmektedir (www.annualreport.telekom.com).

İngiltere’de 2014’ün dördüncü çeyreğinde nüfus 63,7 milyon olarak ölçülmüştür (gsmaintelligence.com, United Kingdom). Nüfusunun %118’inin mobil penetrasyona sahip olduğu İngiltere’de en çok tercih edilen operatörün EE olduğu görülmektedir. EE operatörünü, Fransız Orange S.A. ve Alman Deutsche Telekom şirketleri bir araya gelerek ortaya çıkarmışlardır. EE’nin İngiltere’de 30 milyon’dan fazla kullanıcı sayısı ile ilk sırada yer almasının en büyük nedeni, geniş mobil ağ sistemleri sayesinde en hızlı 4G hizmetine sahip olmasıdır. 2014’ün ikinci çeyreğinde abonelerinin %70’inden fazlasına 4G hizmeti veriyor olması bu durumu en iyi şekilde açıklamaktadır (ee.co.uk). İngiltere’deki mobil iletişim pazarında O₂ ve Vodafone İngiltere, EE’yi takibini sürdürmektedirler.

64,8 milyon nüfusu bulunan Fransa’da ise %98 SIM penetrasyon oranı bulunmaktadır (gsmaintelligence.com, France). Fransa’da en çok kullanıcısı bulunan operatör Orange S.A. kuruluşuna ait Orange operatörüdür. Orange’ın 2014 son çeyrek verilerine göre 27,1 milyon aboneye sahip olduğu belirtilmiştir (www.orange.com).

1.4 Türkiye’de GSM’in Gelişimi

Türkiye’de mobil iletişim ilk olarak 1986 yılında Türk Telekom’un operatörlüğü ile Ankara ve İstanbul’da kullanılmaya başlayan NMT analog (1G) sistemleri olmuştur. Aynı zamanda 522 alan kodu ile araçlarda da kullanılan birinci nesil sistem, terminallerinin çok maliyetli olması ve servis kalitesi bakımından çok zayıf olması sebebiyle dünyada da kullanımı gittikçe yaygınlaşan 2G mobil iletişim sistemlerine geçişi zorunlu kılmıştır. İkinci nesil mobil sistemlerin Türkiye’ye gelmesiyle birlikte NMT’nin yaygınlığı giderek azalmıştır (Ürper, 2009: 20).

Günümüz toplumunda modern iletişim sistemlerinin, toplumun her alanında ayrılmaz bir parça olarak görülmesi ve dünya ekonomisi içerisinde yer almanın esaslarından biri sayılması, iletişim teknolojileri bakımından dünyada rekabete sebep olmuştur. Meydana gelen rekabet ortamı aynı zamanda teknolojik açıdan da ülkelerin hızlı bir şekilde kalkınmasını beraberinde getirmiştir. Türkiye, iletişim altyapısını diğer ülkelere göre geç kurmasına rağmen bu hızlı değişimden etkilenerek yeni teknolojiye sahip olma avantajını sağlamıştır (Nacar, 2004: 51).

Dünya’da ticari olarak 1991 yılında kullanılmaya başlayan GSM sistemi, Türkiye’de ilk olarak 1994 yılında kullanılmaya başlamıştır. 1993 yılında, sistemin Türkiye’de kurulup hizmet vermesi amacıyla PTT’nin GSM 900 sistemi için açtığı ihaleyi Telekom Finland, Ericsson Telekomünikasyon A.Ş., Çukurova Grubu ve Kavala Grubu’nun oluşturduğu Turkcell Konsorsiyum’u ve Detecon, Alcatel SEL, Siemens, Teletaş ve Simko’nun oluşturduğu Telsim konsorsiyumu kazanmıştır (Ürper, 2009: 21).

GSM hizmeti ilk olarak 1994 yılında Ankara, İstanbul ve İzmir illerinde verilmiştir. 1998 yılına kadar gelir paylaşımı esasına göre yürütülmekte olan projede elde edilen gelirin %67,1'i Türk Telekom'a ve geriye kalan %32,9'u ise sektörün ilkleri olan Telsim ve Turkcell'e pay edilmiştir. Nisan 1998'de 500 milyon ABD doları karşılığında lisans hakkı sözleşmesinin imzalanması ile telekomünikasyon alanında ilk defa Telsim ve Turkcell ticari olarak faaliyete başlamışlardır (Değermen, 2006: 119).

İlk zamanlarda sistemin getirmiş olduğu yenilikler fazla bilinmemesine rağmen teknik altyapıya yapılan büyük yatırımlar sonucunda 2G teknolojisi hızlı bir şekilde fark edilmiştir. 1994 yılında sektörde 81.276 cep telefonu abone sayısı bulunmakta iken 1998 yılında gerekli şartlar sağlandığında lisans hakkı verilen alternatif operatörlerin faaliyet göstermeye başlaması ile cep telefonu abone sayısı 3.382.137'ye çıkmıştır. GSM kullanıcılarının sayısı 2001 yılına kadar %100'ün üzerinde artış göstererek 19.502.897 kullanıcıya ulaşmıştır (www.tuik.gov.tr). Aynı zamanda 2001 yılı, ilk defa sabit telefon abone sayısının cep telefonu abone sayısından daha az olduğu yıl olması bakımından önemlidir. Dolayısıyla Türkiye'de mobil iletişimin, uygulanan çeşitli politikalarla rekabet kazanarak daha fazla kullanıcıya ulaşacağı açık bir şekilde gözükmektedir.

Nisan 2000'de, GSM 1800 lisansı için açılan ihaleyi İtalyan TIM (Telecom Italia Mobile) ve İş Bankası 2,5 milyon ABD doları vererek kazanmışlardır. İş-TİM çatısı altında Mart 2001'de faaliyete başlayan Aria, Türkiye'de 1800 MHz bandında kullanıma açılan ilk operatör olmuştur. Aria'nın GSM hizmetine başladığı 2001 yılında, 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu hükümlerine göre yapılan ihale sonucunda Aria ile aynı frekans bandında faaliyet gösterecek olan Aycell operatörü kullanıma açılmıştır. Türk Telekom tarafından kurulan Aycell'in sektöre katılmasıyla Türkiye'deki operatör sayısı 4'e yükselmiş ve pazara ilk giren Telsim ve Turkcell, kendilerini büyük bir rekabet ortamı içinde bulmuşlardır.

Şubat 2004'te, Türk Telekom'un GSM operatörü Aycell'in, %51'i İş Bankası Grubu ve %49'u TİM ortaklığı ile kurulmuş olan İş-TİM ile birleşmesiyle öncelikle TT&TİM İletişim Hizmetleri A.Ş. kurulmuştur. Birleşmeden sonra Aria ve Aycell markaları TT&TİM çatısı altında kısa bir süre devam etmişlerdir. Haziran 2004'te ise birleşmeden doğan sinerjinin ifade edildiği Avea markası piyasaya sunulmuştur (www.avea.com.tr).

Türkiye'de faaliyet gösteren ilk operatörlerden olan Telsim'e Şubat 2004'te TMSF tarafından el konulmuş ve Aralık 2005'te 4,5 milyar dolara gelirler bakımından dünyanın en büyük uluslararası mobil iletişim şirketlerinden biri olan Vodafone Grubu'na satılmıştır. Mayıs 2006'da ise Vodafone Telekomünikasyon A.Ş. olarak yeniden kullanıcılarına hizmet vermeye başlamıştır.

GSM dünyası için yeni bir dönüm noktası olan 3G teknolojisi, dünyada standartların belirlendiği tarihten yaklaşık olarak 10 yıl sonra, 2009 yılında Türkiye’de başlamıştır. Cep telefonundan hızlı ve zengin içerikli veri akışına ve görüntülü konuşmaya imkan sağlayan IMT2000/UMTS sistemlerine geçiş öncesi Aralık 2008’de ihalesi yapılmış ve Temmuz 2009’da Avea İletişim Hizmetleri A.Ş., Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş. ve Vodafone İletişim Hizmetleri A.Ş. ile 3G hizmetine geçilmiştir (yetkilendirme.btk.gov.tr).

2015 yılında atılan adımlar, Türkiye için yepyeni bir sisteme geçişin önemli bir habercisi olmaktadır. 4G sistemine geçişin sağlanabilmesi adına altyapı çalışmaları tüm hızıyla devam ederken 4 Mart 2015 tarihinde aralarında BTK kurulu üyelerinin ve sektör temsilcilerinin de bulunduğu toplantıda Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Eski Bakanı Elvan, 4G ihale sürecinin başlatılmasına yönelik açıklamalarda bulunmuştur. Yetkilendirme ihalesini 2015 yılı Mayıs ayı içerisinde tamamlayarak yıl sonuna kadar 4G hizmetlerini sunmayı planladıklarını ifade eden Elvan, aynı zamanda 4G ile birlikte 2600 MHz bandında mevcut işletmecilerin yanında yeni bir işletmeciye de yer açacaklarını ifade etmiştir. İşletmelere verilecek yeni frekanslarla işletmelerin 2G, 3G ve 4G gibi teknolojileri kullanmalarına imkan sağlanması ve ihale sonunda tüm işletmecilerin sahip oldukları band genişliklerinin azami ölçüde dengelenmesi planlanmaktadır. Bu amaçla bandlar arasına “cap” ler (azami alınabilecek frekans miktarı) konularak, band genişliği açısından bir işletmecinin diğerlerine göre çok avantajlı hale gelmesi önlenmeye çalışılacağı ifade edilmiştir (<http://www.tk.gov.tr/sayfa.php?ID=432>).

Türkiye’deki önemli sektörlerden birisi olan mobil iletişim sektöründe, 4G ihalesi için geri sayım başlamıştır. Ancak Nisan 2015’te Türk Telekom’un 175.yıl dönümü etkinliğine katılan Cumhurbaşkanı Erdoğan, 4G ile zaman kaybetmeden doğrudan 5G’ye geçilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Yapılan bu açıklamanın ardından Başbakan Davutoğlu ve Ulaştırma Bakanı Bilgin, Cumhurbaşkanı’nı ikna ederek 4G ihale sürecine devam kararı almışlardır. Ancak 26 Mayıs 2015 tarihinde yapılması planlanan 4G ihalesi 26 Ağustos 2015 tarihine ertelenmiştir. Yapılacak olan ihalede, 5G altyapısının hazır olması durumunda 4G’den daha ileri düzeyde olan 4,5G ile piyasaya girileceği tahmin edilmektedir.

1.5 Türkiye’de Faaliyet Gösteren GSM Operatörleri

Mobil iletişim pazarında 2004 yılından itibaren 3 operatör faaliyet göstermektedir. Bu operatörler sırasıyla Turkcell, Vodafone ve Avea’dır. 10 yıldan fazla bir süredir faaliyet gösteren bu operatörler son yıllarda yeni mobil kullanıcı bulmakta zorlanmakta ve farklı stratejilerle (numara taşıma kampanyaları, uzun dönem kullanıcılarına özel kampanyalar, çeşitli sektörlerle işbirliği yaparak abonelerine avantaj sağlamaları, avantajlı tarife ya da paketler vb.) rakiplerinden müşteri kapmaya çalışmaktadırlar. Ancak operatörler, çeşitli kampanyalar

düzenleyerek mobil kullanıcıların son yıllarda göstermiş oldukları tutumsal davranışları ölçmenin yanında, kablosuz iletişimi ve teknolojiyi de kullanarak farklı hizmetler sunmaya çalışmaktadırlar.

1.5.1 TURKCELL

Şubat 1994'te Turkcell'in hizmete girmesiyle Türkiye'de GSM temelli mobil iletişim devri başlamıştır. 27 Nisan 1998'de T.C. Ulaştırma Bakanlığı ile 25 yıllık GSM lisans anlaşması imzalayan Turkcell, GSM 900 teknolojisini kullanan 2G ve 3G operatörüdür. Türkiye'nin yanında Azerbaycan, Gürcistan, Moldova, Kazakistan, Belarus, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Rusya ve Almanya'da da faaliyetlerini sürdüren Turkcell'in hisseleri 11 Temmuz 2000'de İMKB ve NYSE'de (New York Stock Exchange) eşzamanlı olarak işlem görmeye başlamış ve NYSE'ye kote olan ilk ve tek Türk şirketi ünvanına sahip olmuştur.

Turkcell, %41,45'ine sahip olduğu Fintur aracılığı ile Azerbaycan'da Azercell, Kazakistan'da Kcell, Moldova'da Moldcell ve Gürcistan'da Geocell mobil operatörleri ile halen büyümekte olan pazarlarda yatırımlarda bulunmaktadır. Ayrıca KKTC'de KKTCCell, Ukrayna ve Belarus'ta ise "life:)" markası ile GSM hizmetleri vermektedir. Turkcell'in tamamına sahip olduğu Almanya'daki iştiraki Turkcell Europe ise 2011 yılında faaliyetlerine başlamıştır. Turkcell, 2010 yılında imzaladığı toptan trafik alım sözleşmesi ile 2011 yılının ilk çeyreğinde Almanya'da mobil sanal operatörlük hizmeti sunarak GSM faaliyetlerini 9 ülkeye yaymıştır (www.turkcell.com.tr).

Turkcell'in yurt içinde ve yurt dışındaki birçok ülkede lider GSM hizmetlerinin yanında önemli sosyal sorumluluk projeleri, sponsorluk anlaşmaları ve sivil toplum kuruluşları ile ilişkileri bulunmaktadır. Turkcell'in eğitim, spor, kültür, sanat, girişimcilik, istihdam ve dezavantajlı gruplara destek gibi birçok alanda proje faaliyetleri bulunmaktadır.

Turkcell'in kurucu ortakları arasında, daha önceden Telecom Finland Ltd. olarak bilinen ve şu anda İskandinav mobil pazarında faaliyet göstermekte olan TeliaSonera'nın sahibi Sonera Holding, Çukurova Grubu ve 1993 yılında Murat Vargı tarafından kurulan MV Holding bulunmaktadır. MV Holding aynı zamanda en yaygın cep telefonu satış ağına sahip olan KVK'nın da kurucu ortağıdır.

1.5.2 VODAFONE

1994 yılında ilk olarak "Telsim" adı ile kurulan şirket, Türkiye'de GSM 900 frekansında hizmet veren ikinci mobil operatör olmuştur. 2004 yılında TMSF tarafından el konulan Telsim, 2005 yılında Bankalar Kanunu'nun ilgili hükümleri gereğince yapılan ihalede 4,55 milyar ABD dolarına İngiliz telekomünikasyon devi Vodafone'a satılmıştır.

1 Ocak 1985 tarihinde İngiltere'nin ilk mobil görüşmesini yapan ve şu anda dünyada 30 farklı ülkede faaliyet gösteren Vodafone, 24 Mayıs 2006 tarihinde ise Vodafone Türkiye, resmi adıyla Vodafone Telekomünikasyon A.Ş. olarak Türkiye'de GSM hizmetini başlatmıştır. Operatörün ismi, cep telefonları ile ses ve veri servislerinin yapıldığını ifade etmek için, "voice", "data" ve "phone" kelimelerinin kısaltmalarından oluşmuştur.

1.5.3 AVEA

Türkiye'nin üçüncü operatörü konumunda bulunan Avea, 23 Haziran 2004 tarihinde Aria ve Aycell markalarının TT&TİM çatısı altında birleşmesiyle kurulmuştur. GSM sektörünün en genç ve alternatif operatörü olan Avea, Türkiye GSM pazarına ciddi bir rekabet ortamı getirmiştir. GSM 1800 frekansında hizmet veren Avea'da, Türk Telekom'a %89,99 ve İş Bankası'na ait %10,01'lik hisse oranları bulunmaktadır. 205 ülkede 685 operatörle uluslararası dolaşım anlaşması bulunan Avea, bünyesinde Fenercell, GSMobile, Kartalcell gibi birçok sanal operatör barındırmaktadır (www.avea.com.tr).

1.6 Mobil Pazar Verileri ve Önemli Kavramlar

Türkiye'de 2009 yılının üçüncü çeyreğinde mobil iletişim alanında yaşanan gelişmeler GSM operatörleri tarafından çok büyük önem taşımaktadır. İkinci nesil mobil iletişim sistemleri, cep telefonu abone sayısının hızla artması ve sistemin bütün kullanıcılara aynı oranda kaliteli ses ve veri iletişimini sağlayamamasından dolayı oldukça yetersiz kalmıştır. Bu durum mobil pazara da yansımış ve operatör şirketlerinin artan talebi karşılayabilmesi adına daha fazla yatırım yapmalarına neden olmuştur. Öyle ki Turkcell 2004 yılında 683,4 milyon TL yatırım yaparken 2008 yılında 1,2 milyar, 2009 yılında ise 1,8 milyar TL yatırım yapmıştır. Benzer şekilde Vodafone 2004 yılında 40,2 milyon TL, 2008 yılında 446,7 milyon TL ve 2009 yılında 1,5 milyar TL yatırım yapmıştır. Avea ise 2004, 2008 ve 2009 yıllarında sırasıyla 224 milyon TL, 958 milyon TL ve 1,2 milyar TL'lik yatırımlarda bulunmuştur (www.btk.gov.tr, 2009 yılı 4. çeyrek pazar verileri).

Operatör şirketleri, 3G mobil sistemlerine geçtiğimiz 2009 yılında yapmış oldukları yatırımlarla kendi bünyelerinde rekor kırmışlardır. Bu durum, 2015 yılının sonlarına doğru 4G mobil sistemlerine geçildiği takdirde, şirketlerin büyük miktarlarda bütçe ayıracaklarına işaret etmektedir.

Tablo 1.3'te mobil işletmecilere ait 2009-2013 yılları arasındaki yıllık net satış gelirleri bulunmaktadır. 2013 yılı sonu itibarıyla mobil işletmecilerin dışında Türk Telekom ve diğer işletmecilerin de bulunduğu pazarda toplam gelirden Turkcell %29,13'lük, Vodafone %15,25'lik ve Avea %12,17'lik pay almıştır.

Tablo 1.3 2009-2013 Yılları Arasında Mobil İşletmecilerin Yıllık Net Satış Gelirleri

	2009*	2010*	2011*	2012*	2013*
Turkcell	8,025	7,991	8,332	8,828	9,123
Vodafone	2,585	3,350	3,742	4,380	4,774
Avea	2,407	2,497	2,907	3,354	3,808

*Yıllara ait veriler “milyon TL” olarak belirtilmiştir.

Kaynak: www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri

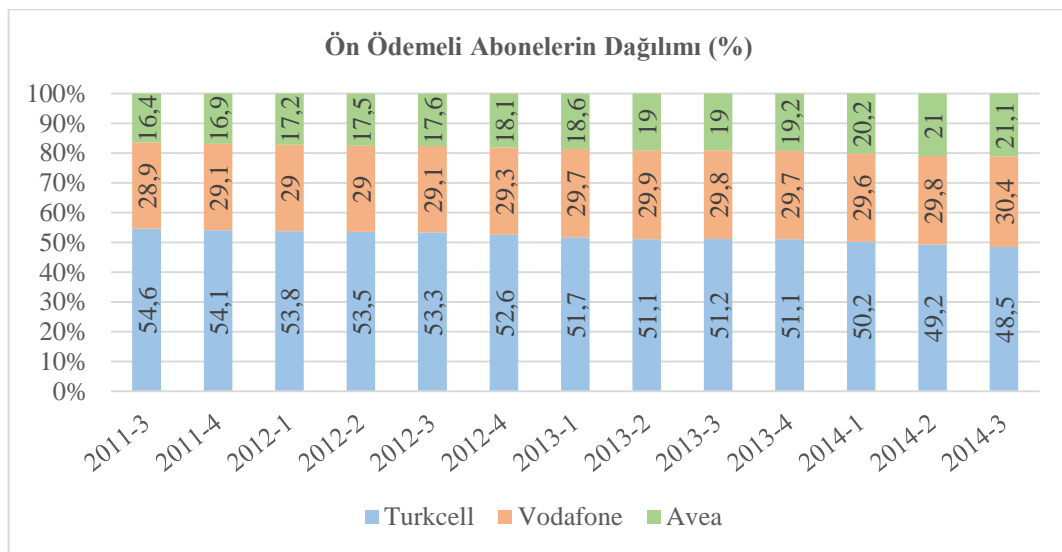
Tablo 1.4 2009-2013 Yılları Arasında Mobil İşletmecilerin Toplam Yıllık Yatırımları

	2009*	2010*	2011 *	2012*	2013*
Turkcell	1,823	779	894	947	1,507
Vodafone	1,557	1,043	800	589	621
Avea	1,209	839	800	757	706

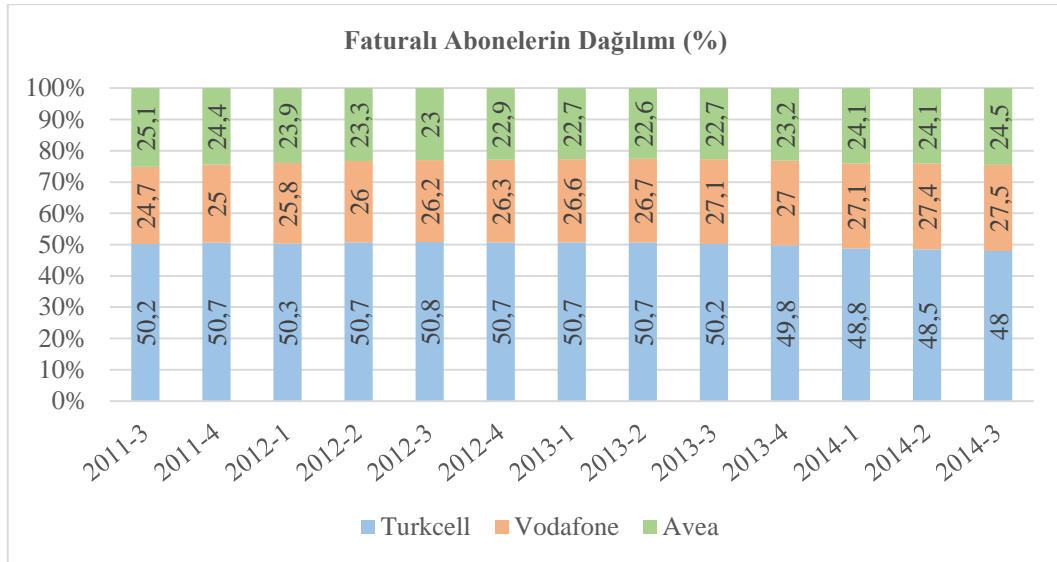
*Yıllara ait veriler “milyon TL” olarak belirtilmiştir.

Kaynak: www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri

Şekil 1.6’da ve Şekil 1.7’de, Türkiye’deki mobil abonelerin abonelik türlerine göre dağılımı gösterilmektedir. 2014 yılı üçüncü çeyreğinde toplam mobil abonelerin %57,08’i ön ödemeli (faturasız) ve %42,92’si faturalı abonelerden oluşmaktadır. 2013 yılının aynı çeyreğindeki ön ödemeli abone sayısının oranı %60,08 ve faturalı abone sayısının oranı ise %39,92 olarak ölçülmüştür. Avrupa ülkelerinde ön ödemeli abone oranları %40, faturalı abone oranları ise %60 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Türkiye’de GSM operatörü kullanıcılarının çoğunu ön ödemeli aboneler oluşturmaktadır.

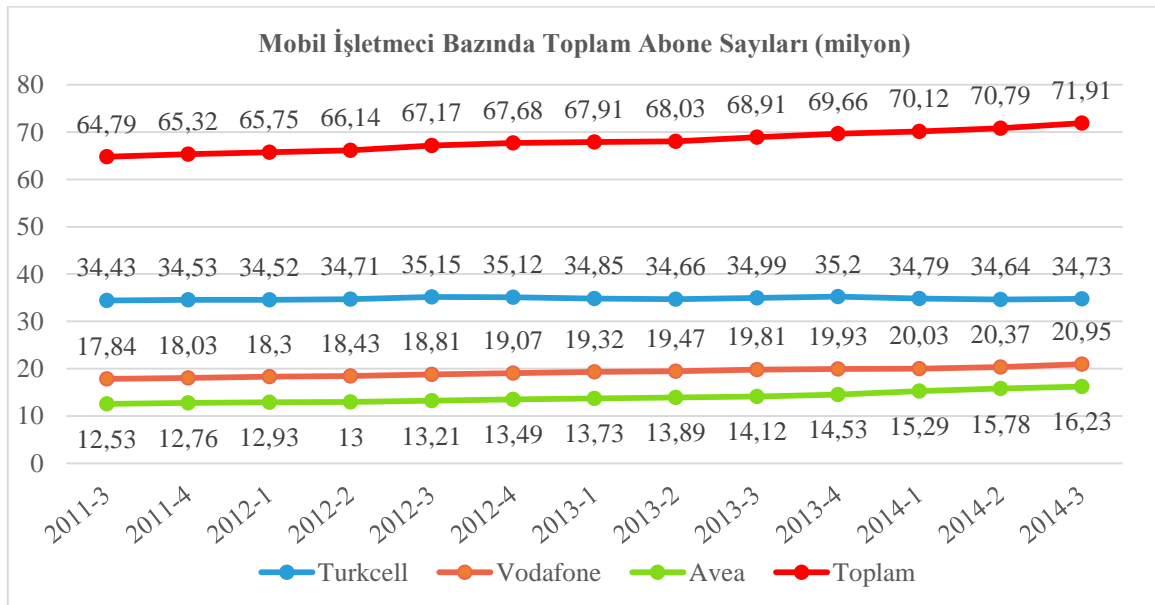


Şekil 1.6 GSM Operatörlerinin 2011-3 ve 2014-3 Arası Ön Ödemeli Abonelerinin Dağılımı



Şekil 1.7 GSM Operatörlerinin 2011-3 ve 2014-3 Arası Faturalı Abonelerin Dağılımı

Mobil GSM operatörlerinin 2011-3 ve 2014-3 arasındaki toplam abone sayıları Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Buna göre Vodafone ve Avea operatörlerinin kullanıcı sayıları sürekli artmakta, Turkcell operatörü kullanıcı sayısının ise belirli bir dönem artış gösterdikten sonra azaldığı görülmektedir. 2014 yılının üçüncü çeyreğinde mobil işletmecilerin abone sayısına göre pazar paylarında Turkcell %48,3 ile birinci, Vodafone %29,13 ile ikinci ve Avea %22,57 ile son sırada yer almaktadır (www.tk.gov.tr).



Şekil 1.8 GSM Operatörlerinin Toplam Abone Sayıları

Mobil operatör işletmecileri, farklı tarifeler oluşturma, hizmet kalitesi ve çeşitliliğini artırmak adına mobil telekomünikasyon sektöründe yaygın olarak kullanılan abone kayıp oranından faydalanmaktadırlar. Abone kayıp oranı, işletmeciler tarafından kaybedilen

müşterilerin miktarını ölçmek için kullanılan bir oran olup, belli bir dönemde işletmeciden aldığı hizmeti sona erdiren abonelerin sayısının o dönemdeki mevcut ortalama abone sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir. Eylül 2014'te Turkcell %2,96, Vodafone %3,03 ve Avea %3,12 abone kayıp oranlarına sahiptirler (www.tk.gov.tr).

Mobil işletmecilerin trafiğe göre pazar paylarında Eylül 2014'te Turkcell %39,28 ile ilk sırada yer almaktadır. Turkcell'i %34,21 ile Vodafone ve %26,51 ile Avea takip etmektedir. SMS sayılarında ise Vodafone (11,49 milyar), Avea (9,89 milyar) ve Turkcell (9,36 milyar) sıralaması bulunmaktadır. Mobil işletmeciler en fazla konuşma ve veri iletiminden gelir elde etmektedirler. Ancak konuşmadan elde ettikleri gelirler 2008 yılından 2013 yılına kadar olan dönemde %15 oranında azalarak %65,6 olmuştur. Veri iletiminden elde ettikleri gelir ise %18 oranın artarak %19,3 olmuştur. İşletmeciler en az geliri ise SMS, MMS ve katma değerli hizmetlerden sağlamaktadırlar.

Abone başına aylık gelir (ARPU), bir işletmecinin sunduğu mobil hizmetlere göre ortalama olarak bir ayda bir aboneden ne kadar gelir elde ettiğini ifade eden önemli bir kavramdır. 2014 yılı üçüncü çeyrek sonunda abone başına aylık gelir olarak Turkcell 23,83 TL, Vodafone 22,21 TL ve Avea 22,87 TL gelir elde etmektedir. Ön ödemeli ARPU değerlerinde Avea 14,73 TL, faturalı mobil ARPU değerlerinde ise Turkcell 39,43 TL ile ilk sırada yer almaktadır (www.tk.gov.tr).

Bir abonenin aylık ortalama konuşma süresi ya da aylık kullanım miktarı (MoU), mobil telefon kullanım seviyesinin ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Eylül 2014 itibarıyla Turkcell'in MoU değeri 306 dakika, Vodafone'un 426 dakika ve Avea'nın ise 448 dakika olarak gerçekleşmiştir (www.tk.gov.tr). Turkcell'in mobil abone sayısının daha fazla olması sebebiyle Turkcell'in mobil trafik hacmi daha fazla olmaktadır. Avea'nın mobil trafik hacminin daha az olmasına rağmen Eylül 2014 verilerine göre en çok konuşuran operatör olduğu görülmektedir.

1.7 Numara Taşınabilirliği Sistemi

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu bünyesinde kurulan ve GSM operatörleri arasında numara taşınmasını sağlayan Numara Taşınabilirliği Sistemi'nin (NTS) 9 Kasım 2008 tarihinde kullanıma açılmasıyla abonelere, operatör seçiminde özgürlük tanınmış ve operatörler arası rekabete farklı bir boyut kazandırılmıştır. NTS, abonenin numarasını değiştirmeden hizmet aldığı işletmeciyi değiştirmesini sağlayan bir sistemdir.

Mobil iletişim pazarındaki numara taşıma sisteminin taşıma maliyetlerinin düşürülmesiyle işletmeciler arasındaki rekabetin artacağı düşünülmektedir (Lee vd., 2006: 107). NTS'nin sadece işletmecileri değil, aynı zamanda mobil aboneleri de etkileyeceği ve

GSM kullanıcılarına önemli yararlar getireceği ifade edilmektedir. Aboneler bu sistem sayesinde daha iyi ve düşük ücretli tarifelere, daha yüksek kaliteye ve daha geniş hizmet olanaklarına sahip olabilmektedirler. Ayrıca aboneler, hiçbir taşıma ücreti ödemediği takdirde ihtiyaçlarını daha iyi karşılayan bir operatöre geçebilmektedirler (Shin, 2007: 2). Mobil aboneler, numaralarını başka bir operatöre taşıyabildikleri gibi aynı operatörde kalarak farklı bir hizmet türüne geçebilmektedirler. Örneğin faturalı hat kullanıcısı, operatörünü ve numarasını değiştirmeden ön ödemeli (faturasız) hizmet kampanyalarından yararlanabilmektedir.

NTS'nin olmadığı zamanlarda, operatörlerinden memnun olmayan müşteriler başka bir operatöre geçmek istedikleri zaman o ana kadar kullanmış oldukları telefon numaralarından vazgeçmek zorunda kalmışlardır. Bu durum, kullanıcıların yeni numaralarını tekrar paylaşmalarına, yeni kartvizitler basmalarına ve numaralarını değiştirdikleri için önemli telefonları kaçırmalarına sebep olmuştur (Buehler ve Haucap, 2004: 223).

Türkiye’de Şubat 2015 itibarı ile 79.724.081 numara taşıma işlemi gerçekleştirilmiştir (www.nts.gov.tr). Sadece 2014 yılının üçüncü çeyreğinde 3.655.772 ve 2010 yılının aynı çeyreğinde ise 4.425.667 numara taşınarak bu alandaki en yüksek değere ulaşılmıştır (www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri). Tablo 1.5’te mobil operatörlerin bu sistemle kazandıkları ve kaybettikleri müşteri miktarları verilmiştir.

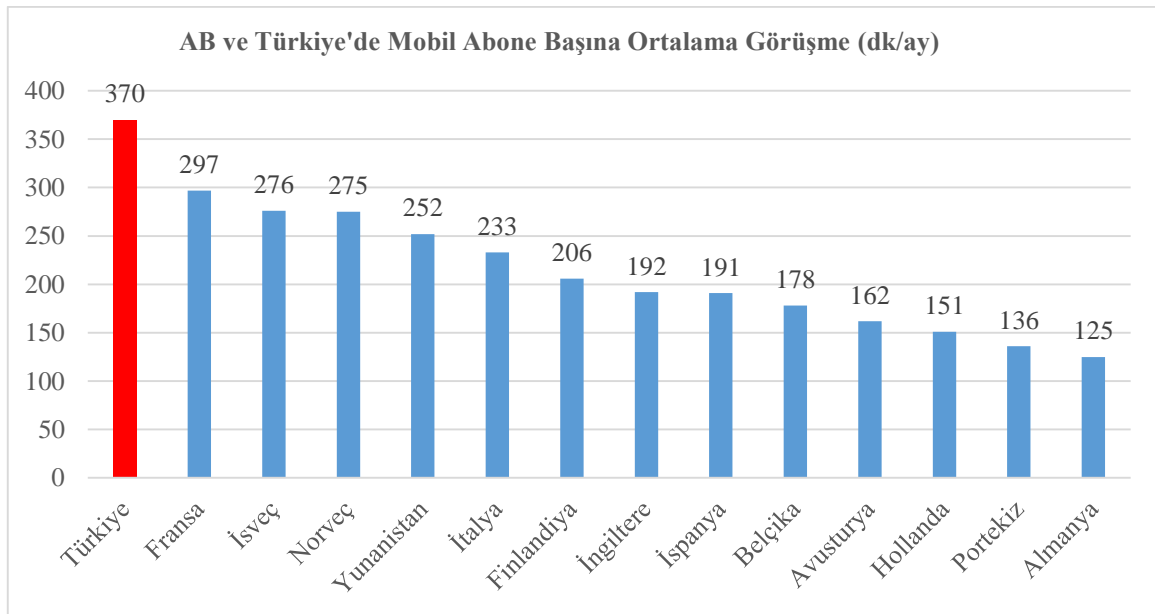
Tablo 1.5 Mobil Numara Taşınabilirliği Kapsamında Mobil İşletmelerin Gelen Abone Sayıları

Yıl-Dönem	Turkcell*	Vodafone*	Avea*
2011-3	-255	112	143
2011-4	-171	56	116
2012-1	-310	176	134
2012-2	-88	31	57
2012-3	-224	100	124
2012-4	-306	64	242
2013-1	-416	139	227
2013-2	-303	101	202
2013-3	-175	42	133
2013-4	-192	-112	304
2014-1	-579	-119	698
2014-2	-415	31	384
2014-3	-327	103	224

*Operatörlere ait veriler “bin” olarak belirtilmiştir.

1.8 Sosyal, Ekonomik ve Teknolojik Açıdan Mobil İletişimin Türkiye'deki Yeri

GSM sektörü, cep telefonu mobil abone sayısının çok fazla olmasının yanında kullanım alanlarının zenginliği, sosyal, kültürel, ekonomik getirisinin olması ve teknolojik gelişimlere açık olmasından dolayı sadece dünyada değil Türkiye'de de oldukça ilgi görmektedir. Akıllı telefonların toplum içerisinde giderek yaygınlaşması ve sadece akıllı telefonlar ele alındığında Türkiye'nin %30'a yakın penetrasyon oranı ile dünyada 38'inci sırada bulunması sebebiyle rekabet ses iletiminden veri iletimine doğru kaymaktadır. Dolayısıyla mobil operatör şirketleri mobil internet sağlayıcısı konumuna geçecekleri dönemlere hazırlanmakta ve yatırımlarını daha çok bu alanlara yapmaktadırlar. Ancak günümüzdeki pazarda en büyük gelir, konuşma ücretlerinden sağlamaktadır. Şekil 1.9'a göre, 2014 yılı üçüncü çeyreğinde 370 dakika olan ortalama aylık mobil kullanım süresi ile Türkiye'nin, Avrupa ülkeleri içerisinde en fazla mobil telefonla görüşme yapan ülke olduğu görülmektedir.



Şekil 1.9 Türkiye ve Avrupa Ülkelerinin MoU Değerleri (www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri)

Türkiye'de cep telefonu abone sayısının artması ile birlikte her yıl mobil arama trafik miktarının arttığı, sabit arama trafik miktarının azaldığı görülmektedir. 2013 yılında, bir önceki yıla göre toplam trafik miktarı %7 artarak 202,6 milyar dakikaya ulaşırken bu trafiğin yaklaşık %92'sini mobil trafik oluşturmuştur. Mobil abone sayısının ve mobil arama trafiğinin artmasıyla birlikte sabit abone sayısı son 10 yılda önemli miktarda azalmıştır. 2008 yılında Türkiye'de 17,49 milyon sabit abone bulunurken, 2014 yılının üçüncü çeyreğinin sonunda 12,74 milyon sabit abone sayısı bulunmaktadır. Aynı zamanda sabit penetrasyon oranının

%24,5'den %16,62'ye düştüğü gözlemlenmiştir (www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri).

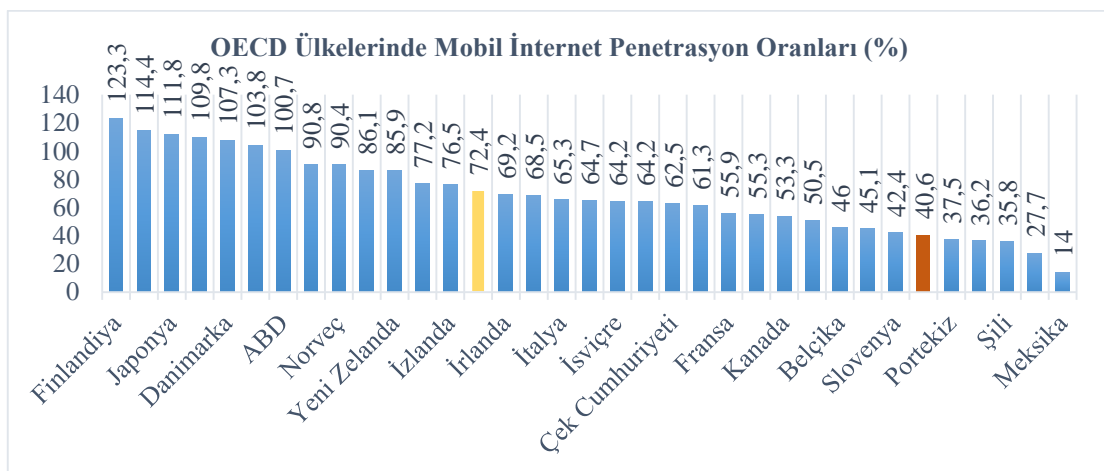
Türkiye'de mobil operatör işletmecileri satış gelirlerinin büyük bir kısmını konuşma ücretlerinden sağlasa da, mobil cepten internetten elde edilen gelirlerdeki artış trendi, gelecekte bu durumun değişeceğini haber vermektedir. 2009 yılının üçüncü çeyreğinde başlayan mobil internet hizmetleri yalnızca 218 bin kişiye ulaşmıştır. Ancak Tablo 1.6'ya göre, 2014 yılının üçüncü çeyreğinde sadece mobil cepten internet abonesi sayısı 29,83 milyon'a çıkmıştır. Aynı yılın üçüncü çeyreğinde Türkiye'deki toplam internet abonesi sayısının 39,84 milyon olduğu ve dördüncü nesil mobil iletişim teknolojisine de geçilecek olması durumu beraber incelendiğinde, mobil cepten internete erişim yakın gelecekte daha fazla artacak ve operatör şirketlerinin uygulayacağı yeni tarifelerle internet hizmetlerinden elde edecekleri gelir artacaktır. Bu durum sadece bireysel kullanıcıları değil, aynı zamanda geliştirilen mobil teknoloji uygulamaları sayesinde kurumsal müşterileri de etkileyecektir.

Tablo 1.6 Mobil Cepten İnternet ve Toplam İnternet Abone Sayıları

	2009-3	2010-3	2011-3	2012-3	2013-3	2014-3
Mobil Cepten İnternet	218.812	1.158.866	4.007.546	9.685.926	21.099.677	29.826.976
Toplam	6.413.390	8.158.007	12.862.865	19.347.620	31.076.185	39.837.692

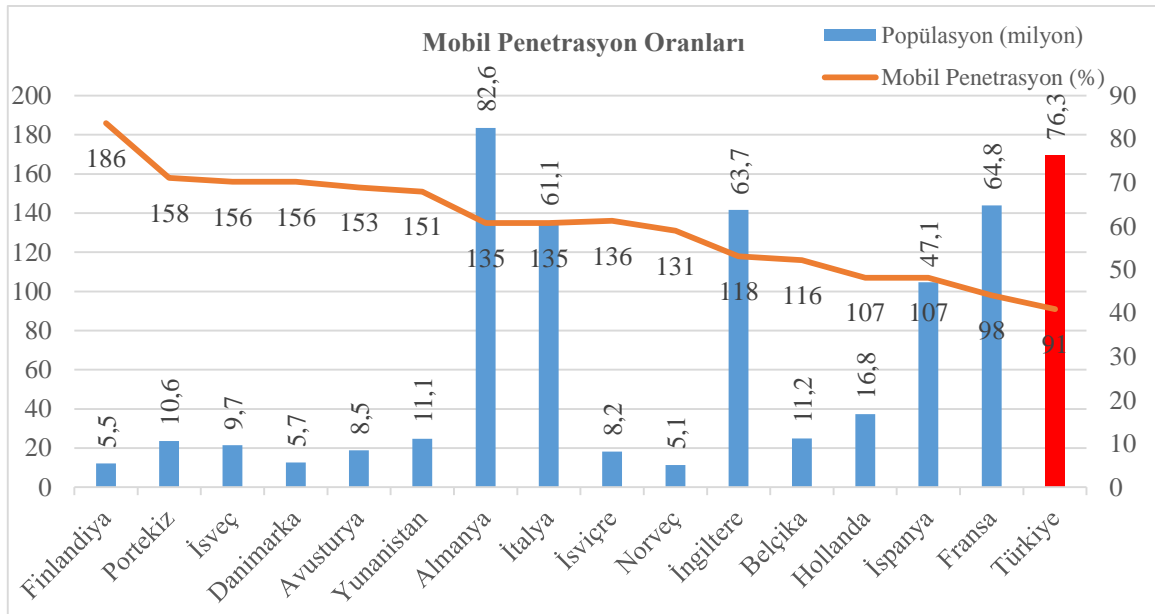
Kaynak: www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri

Şekil 1.10'da OECD ülkeleri ve Türkiye'de nüfusa göre mobil genişbant penetrasyon oranları verilmiştir. OECD ülkelerinin verileri Aralık 2013, Türkiye'nin verileri ise Eylül 2014 olarak ele alınmıştır. Mobil genişbant penetrasyon oranının Türkiye'de %40,6 iken OECD ortalamasının %72,4 olduğu görülmektedir.



Şekil 1.10 OECD Ülkelerinde Mobil Genişbant İnternet Yaygınlığı (www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri)

77,695,904 nüfusu ile Avrupa'da Almanya'dan sonra ikinci sırada bulunan Türkiye'de, 2014 yılı Eylül ayı sonu itibarı ile %93,8 penetrasyon oranına karşılık gelen toplam 71,908,742 mobil abone bulunmaktadır. Temmuz 2009'da 3G hizmetinin kullanıma açılmasıyla birlikte 3G mobil abone sayısında her yıl artış gözlemlenmiştir. Eylül 2004'te %93,8 penetrasyon oranının %56,8'ini 3G ve %15,1'ini ise 2G aboneleri oluşturmaktadır. Ayrıca Türkiye'de mobil cihazların genellikle 9 yaşın üzerindeki bireyler tarafından kullanıldığı varsayımıyla hareket edildiğinde 2014 yılı Eylül ayı sonunda mobil penetrasyon oranı %112'ye kadar çıkmaktadır (www.tk.gov.tr).



Şekil 1.11 Türkiye ve Bazı Avrupa Ülkelerinin 2014-4 Mobil Penetrasyon Oranları (gsmintelligence.com)

İletişim teknolojilerinde meydana gelen gelişmelere hızlı bir şekilde ayak uyduran Türkiye'de, M2M kısaltmasıyla bilinen Makineler Arası İletişim (Machine to Machine Communication) teknolojisi sayesinde üretim, hizmet, izleme, lojistik ve reklam sektörlerinde şirketlerin bilgi merkezleriyle makinalar arasında kablosuz iletişim sağlanmaktadır. Kablosuz ve daha esnek bağlantı sağlama potansiyeline sahip olan mobil işletmeciler, M2M uygulamalarını en çok benimseyen işletmeciler olmaktadır (www.tk.gov.tr). Mobil işletmeciler sağlamış oldukları M2M uygulamaları ile ülke ekonomisine önemli katkılar yapmaktadırlar.

Dünyada 2011 yılında toplam GSM hatlarının %2,3'ü olan M2M oranının 2020'de %19'a yükselmesi beklenmektedir. Türkiye'deki M2M abone sayısı Tablo 1.7'de görülmektedir.

Tablo 1.7 Türkiye'deki M2M Abone Sayısı

	2011*	2012*	2013*	2014-1*	2014-2*	2014-3*
M2M Abone Sayısı	1,20	1,69	2,11	2,19	2,32	2,40

*Yıllara ait veriler “milyon” olarak belirtilmiştir.

Kaynak: www.tk.gov.tr, 2014 yılı 3. çeyrek pazar verileri

Diğer hizmetlere göre göreceli olarak daha yeni bir hizmet olan makineler arası iletişim, elektronik haberleşme sektöründe yavaş yavaş önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'deki araçlarda, endüstride, sağlıkta, enerjide ve evlerde M2M'in kullanılması ile pek çok faydanın sağlanması ve ekonomiyi olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

1.9 Literatür Taraması

Literatürde, iletişim sektöründe büyük bir yer kaplayan mobil iletişim ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birçoğunun operatörler ile ilgili olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmaları genel olarak iki grupta inceleyebiliriz. Birinci grupta yapılan çalışmalar operatörlerin pazar paylarını araştırırken, ikinci gruptaki çalışmalar ise operatör tercihlerini etkileyen faktörleri araştırmaktadır. GSM operatörleri ve tercih nedenleri ile ilgili yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıdaki kısımda özetlenmektedir.

Erginel ve Şentürk (2011), Türkiye'de faaliyet gösteren üç büyük operatörü; fiyat, hizmetler, reklam, güvenilirlik ve kampanya gibi kriterlere ve bunlara ait belli alt kriterlere göre sıralayabilmek için Bulanık Analitik Ağ Süreci (FANP) metodunu önermiştir. Çalışmada sözel ifadeler yardımıyla kriterlerin birbirlerine göre önem durumları karşılaştırıldığından, üçgensel üyelik fonksiyonu ile bulanık ölçeklendirilme yapılmıştır. Kriterlerin kısmi ağırlıkları elde edildikten sonra alt kriterlerin kısmi ağırlıkları ve her bir kriter için alternatiflerin ağırlıkları uzman kişiler tarafından tanımlanmıştır. Kriterlere ait ağırlıklar ile alt kriterlere ait ağırlıkların çarpılması sonucu ortaya çıkan her bir alt kritere ait ağırlıklar kullanılarak operatörlerin sıralanması gerçekleştirilmiştir.

Erginel, Çakmak ve Şentürk (2010) yaptıkları çalışmada, Türkiye'deki GSM operatörlerinin beklenen pazar paylarını belirlemek için bulanık çok kriterli karar verme yöntemini kullanmışlardır. Numara Taşınabilirliği Sistemi (NTS) uygulaması sonrasında kişilerin operatör içi arama fiyatı, diğer operatörleri arama fiyatı, şebeke kalitesi, kapsama alanı, vb. gibi kriterler altında GSM operatörlerinin gelecekteki pazar payları bulanık TOPSIS metodu ile araştırılmıştır.

Kızıgın (2008) yapmış olduğu çalışmada, GSM operatörü kullanıcılarının operatör tercihlerini etkileyen değişkenlerin operatör türlerine göre konumlandırılmasını incelemiştir. Araştırma yöntemi olarak anket yöntemi kullanılmış ve 2006-2007 Eğitim Öğretim Yılı Bahar

Dönemi'nde Muğla Üniversitesi Merkez ilçede eğitim gören lisans ve önlisans öğrencilerine uygulanmıştır. Çalışmada SPSS paket programı kullanılarak veri analizleri gerçekleştirilmiştir. GSM operatörü tercihinde Vodafone %37,8'lik oranla ilk sırada gelmiş, onu sırasıyla %37,5 ve %24,7 oranları ile Turkcell ve Avea takip etmiştir. Operatör tercihlerini etkileyen değişkenlerin operatör türlerine göre konumlandırılması amacıyla çok değişkenli bir istatistik yöntem olan Diskriminant Analizi kullanılmıştır. Bu yöntem ile belirlenen tercih faktörlerinin hangi operatörde daha üstün olduğu açıklanmıştır. Buna göre “müşteri hizmetlerinin etkisi”, “şebeke kapsama alanının genişliği” ve “sunulan ek hizmetler” faktörleri bakımından Turkcell'in, “tarife uygunluğu” ve “aile, arkadaş ve referans gruplarının etkisi” faktörleri bakımından ise Avea'nın diğer operatörlere göre daha üstün olduğu sonucu elde edilmiştir.

Dündar ve Ecer (2008), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemini kullanarak üniversite öğrencilerinin GSM operatörleri tercih sıralamasını belirlemişlerdir. Bu çalışmada, öğrencilerin operatör hattı satın almalarında dikkate aldıkları beş karar kriteri (konuşma ücreti, kapsama alanı, hat ücreti, hizmet kalitesi, öğrencinin ailesinin GSM operatörü aboneliği) belirlenmiştir. Öğrenciler, hem karar kriterlerinin hem de her bir karar kriterine göre GSM operatörlerinin ikili karşılaştırmalarını, AHP yönteminin önem düzeyi ölçeğine göre yapmışlardır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda karar kriterlerinin önem ağırlık puanları hesaplanmıştır. Buna göre GSM operatörlerinin her bir karar kriterine ve kriterlerin tamamına göre tercih sıralaması belirlenmiştir.

Tosun, Güngör ve Topçu (2008), GSM operatörleri pazar hareketlerinin belirlenmesi amacıyla Analitik Ağ Süreci (ANP)'ne dayanan bir karar modeli geliştirmişlerdir. İlk olarak, ele alınan problem ile ilgili katılımcılara sorulan sorulardan hareket ederek operatör tercihini etkileyen faktörler belirlenmiş ve bu faktörler birbirleriyle ilişkili olacak şekilde kümelenmiştir. Daha sonra, ilgili faktörlerin öneminin belirlenmesi ve Türkiye'deki mobil iletişim operatörlerinin pazar paylarının tahmini için nicel analiz yapılmıştır. Karar modelinin geçerlilik kazanması için tahmin edilen pazar payı değerleri mevcut değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen ANP modelinin geçerliliği gözlemlenmiştir.

Mazzoni, Castaldi ve Addeo (2007), ölçekleme yaklaşımını ele alarak, kullanıcı yaşam tarzları, kullanım nedenleri ve servis özellikleri değişken kümeleri üzerinde faktör ve kümeleme analizleri şeklinde iki tane çok değişkenli analiz tekniği uygulamışlardır. Her üç değişken grubuna ait olan faktörlerin hesaplanması, faktör analizi yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen faktörlere K-Means algoritması uygulanmıştır. Çalışma, İtalya'da yaşayan ve yaşı 14 ile 65 arasında olan 1067 bireye uygulanarak yaşam tarzları, kullanım nedenleri ve servis özellikleri değişkenlerine ait faktörlerin, teknolojik, değer odaklı ya da temel

kullanıcı kısımlarından hangisine daha yakın oldukları araştırılmıştır. Sonuç olarak her bir kısım için üç boyutlu bir değerlendirme yapılmıştır.

Kuo ve Chen (2006), yaptıkları çalışmada bulanık yapay değerlendirme kullanarak sistem operatörleri için, abonelere sunulan temel iletişim servislerinin dışında kalan her türlü içeriği kapsayan çağrı, data servisleri ve uygulamaları olarak adlandırılan mobil katma değerli servislerin seçimini incelemiştirlerdir. Bu amaçla müşterilerin beklentilerini en çok karşılayan en iyi mobil katma değerli servis firmasının seçimi için analitik araç geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, bulanık yapay değerlendirme metodu benimsenmiş ve mobil katma değerli servis operatörlerinin performanslarını belirlemek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Mobil katma değerli servis olan iletişim, eğlence, bilgi ve işlem faktörleri ve her bir faktöre ait faktör kümeleri önem ağırlıkları hesaplanarak sıralanmıştır. Bu sıralamaya göre tüketicilerin ilk olarak iletişim özelliklerine daha sonra bilgi, eğlence ve işlem servislerine önem verdikleri görülmüştür. Bütün faktörler ele alındığında ise sırasıyla, kısa mesaj gönderme, kişi listeleri, işlem güvenliği, bilgi trafiği ve popüler müzik indirme gibi faktörlerin daha önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Özer, Özçakmak ve Oktay (2006) yaptıkları çalışmada, Atatürk Üniversitesi öğrencilerinin cep telefonu GSM operatörü tercih olasılığını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada öğrencilerin faturalı ya da faturasız (kontrollü) hat tercihini etkileyen demografik, sosyal ve ekonomik faktörler tespit edilmiş ve anlamlı olan faktörler belirlenmiştir. Anlamlı olan faktörlerin (cep telefonu harcaması, cinsiyet, ailede okuyanların sayısı ve sınıf) yer aldığı logit model oluşturularak öğrencilerin hat tercihi olasılığının hangi yönde ve ne kadar etkilendiği Eviews paket programı kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen anlamlı katsayılara göre aylık cep telefonu harcaması 1 birim arttığında ya da bir üst sınıfa geçildiğinde öğrencinin faturalı hat kullanma olasılığının arttığı, ailede okuyan kişi sayısı 1 arttığında ya da kız öğrenci olması durumlarında ise faturalı hat kullanma olasılığının azaldığı gözlemlenmiştir.

Felek, Yuluğkural ve Aladağ (2005), çok amaçlı karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemlerini kullanarak Türkiye'deki GSM operatörlerine ait pazar paylarını tahmin etmeyi amaçlamıştır. Elde edilen tahmin sonuçlarına göre yöntemler kıyaslanmış ve pazar payı için daha güvenilir olan model belirlenmiştir. Bu amaçla, GSM operatörlerinin tercih edilmesinde etkili olan kriterler belirlenmiş ve AHP yöntemi için hiyerarşik model, ANP yöntemi için ise ağ modeli oluşturulmuştur. AHP ve ANP yöntemleri ile elde edilen sonuçların birbirleri ile kıyaslanabilmesi için Hadamard çarpımı kullanılmıştır. Çıkan sonuçlara göre ANP yönteminin gerçek verilere daha çok yaklaştığı görülmüş ve mevcut karar problemi için tercih edilmiştir.

Nâsır (2003) yaptığı çalışmada, mobil GSM pazarında artan rekabetten etkilenen kullanıcıların, kullanmakta olduğu GSM operatörlerinden memnuniyet derecelerini ve operatör değişikliği eğilimlerinin saptanmasını incelemiştir. Araştırmada öncelikle katılımcıların GSM operatörü seçiminde önem verdikleri kriterler belirlenmiş ve önem sırasına göre sıralanmış, daha sonra katılımcıların kullanmakta oldukları operatörlerin kriterlere göre memnuniyet dereceleri hesaplanmış ve sıralanmıştır. Son olarak katılımcıların başka bir GSM operatörüne kayma davranışının nedenleri faktör analizi yardımıyla sınıflandırılmıştır. Analizler SPSS paket programı kullanılarak yapılmış ve elde edilen verilere göre mobil GSM operatörü kullanıcılarının operatör seçiminde en çok önem verdiği kriterlerin, faturalama hizmetlerinin doğruluğu, kapsama alanının genişliği, şebeke kalitesi ve konuşma ücretleri olduğu görülmüştür.

İKİNCİ BÖLÜM

MARKOV ZİNCİRLERİ ve GİZLİ MARKOV MODELLERİ

Bu bölümde stokastik (olasılıksal) süreçlerden ve sınıflandırmalarından, Markov sürecinden, Markov zincirlerinden ve Markov zincirlerinin yeterli olmadığı durumlarda Markov zincirlerinin özel bir modeli olarak kullanılabilen gizli Markov modellerinden bahsedilecektir.

2.1 Stokastik Süreçler

Günlük hayatta karşılaşılan bir problemin karakteristik özelliğini belirlemek için bazı karar modelleri kullanılmaktadır. Bu karar modelleri deterministik ve stokastik olarak ikiye ayrılmaktadır. Deterministik modellerde, meydana gelebilecek bütün olaylar ve bu olayların sonuçları kesin ve tam olarak tahmin edilebilmektedir. Doğrusal programlama problemleri, tamsayı programlama problemleri, ulaştırma ve şebeke modelleri, verinin deterministik olarak bulunduğu belirlilik altında karar verme yöntemleri içerisinde değerlendirilmektedir.

Verilen bir sistemin durumu sabit veya tesadüfi zaman aralıklarında olasılıklı biçimde değişiyorsa stokastik süreç söz konusu olmaktadır (Öztürk, 2012: 731). Olasılıksal ya da probabilistik modeller olarak da ifade edilen stokastik modellerde, meydana gelebilecek olaylar ve bu olayların sonuçları önceden tahmin edilememektedir. Doğal olayın belirsizliğinden veya temel değişkenin akla gelmeyen değişim kaynağından dolayı belirsizlik meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu değişkenlik matematiksel model haline dönüştürülerek nicel olarak incelenmektedir (Öz, 2009(b): 7). Gauss süreçleri, Poisson süreçleri, Markov süreçleri ve gizli Markov süreçleri stokastik modeller sınıfına girmektedir.

Stokastik süreçler, zamandaki değişime bağlı olarak kestirilmesi mümkün olmayan ve zaman içinde gelişen süreçler olarak ifade edilmektedir. Stokastik süreç matematiksel olarak, $\{X_t | t \in T\}$ şeklinde gösterilmektedir. T , sürecin zaman parametresi olan t 'nin mümkün değerlerinin tamamını içeren bir parametre kümesidir. Uygulamada T , genellikle ilgili olayın zaman aralığı olarak ele alınmakta ve parametre yerine zaman ifadesine yer verilmektedir. T parametre kümesi, kesikli zamanlı veya sürekli zamanlı olabilmektedir (Öz, 2009(b): 11). X_t , stokastik sürecin rassal (tesadüfi) değişkenidir. Rassal değişkenlerin aldığı her bir değer, durum olarak adlandırılmakta ve X_t değişkenlerinin tüm mümkün değerleri, S durum uzayını oluşturmaktadır.

Durum uzayı ve parametre uzayı, reel ya da tamsayı değerlerden oluşmaları bakımından farklı şekillerde adlandırılmaktadırlar. Durum uzayında sonlu ya da sayılabilir

sonsuzlukta durum olduğunda süreç, “kesikli durum uzaylı” olarak adlandırılırken, durum uzayında sonsuz sayıda durum olduğunda ya da durum uzayı kesikli olmadığına o zaman süreç, “sürekli durum uzaylı” olarak adlandırılmaktadır. T parametre kümesi, sayılabilir bir küme ise süreç “kesikli parametrelili”, zaman bakımından kesikli değilse “sürekli parametrelili” süreç olarak ifade edilmektedir. Gözlemler, kesikli parametrelili stokastik süreçlerde belirli zamanlarda gerçekleştirilirken, sürekli parametrelili süreçlerde zamanın her anında gerçekleştirilmektedir (Akyurt, 2009: 48-49).

Durum ve parametre uzaylarının tanım aralıkları Tablo 2.1’de verilmiştir. Buna göre 4 farklı şekilde sınıflandırma yapmak mümkündür. İlerleyen bölümlerde daha çok kesikli zaman stokastik süreçler ele alınacaktır.

Tablo 2.1 Stokastik Süreçlerin Durum ve Parametre Uzaylarına Göre Sınıflandırılması

Parametre Uzayı	Durum Uzayı	Tanım
$T = \{t t \geq 0, t \in \mathbb{Z}\}$	$S = \{X_t t \geq 0, t \in \mathbb{Z}\}$	Kesikli zaman- Kesikli durum uzaylı stokastik süreç
$T = \{t t \geq 0, t \in \mathbb{Z}\}$	$S = \{X_t -\infty < t < +\infty, t \in \mathbb{R}\}$	Kesikli zaman- Sürekli durum uzaylı stokastik süreç
$T = \{t -\infty < t < +\infty, t \in \mathbb{R}\}$	$S = \{X_t t \geq 0, t \in \mathbb{Z}\}$	Sürekli zaman- Kesikli durum uzaylı stokastik süreç
$T = \{t -\infty < t < +\infty, t \in \mathbb{R}\}$	$S = \{X_t -\infty < t < +\infty, t \in \mathbb{R}\}$	Sürekli zaman- Sürekli durum uzaylı stokastik süreç

Kaynak: Öz, 2009(b): 12

2.2 Markov Süreci

Markov karar süreçleri, sonlu sayıda ve zamanla değişen durumlarla ifade edilebilen stokastik karar sürecinin dinamik programlama uygulamalarında kullanılmaktadır. Sürecin yapısı, bir durumdan başka bir duruma geçerken ya da belirsizlik anında ardışık kararlar oluşturma durumunda, karar vericinin vereceği kararlara bağlı olmaktadır. Buna göre, ele alınan her bir durum, karar verici için ya bir kazanç ya da bir maliyete sebep olmaktadır. Problemin amacı, sonlu ya da sonsuz aşamalar süresince beklenen kazancı maksimum, maliyeti ise minimum seviyeye çekerek optimal politikayı belirlemektir (Büyüktatlı, 2013: 15).

Markov süreci, gelecek durumun sadece şu anki duruma bağlı olduğu ve daha önceki durumlardan etkilenmediği stokastik bir süreçtir. Aynı zamanda Markov süreci, sistemin belli

bir olasılığa bağlı olarak bulunduğu durumdan farklı bir duruma geçtiği bir durum makinesi modelidir (Seyhan, 2013: 16). Bu modelin kurulabilmesi için sistemin sahip olduğu durumların ve durumlar arasındaki geçiş olasılıklarının biliniyor olması gerekmektedir.

Markov süreci, Markovyen varsayımını taşımaktadır. Markovyen varsayımına sahip olan bir sistemde, bir durumdan başka bir duruma geçiş, yalnızca bir önceki duruma bağlı olan koşullu olasılıklar ile ifade edilmektedir. Dolayısıyla, bir durumdan diğer bir duruma geçmek için, sistemin daha önceki durumlarının bilinmesine gerek yoktur. Matematiksel olarak ifade edildiğinde, T parametre kümesine ait n tane $t \in T$ olsun. $n \in \mathbb{N}$ ve $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ olacak şekilde X_{t_n} 'in koşullu olasılık dağılımı $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_{n-1}}$ değerlerinden yalnızca $X_{t_{n-1}}$ 'in değerine bağlı ise, $X = (X_t; t \in T)$ stokastik sürecine "Markov süreci" denilmekte ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Alp ve Öz, 2009: 40).

$$P(X_{t_n} = x_n | X_{t_{n-1}} = x_{n-1}, \dots, X_{t_1} = x_1) = P(X_{t_n} = x_n | X_{t_{n-1}} = x_{n-1}) \quad (2.1)$$

Markov süreci, stokastik süreçlerde olduğu gibi parametre ve durum uzaylarına göre sınıflandırılmaktadır. Durum uzayı kesikli olan Markov süreçleri Markov zinciri olarak belirtilmektedir. Parametre uzayı kesikli olan Markov zinciri kesikli zamanlı Markov zinciri, parametre uzayı sürekli olan Markov zinciri ise sürekli zamanlı Markov zinciri olarak ifade edilmektedir.

Tablo 2.2 Markov Süreçlerinin Sınıflandırılması

		Durum Uzayı	
		Kesikli	Sürekli
Parametre Uzayı	Kesikli	Kesikli zamanlı (discrete time) Markov zinciri	Kesikli zamanlı Markov süreci
	Sürekli	Sürekli zamanlı (continuous time) Markov zinciri	Sürekli zamanlı Markov süreci

Kaynak: Ibe, 2013

Markov süreçleri genel olarak iki farklı şekilde ele alınmaktadır. Bu durumlardan birincisinde $X = (X_n; n \geq 0)$, aynı olasılık uzayında tanımlı olan rassal değişkenler topluluğu olarak kabul edilmektedir. Alternatif olarak ise $X, X(n) \equiv X_n$ ve \mathbb{N} uzayından S durum uzayına tanımlı bir fonksiyon tarafından değer alan rassal değişken olarak değerlendirilmektedir.

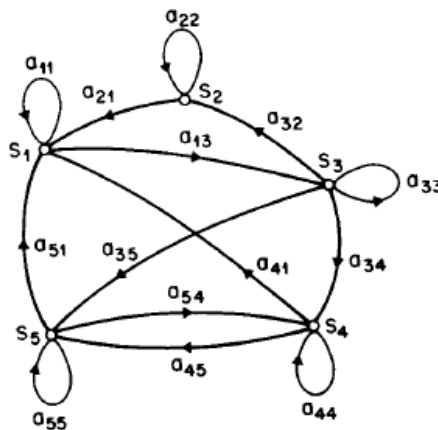
2.3 Markov Zincirleri

Markov analizi, 20. yüzyılın başlarında Rus matematikçi Andrey Markov'un, Brown hareketi (Brownian movement) olarak bilinen kapalı bir kutu içerisindeki gaz moleküllerinin rastlantısal hareketlerini matematiksel olarak modellemesine dayanmaktadır. Markov sürecinin matematiksel yapısı doğru olarak ilk kez 1923 yılında Amerikan matematikçi Norbert Wiener tarafından oluşturulmuştur. Markov süreçlerinin genel teorisi ise 1940'lı yıllarda A. N. Kolmogorov (1948) ve W. Feller (1949) tarafından geliştirilmiştir (Öztürk, 2012: 731).

Markov zincirleri, stokastik Markov süreçlerinin özel bir türü olarak ifade edilmektedir. Markov zinciri stokastik süreci, N sayıda farklı durumun kümesini içeren sonlu durum makinesi şeklinde modellenen bir süreçtir. Bu süreçte belli geçiş olasılıklarına bağlı olarak bir durumdan başka bir duruma geçilmekte ya da aynı durumda kalınmaktadır.

Markov zinciri, geçmişteki olaylardan bağımsız olarak, sadece şu anki duruma bağlı olan sürecin, gelecekte nasıl gelişeceğini içeren olasılıkları bulundurmaktadır. Markov zinciri gibi Markov sürecini simgeleyen modellerde, sistemin içinde bulunduğu durumların ve bu durumlar arasındaki geçiş olasılıklarının bilinmesi gerekmektedir. Geçmişteki ve şimdiki faaliyetlerin olasılıklarından yararlanarak onların gelecekteki olasılıklarını belirlemek Markov zincirinin temelini oluşturmaktadır (Öztürk, 2012: 731).

n adet sonlu durumdan oluşan $S = S_1, S_2, \dots, S_n$ şeklinde bir kümenin verildiği bir sistem ele alalım. Kolaylık olması bakımından $n = 5$ kabul edelim. Sistemde zamanın farklı anlarında, durumlara ait geçiş olasılıklarına bağlı olarak durum değişiklikleri meydana gelecektir. Şekil 2.1'de, 5 durumlu bir Markov zinciri örneği görülmektedir.



Şekil 2.1 Beş Durumlu Markov Zinciri Örneği (Rabiner, 1989)

t anında sistemin bulunduğu durum q_t ve geçiş olasılıkları a_{ij} olan Markov zinciri şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$P(q_{t+1} = S_j | q_t = S_i, q_{t-1} = S_{i-1}, \dots, q_1 = S_1) \quad (2.2)$$

$$a_{ij} = P(q_{t+1} = S_j | q_t = S_i) \quad (2.3)$$

Bu tanımlamaya göre, sistem t anında S_i durumunda iken p_{ij} geçiş olasılığı ile $t + 1$ anında S_j durumuna geçmektedir.

Markov süreci, aşağıdaki koşulları sağladığında sonlu durum birinci dereceli Markov zinciri olmaktadır (Öztürk, 2012: 732).

- i. Olası durumlar kümesi S , sonludur.
- ii. Markoviyen varsayımına (Markov özelliğine) sahiptir ve bir önceki durum verildiğinde şu anki durum, daha önceki durumlardan bağımsızdır. Diğer bir ifade ile şu anki durum ya da gelecekteki durum sadece kendilerinden bir önceki duruma bağlıdır.
- iii. Durum geçiş olasılıkları a_{ij} , zamandan bağımsız olup zaman içinde değişmemektedir. Bu durumda durağanlık söz konusu olmaktadır ve durağan geçiş olasılıkları elde edilir. Ayrıca bu şekildeki Markov zincirine, durağan Markov zinciri denilmektedir.
- iv. Markov zincirinin daha iyi açıklanabilmesi için başlangıç durum olasılıklarının $P(q_0 = S_i) = \pi_i$ bilinmesi gerekmektedir. Başlangıç durum olasılıklarının toplamı 1'e eşittir ve başlangıç durum olasılık vektörü aşağıdaki gösterilmektedir.

$$\sum_{i=1}^N \pi_i = 1; \quad \mathbf{\Pi} = [\pi_i] \quad (2.4)$$

2.3.1 Geçiş Olasılığı Matrisi

S_i durumundan S_j durumuna geçiş olasılığı a_{ij} olarak ifade edilmekte ve bu olasılığın zamana bağlı olmadığı kabul edilmektedir. Dolayısıyla sistemdeki durumlar hangi sırayla gerçekleşirse gerçekleşsin i durumundan j durumuna geçiş olasılığının sabit kaldığı varsayılmaktadır. Geçiş matrisinin elemanları, matrisin N sayıda duruma sahip olduğu düşünüldüğünde aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Rabiner, 1989: 258).

$$0 \leq a_{ij} \leq 1; \quad \forall i, j \in S \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1; \quad \forall i \in S \quad (2.6)$$

(2.3) ifadesindeki koşullu olasılık Markov zincirinin tek adım geçiş olasılıkları olarak adlandırılmaktadır. (2.5) ve (2.6) ifadelerine göre Markov geçiş olasılığı matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

- i. Geçiş olasılıkları matrisi $\mathbf{A} = [a_{ij}]$, $N \times N$ boyutunda olup kare matris özelliği taşımaktadır.
- ii. Matrisde yer alan hiçbir olasılık değeri negatif olamayacağı gibi 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. (2.5) ifadesi bu özelliği açıklamaktadır.
- iii. Matrisin her satırındaki elemanların toplamı 1'e eşittir. Yani sistem, i durumunda iken yüzde yüz olasılıkla herhangi bir duruma geçiş yapmak durumundadır. Bu özellik, (2.6) ifadesi ile gösterilmektedir.

$$\mathbf{A}_{N \times N} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Markov zinciri modeli (λ), başlangıç olasılık vektörü ($\mathbf{\Pi}$) ve geçiş olasılığı matrisi (\mathbf{A}) tarafından oluşturulmaktadır (Cohen, 1998: 1145).

$$\lambda = \{\mathbf{\Pi}, \mathbf{A}\} \quad (2.8)$$

$X = (X_n; n \geq 0)$ stokastik süreç ve $S = \{1, 2, \dots\}$ olacak şekilde sayılabilir bir küme olsun. O halde X , başlangıç durum dağılımları π_i ve geçiş matrisi $\mathbf{A} = [a_{ij}]$ 'nin aşağıdaki (2.9) ve (2.10) koşullarını sağlaması durumunda, zamandan bağımsız (homojen) kesikli parametrelili Markov zinciri olarak adlandırılmaktadır (Öz, 2009(b): 17).

$$P(q_0 = S_i) = \pi_i; \quad \forall i \in S \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} & P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_0 = x_0, X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) \\ &= P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n) \\ &= a_{x_n x_{n+1}}; \quad \forall n \geq 0 \text{ ve } \forall x_0, x_1, \dots, x_n, x_{n+1} \in S \end{aligned} \quad (2.10)$$

Herhangi bir Markov zincirinin, $S = \{1,2\}$ şeklinde iki durumu olduğunda A geçiş matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A = \begin{bmatrix} 1-p & p \\ q & 1-q \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Yukarıda belirtilen iki durumlu matriste $p, q \in [0,1]$ 'dir. Burada sistem durum 1'de iken p olasılıkla durum 2'ye geçmekte ve benzer şekilde sistem durum 2'de iken q olasılıkla durum 1'e geçmektedir. $p = q = 1$ olduğunda, zincirin kararlı bir biçimde ve sonsuz bir döngü içerisinde $O = \{1,2,1,2, \dots, 1,2, \dots\}$ gözlem dizisi meydana getirerek, durum 1'den 2'ye ve tekrar durum 1'e geçtiğine dikkat edilmelidir.

2.3.2 Markov Zincirinde Durumların Sınıflandırılması

Markov zincirinde durumlar arasındaki geçişlerin yapısı, karar vericiye bazı bilgiler vermektedir. Dolayısıyla durumlar arasındaki geçişlerin yapısı ortaya konularak aralarındaki farklar belirtilmelidir.

- i. Geçici (Transient) Durum: Durum i 'den durum j 'ye sonlu sayıdaki n adımda geçiş olduğu halde, durum j 'den durum i 'ye geçiş yoksa o zaman durum i , geçici durum olarak adlandırılmaktadır. Eğer $i \neq j$ olmak üzere, sonlu sayıda geçişten sonra i 'den j 'ye ve j 'den de i 'ye geçiş varsa, bu durumlar birbirleri ile iletişim halindedirler. Markov zincirinde bu şekildeki durumların oluşturduğu küme indirgenemez. Benzer şekilde eğer tüm durumlar birbirine açılımlı ise veya bütün durumların birbirinden haberi varsa, Markov zinciri küçültülemez. Bu özellikteki Markov zincirinin indirgenemediği söylenmektedir (Öztürk, 2012: 734-735).
- ii. Kapalı Küme ve Yutucu (Absorbing) Durum: S , Markov zincirindeki tüm durumların kümesi ve $S_1, S_2 \subset S$ olsun. Eğer S_1 'de başlayıp S_2 'de sona eren ve S_2 'de sonsuza kadar kalan veya S_2 'de başlayıp S_1 'de sona eren ve S_1 'de sonsuza kadar kalan bir durum döngüsü varsa, o zaman sistemin kapalı olduğu ifade edilir. Eğer bir adımda geçiş olasılığı $a_{ii} = 1$ olursa, o halde i durumuna yutucu durum denir ve yutucu duruma girildiğinde, bu durum asla terkedilemez (Öztürk, 2012: 736). İndirgenemeyen Markov zincirinin bütün durumları, kapalı alt kümeleri olmayan kapalı bir kümeden meydana gelmelidir (Taha, 2000: 729).
- iii. Yinelenen (Recurrent) Durum: Eğer i durumundan j durumuna ve j durumundan da i durumuna geçiş söz konusu ise i ve j durumları yinelenen durumlardır.

$i = j$ olması durumunda, i durumu yutucu durum olur ve yutucu durumlar aynı zamanda yinelenen durum olmaktadır. Başka bir ifade ile geçici olmayan durumlar, yinelenen durumlar olarak da ifade edilmektedir (Öztürk, 2012: 736).

Durum i 'den tekrar durum i 'ye $\forall i \in S$ için ve $k > 1$ olmak üzere, k dönemde ulaşılabilirse o zaman Markov zinciri, k -dönemli dönemsel Markov zinciri olarak adlandırılmaktadır. Bir Markov zincirinin ergodik olabilmesi için, tüm durumların yinelenen olması ve zincirin dönemsel olmaması gerekmektedir (Öztürk, 2012: 737).

2.3.3 Çok Adımlı Geçiş Olasılıkları

Geçiş olasılıkları matrisi ve başlangıç durum vektörü verilen bir Markov zincirinde, n adım sonra meydana gelen gözleme ait durum olasılığının bulunması, Markov zinciri modelinde önemli bir yer almaktadır. $n \geq 1$ olmak üzere, n -adımlı geçiş olasılığı fonksiyonu genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Öz, 2009(b): 18).

$$a_{ij}^{(n)} = P(X_{t+n} = j | X_t = i) \quad (2.12)$$

Bu geçiş olasılığı, t anında i durumunda olan sürecin, n adım sonra j durumunda olma olasılığını vermektedir. Chapman-Kolmogorov olarak bilinen denklemler sayesinde, n adımlı geçiş olasılıkları hesaplanabilmektedir.

Şimdi, daha önce kullanılan notasyon gösterimlerinden farklı olarak, daha ayrıntılı bir biçimde Chapman-Kolmogorov denklemlerini ifade edelim. Şöyle ki, bir Markov zincirinde geçiş olasılıkları P ve başlangıç durum olasılıkları vektörünün ise $a_j^{(0)}$ şeklinde verildiğini kabul edelim. O halde $a_j^{(n)}$, n geçiş sonra sistemin t_n anındaki kesin olasılığını verecektir. Dolayısıyla sürecin sırasıyla 1,2 ve n adımlı geçiş olasılıkları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Taha, 2000: 727).

$$\mathbf{a}_j^{(0)}_{1 \times N} = [a_1^{(0)} \quad a_2^{(0)} \quad \dots \quad a_n^{(0)}] \quad (2.13)$$

$$\mathbf{P}_{N \times N} = \begin{bmatrix} j=1 & j=2 & \dots & j=n \\ p_{1j} & p_{2j} & \dots & p_{1j} \\ p_{2j} & p_{2j} & \dots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{nj} & p_{nj} & \dots & p_{nj} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\mathbf{a}_j^{(1)} = [a_1^{(0)} \quad a_2^{(0)} \quad \dots \quad a_n^{(0)}] \times \begin{bmatrix} j=1 & j=2 & \dots & j=n \\ p_{1j} & p_{1j} & \dots & p_{1j} \\ p_{2j} & p_{2j} & \dots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{nj} & p_{nj} & \dots & p_{nj} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\mathbf{a}_j^{(1)}_{1 \times N} = [a_1^{(1)} \quad a_2^{(1)} \quad \dots \quad a_n^{(1)}] \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} a_{j=1}^{(1)} &= a_1^{(0)}p_{11} + a_2^{(0)}p_{21} + \dots + a_n^{(0)}p_{n1} \\ &= \sum_{i=1}^n a_i^{(0)}p_{i1} \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} a_{j=2}^{(1)} &= a_1^{(0)}p_{12} + a_2^{(0)}p_{22} + \dots + a_n^{(0)}p_{n2} \\ &= \sum_{i=1}^n a_i^{(0)}p_{i2} \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} a_{j=n}^{(1)} &= a_1^{(0)}p_{1n} + a_2^{(0)}p_{2n} + \dots + a_n^{(0)}p_{nn} \\ &= \sum_{i=1}^n a_i^{(0)}p_{in} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Genel olarak ifade edildiğinde ise bir adımlı ya da birinci dereceden geçiş olasılığı şu şekilde gösterilmektedir (Taha, 2000: 727).

$$\begin{aligned} a_j^{(1)} &= a_1^{(0)}p_{1j} + a_2^{(0)}p_{2j} + \dots + a_n^{(0)}p_{nj} \\ &= \sum_{i=1}^n a_i^{(0)}p_{ij} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\mathbf{a}_j^{(1)}_{1 \times N} = [a_1^{(1)} \quad a_2^{(1)} \quad \dots \quad a_n^{(1)}] \quad (2.21)$$

(2.21) ile ifade edilen bir adımlı geçiş olasılığı vektörünün, zamandan bağımsız olan ve değişmeyen P homojen geçiş matrisi ile çarpımı sonucunda iki adımlı geçiş vektörü elde edilir. Sistemin k durumundan j durumuna iki tam geçişle girmesinin olasılığı, iki adımlı ya da ikinci dereceden geçiş olasılığı olarak adlandırılmakta ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir. Bu vektör (2.23) şeklinde gösterilmektedir.

$$\mathbf{a}_j^{(2)} = [a_1^{(1)} \quad a_2^{(1)} \quad \dots \quad a_n^{(1)}] \times \begin{bmatrix} j=1 & j=2 & \dots & j=n \\ p_{1j} & p_{1j} & \dots & p_{1j} \\ p_{2j} & p_{2j} & \dots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{nj} & p_{nj} & \dots & p_{nj} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\mathbf{a}_j^{(2)}_{1 \times N} = [a_1^{(2)} \quad a_2^{(2)} \quad \dots \quad a_n^{(2)}] \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} a_1^{(2)} &= [a_1^{(0)} p_{11} p_{11} + a_2^{(0)} p_{21} p_{11} + \dots + a_n^{(0)} p_{n1} p_{11}] + \\ &= [a_1^{(0)} p_{12} p_{21} + a_2^{(0)} p_{22} p_{21} + \dots + a_n^{(0)} p_{n2} p_{21}] + \\ &= \vdots \\ &= [a_1^{(0)} p_{1n} p_{n1} + a_2^{(0)} p_{2n} p_{n1} + \dots + a_n^{(0)} p_{nn} p_{n1}] \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned} a_2^{(2)} &= [a_1^{(0)} p_{11} p_{12} + a_2^{(0)} p_{21} p_{12} + \dots + a_n^{(0)} p_{n1} p_{12}] + \\ &= [a_1^{(0)} p_{12} p_{22} + a_2^{(0)} p_{22} p_{22} + \dots + a_n^{(0)} p_{n2} p_{22}] + \\ &= \vdots \\ &= [a_1^{(0)} p_{1n} p_{n2} + a_2^{(0)} p_{2n} p_{n2} + \dots + a_n^{(0)} p_{nn} p_{n2}] \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} a_n^{(2)} &= [a_1^{(0)} p_{11} p_{1n} + a_2^{(0)} p_{21} p_{1n} + \dots + a_n^{(0)} p_{n1} p_{1n}] + \\ &= [a_1^{(0)} p_{12} p_{2n} + a_2^{(0)} p_{22} p_{2n} + \dots + a_n^{(0)} p_{n2} p_{2n}] + \\ &= \vdots \\ &= [a_1^{(0)} p_{1n} p_{nn} + a_2^{(0)} p_{2n} p_{nn} + \dots + a_n^{(0)} p_{nn} p_{nn}] \end{aligned} \quad (2.26)$$

İkinci dereceden geçiş olasılığı genel bir formülle ifade edildiğinde şu şekilde gösterilmektedir (Taha, 2000: 727).

$$a_j^{(2)} = \sum_{i=1}^n a_i^{(1)} p_{ij} \quad (2.27)$$

$$= \sum_{i=1}^n (\sum_{k=1}^n a_k^{(0)} p_{ki}) p_{ij} \quad (2.28)$$

$$= \sum_{k=1}^n a_k^{(0)} (\sum_{i=1}^n p_{ki} p_{ij}) \quad (2.29)$$

$$= \sum_{k=1}^n a_k^{(0)} p_{kj}^{(2)} \quad (2.30)$$

İki adımlı geçiş olasılığını hesaplamak için, (2.28) ifadesinde iç içe döngüler kullanılmıştır. Her bir döngüde 1'den n 'ye kadar hesaplama yapılmaktadır. En içte k döngüsü bulunmakta ve ilk önce $a_k^{(0)}$ durumlarını taramaktadır. Aynı zamanda $t = 0$ 'daki durumu göstermektedir. k döngüsünün üzerinde i döngüsü bulunmakta ve tek adımlı $a_i^{(1)}$ durumlarını bir önceki durumla, birikmeli olarak taramaktadır. Bu döngüde $t = 1$ anındaki olasılıklar

hesaplanmaktadır. Son olarak ise en dışta j döngüsü bulunmakta ve $a_j^{(2)}$ durumlarını sırayla taramaktadır. Bu işlem, bir önceki adıma benzer şekilde olarak birikimli şekilde ilerlemektedir. Aynı zamanda j ile birikimli olarak hesaplanan olasılıklar, ikinci durum olasılık vektörünün sütunlarını oluşturmaktadır.

(2.29) ve (2.30) ifadesinden şu şekilde bir sonuç çıkarmak mümkündür. Bu olasılık, sistemin genel olarak $t = n$ anında k durumundan $t = n + 2$ anında j durumuna iki adımda geçiş olasılığını göstermektedir (Taha, 2000: 727).

$$p_{kj}^{(2)} = \sum_{i=1}^n p_{ki} p_{ij} \quad (2.31)$$

Yukarıda açıklanan birinci ve ikinci dereceden geçiş olasılıkları formülleri ile, n adımlı veya n . dereceden geçiş olasılıkları denklemleri şu şekillerde ifade edilebilmektedir. Ancak bu denklemlerde durum sayısı olan n ile adım sayısı olan n , birbirine karıştırılmaması gerekmektedir (Taha, 2000: 727).

$$\begin{aligned} a_j^{(n)} &= \sum_{i=1}^n a_i^{(0)} \left(\sum_{k=1}^n p_{ik}^{(n-1)} p_{kj} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n a_i^{(0)} p_{ij}^{(n)} \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^n p_{ik}^{(n-1)} p_{kj} \quad (2.33)$$

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^n p_{ik}^{(n-m)} p_{kj}^{(m)}; \quad 0 < m < n \quad (2.34)$$

Dikkat edildiğinde, $p_{ij}^{(2)}$ 'nin, P^2 matrisinin elemanları olduğu görülmektedir. Bu adımlar aynı zamanda tek adımlı geçiş olasılıkları matrisinin kendisiyle olan çarpımından da elde edilmektedir (Öztürk, 2012: 739).

$$\mathbf{P}^{(2)} = \mathbf{P}^2 = \mathbf{P} \cdot \mathbf{P} \quad (2.35)$$

$P^{(n)}$, çok adımlı geçiş olasılıkları matrisini temsil etmek üzere, n adımlı geçiş olasılıkları matrisi genel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Öztürk, 2012: 739).

$$\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{P} \dots \mathbf{P} = \mathbf{P}^n = \mathbf{P}^{n-1} \cdot \mathbf{P} \quad (2.36)$$

Dolayısıyla, olasılıklar vektör olarak tanımlandıklarında, $\mathbf{a}^{(n)}$ vektörü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Taha, 2000: 728).

$$\mathbf{a}^{(n)} = [a_1^{(n)} \quad a_2^{(n)} \quad \dots \quad a_n^{(n)}] \quad (2.37)$$

$\lambda = (\mathbf{a}^{(0)}, \mathbf{P})$ şeklinde verilen Markov zincirinde çok adımlı geçiş olasılıkları iki farklı şekilde hesaplanabilmektedir.

$$\mathbf{a}^{(n)} = \mathbf{a}^{(n-1)}\mathbf{P} \quad (2.38)$$

$$\mathbf{a}^{(n)} = \mathbf{a}^{(0)}\mathbf{P}^n \quad (2.39)$$

(2.38) ile gösterilen şekilde olasılıklar hesaplandığında, işlemler belirli bir iterasyon ile gerçekleştirilecek ve her adımda $1 \times N$ 'lik vektörler elde edileceğinden hata yapma olasılığı daha düşük olacaktır. Sonuç olarak, başlangıç durumları verilen zincirde n adım sonra veya n . adımda durumların gerçekleşme olasılıkları elde edilmiş olacaktır.

(2.39) şeklinde verilen denklemde ise, n . adıma kadar veya \mathbf{P} geçiş matrisinin n . kuvvetine kadar, her defasında geçiş matrisi üzerinden işlemler gerçekleştirileceği için hata yapma oranı da daha fazla olacaktır. Sonuç olarak her iki ifade de aynı olasılık değerlerini verecektir.

2.3.4 Denge Durumu Analizi

Markov zincirinde, sonlu sayıdaki n adım sonraki durum olasılıklarının ne olacağı çok adımlı geçiş olasılıkları ile elde edilmektedir. Ancak n , sonsuza yaklaştıkça süreç denge durumuna veya durağan durum haline ulaştığında, uzun dönem sonraki durum olasılıklarının da ne olacağı merak edilmektedir. n adım sayısı, sonsuza yaklaştıkça oluşan denge dağılım vektörü, Q_n ile gösterilmekte ve aşağıda gösterilen eşitlikler elde edilmektedir (Öztürk, 2012: 741-742).

$$\mathbf{Q}_n = \mathbf{Q}_n\mathbf{P} \quad (2.40)$$

$$\mathbf{Q}_n = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_n] \quad (2.41)$$

$$q_j = \sum_{i=1}^n q_i p_{ij}; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.42)$$

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = 1 \quad (2.43)$$

Denge durumu analizi yapılırken, (2.42) ve (2.43) ile belirtilen denklemler yardımıyla Markov zincirindeki durumların durağan hale geldikten sonraki gözlemlenme olasılıkları tahmin edilmektedir.

2.4 Gizli Markov Modelleri

Markov modellerinde her bir durum, gözlemlenebilir bir olaya karşılık gelmektedir. Ancak bu modeller, ilgili birçok probleme uygulanabilir olmaması bakımından oldukça sınırlıdır. Bu bölümde Markov modelleri düşüncesi genişletilerek, gözlemlerin durum olasılık fonksiyonuna dahil edildiği durumlar da incelenecektir.

Gizli Markov modelleri ilk olarak 1940'lı yıllarda çalışılmaya başlanmış fakat uygulama alanında yaygınlaşmamıştır. Daha sonra 1970'li yıllarda gizli Markov (GM) modeli teorisi ilk olarak Baum ve Petrie (1966), Baum ve Eagon (1967), Petrie (1969) ve Baum (1972) tarafından geliştirilmiştir. Son 20 yılda ise bilgisayar sistemlerinin önemli düzeyde gelişmesi sonucunda konuşma tanıma, karakter tanıma, ekonomi ve biyoloji gibi uygulama alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Öz, 2009(b): 35).

Gizli Markov modelleri (GMM), gözlemler dizisi üzerindeki olasılık dağılımlarını gösteren bir yöntemdir. Bu modellerde, gözlemlerin elde edildiği durumlar gözlenemediğinden “gizli” olarak ifade edilmektedir. Gizli Markov modellerinin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki örnekler kullanılacaktır.

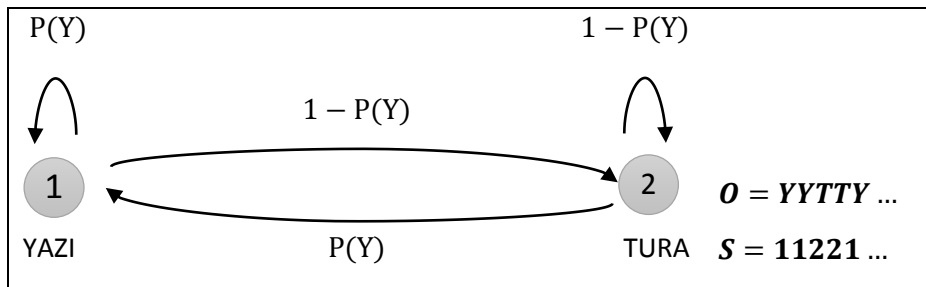
İlk olarak yazı tura modellerini ele alalım. İki kişinin bulunduğu bir odada, perde ile bu iki kişinin birbirini göremeyecek şekilde bulunduğunu düşünelim. Perdenin bir tarafında, bir ya da birden fazla madeni para ile yazı tura atma deneyi yapan bir birey olsun. Bu birey, ne yaptığı konusunda herhangi bir bilgi vermeyerek, perdenin diğer tarafında bulunan kişiye sadece havaya atılan madeni paranın sonucunu söylesin. Böyle bir durumda gözlemcinin elinde sadece yazı ve turadan oluşan bir gözlem dizisi bulunacaktır.

Verilen bu senaryodaki problem, yazılardan ve turalardan oluşan gözlemlenen diziyi açıklamak için gizli Markov modelinin nasıl oluşturulacağıdır. Aslında burada iki tane problem bulunmaktadır. Birincisi, modeldeki gözlemlere karşılık gelen durum dizisinin ne olacağına karar vermek ve ikincisi, modelde kaç durum olduğunu belirlemektir (Rabiner, 1989: 259).

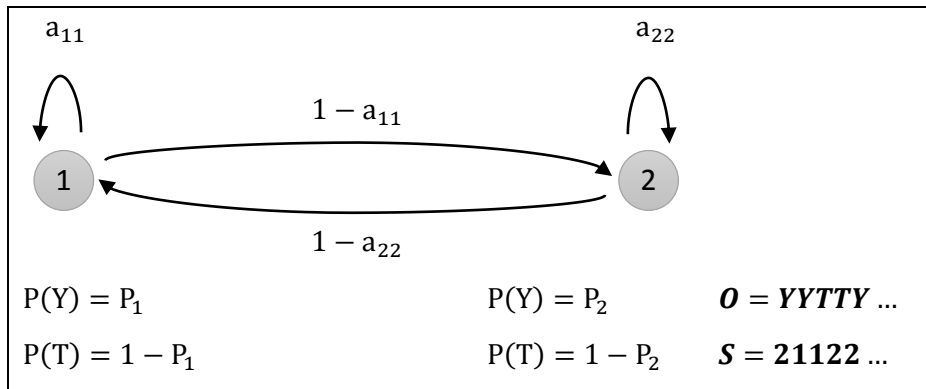
Olası durumlardan bir tanesi, yazı tura atma deneyinin tek taraflı bir madeni para ile gerçekleştirilmesidir. Böyle bir durumda, madeni paranın iki yüzüne karşılık gelen ve yazı ile turadan oluşan iki durumlu bir model oluşturulmaktadır. Bu durumda Markov modeli gözlemlenebilir bir yapıya sahiptir.

Havaya madeni para atma olayında gözlemlenen diziyi açıklayan ikinci gizli Markov modelinde, iki tane madeni para bulunmakta ve her bir durum havaya atılan farklı madeni

paralara karşılık gelmektedir. Her bir durum, yazı ve turalardan oluşan olasılık dağılımları ile ifade edilirken, durumlar arasındaki geçişler ise geçiş matrisi ile gösterilmektedir.

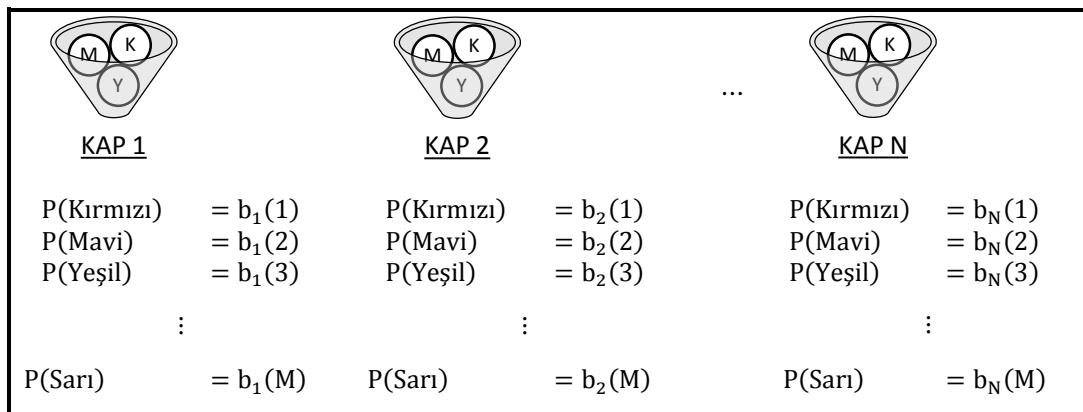


Şekil 2.2 Bir Madeni Paralı Model (Rabiner, 1989)



Şekil 2.3 İki Madeni Paralı Model (Rabiner, 1989)

İkinci örnek model olarak kap ve top modelini ele alalım. Bu modelde, bir odada N farklı kap ve her kabın içerisinde M adet farklı renkte toplar olduğu varsayılmaktadır. Kaplardan bir tanesi belirli olasılık dağılımlarına bağlı olarak seçilmektedir. Bir kişi herhangi bir kaptan rastgele bir top seçerek sesli olarak ifade etmekte ve topun rengi başka bir kişi tarafından gözlem olarak kaydedilmektedir. Top, seçilen kaba geri konularak benzer işlemler diğer kaplar için de gerçekleştirilmektedir. Gizli Markov modelinin genel durumunu açıklayan N durumlu kap ve top modeli aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

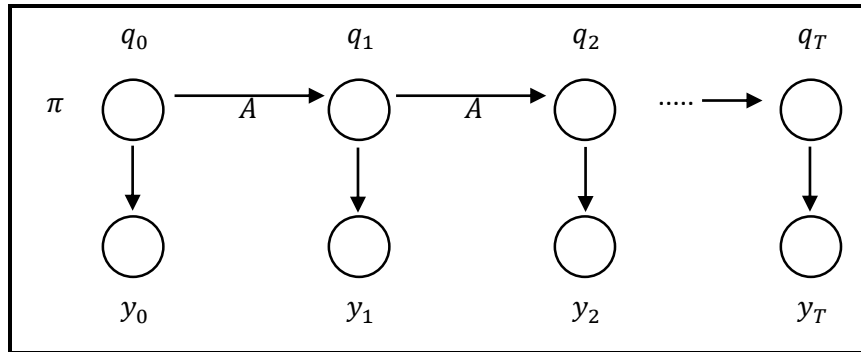


Şekil 2.4 Kap ve Top Modeli (Rabiner, 1989)

Sürecin tamamında, $O = \{Yeşil, Yeşil, Mavi, Kırmızı, \dots, Mavi\}$ şeklinde, renklerin sonlu bir gözlem dizisi meydana gelecektir. Kap ve top modeline karşılık gelen en basit gizli Markov modeli, her durumun özel bir kaba karşılık geldiği ve her bir durum için bir top rengi olasılığının tanımlanacağı model olmaktadır. Kapların seçimi, gizli Markov modelinin durum geçiş matrisi tarafından belirlenmektedir.

Markov modeli ile gizli Markov modeli arasındaki temel farkı ortaya koyan bu örnekte, her bir gözleme ait modelin durumları bilindiğinde kesikli parametrelili Markov zinciri elde edilirken, meydana gelen gözlemler dizisini oluşturan durumlar bilinmediğinde ise gizli Markov modeli elde edilmektedir. İlkinde her bir renkli top seçildiğinde bu topun hangi kaptan seçildiği biliniyorken, ikincisinde hangi kaptan seçildiği gözlemci tarafından bilinmemektedir. Dolayısıyla gerçek hayatta da gizli Markov modellerinin, Markov modellerine göre kullanım alanı daha geniş olmaktadır.

Markov zincirlerinde gizli durumlar bulunmamaktadır. Durumlar arasındaki geçişler ve sistemin tüm hareketleri, geçiş olasılıkları matrisinde tutulmaktadır. Gizli Markov modelleri daha gelişmiş olup, gözlem değerlerini temsil eden ikinci bir olasılık dağılımı katmanını içermektedir. GMM'nde iki seviyeli yapı bulunmaktadır. Bu seviyelerin birincisinde gizli durumlar, diğerinde modelin çıktıları olan gözlemlenen değerler tutulmaktadır (Bayramlı, 2008: 16).



Şekil 2.5 Farklı Dağılımlara Sahip Gizli ve Gözlenen Durumlar (Bayramlı, 2008: 17)

Yukarıda belirtilen Şekil 2.5'e göre q_1, q_2, \dots, q_T , gözlem dizisine karşılık gelen gizli durum dizisini ifade etmektedir. y_1, y_2, \dots, y_T şeklindeki rasgele değişkenler ile ifade edilen değerler ise çıktı dizisini oluşturmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken iki önemli özellik yer almakta ve bu değerler arasında koşullu bağımlılık bulunmaktadır (Bayramlı, 2008: 17).

- i. y_t ve q_t ; $\forall t \in T$
- ii. q_t ve q_{t-1} ; $\forall t \in T$ (Markovyen Varsayımı)

GMM, yapısında iki tane stokastik süreç bulundurulur. Bunlardan bir tanesi, zaman ile ilgili değişikliklerde kullanılan ve durumların yer aldığı Markov zincirini üreten Markov

sürecidir. Diğer süreç, gözlemlenebilir olan özellik parametrelerini veya gözlemler olarak adlandırılan rastgele değişkenleri üretmektedir (Agun, 2008: 21).

GMM'nin ilgilendiği sorulardan bir tanesi, verilen gözlem dizisine karşılık gelen en yüksek olasılığa sahip durum dizisini tahmin etmektir. Basit bir örnek üzerinde açıklayacak olursak, Markov zincirinin S_1 ve S_2 'den oluşan ve başlangıç durum dağılımları değişmeyen iki durumu olsun. Bu durumlara ait geçiş olasılıkları matrisi ise şu şekilde tanımlansın (Ewens ve Grant, 2006: 410).

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0,9 & 0,1 \\ 0,8 & 0,2 \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

S_1 ve S_2 durumları, 1 ve 2 rakamlarından oluşan bir alfabe üretmektedirler. S_1 , eşit olasılıklarla 1 ve 2 rakamlarını üretirken S_2 , $\frac{1}{4}$ olasılıkla 1, $\frac{3}{4}$ olasılıkla da 2 rakamını üretmektedir. O gözlem dizisinin $O = \{2,2,2\}$ şeklinde olduğu varsayılmaktadır. Bu gözlem dizisini meydana getiren en yüksek olasılıklı durum dizisi $S = \{q_1, q_2, q_3\}$, 8 durum olasılığı dizisinden birisi olacaktır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, $S = \{S_2, S_1, S_1\}$ dizisinin en yüksek olasılığa sahip olduğu görülmektedir. Elle yapılabilen bu hesaplamada, modeldeki durum sayısının artmasıyla hızlı bilgisayarlarla bile çözümün imkansız boyutlara ulaşacağı anlaşılmaktadır. Dinamik programlama yaklaşımları ile çözülebilen gizli Markov modelinin üç temel problemine ve bu problemlerin çözüm algoritmalarına geçmeden önce, modeli oluşturan bazı önemli unsurların açıklanması gerekmektedir.

2.4.1 Gizli Markov Modelini Oluşturan Unsurlar

Gizli Markov modelleri (GMM) dinamik bir değişken üzerinde ilerleyerek bazı özellikleri açıklamak için kullanılmaktadır. GMM aşağıdaki beş temel bileşenden oluşmaktadır.

- i. Sonlu N sayıda gizli durum değişkenleri kümesi, $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$
- ii. M sayıda belirli gözlemler kümesi, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$
- iii. Durum geçiş olasılıkları matrisi, $\mathbf{A} = [a_{ij}]$
- iv. Gözlem olasılıkları matrisi, $\mathbf{B} = [b_j(k)]$
- v. Başlangıç durum olasılık vektörü, $\mathbf{\Pi} = [\pi_i]$

Modeldeki durumların sayısı N ile ifade edilmektedir. Durumlar gizli olmasına rağmen, birçok pratik uygulama için modeldeki durumların veya durumlar kümesinin bazı fiziksel anlamları bulunmaktadır. Model içerisindeki durumlar ergodik yapıda olup genellikle birbirleri ile iletişimidirler. Durumların kümesi kesiklidir ve $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ ile gösterilmektedir. Ayrıca t anındaki durum, q_t şeklinde ifade edilmektedir (Rabiner, 1989: 260).

Modelde, M sayıda gözlem bulunmaktadır ve aynı zamanda sistemin çıktıları olarak da ifade edilen gözlemler, bir gözlem dizisi meydana getirmektedir. Gözlemler, modeldeki N farklı durumdan farklı olasılık dağılımları ile elde edilmektedir. Gözlemler, kendinden bir önceki gözlemden bağımsız olarak meydana gelmekte, sadece bulunduğu duruma bağlı olmaktadır. Gözlem kümesi, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ şeklinde gösterilmektedir (Rabiner, 1989: 260).

Durum geçiş olasılık dağılımları, Markov modellerinde olduğu gibi matris şeklinde ifade edilmektedir. $N \times N$ boyutundaki bu matris, $\mathbf{A} = [a_{ij}]$ şeklinde tanımlanmaktadır. Matris elemanlarının genel tanımı ve sağlanması gereken şartlar (2.3), (2.5) ve (2.6) notasyonlarında gösterildiği gibidir. Gözlemler buldukları duruma bağlı iken, durum geçiş olasılıkları gözlemlerden bağımsızdır ve zaman içinde değişmezler.

$N \times N$ boyutunda olan gözlem olasılıkları matrisi, $\mathbf{B} = [b_j(k)]$ ile gösterilmektedir. Süreç t anında j durumunda iken v_k gözlemini üretmekte ve bu gözleme ait olasılık ise $b_j(k)$ ile ifade edilmektedir. $b_j(k)$, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Her bir gözlemin ortaya çıkma olasılığı sıfır veya sıfırdan büyük olmalıdır. Aynı zamanda her bir durumda iken meydana gelebilecek tüm gözlemlerin olasılıkları toplamı da 1 olmak zorundadır (Rabiner, 1989: 261).

$$b_j(k) = P(O_t = v_k | q_t = S_j); \quad 1 \leq j \leq N; \quad 1 \leq k \leq M \quad (2.45)$$

$$b_j(k) \geq 0; \quad 1 \leq j \leq N; \quad 1 \leq k \leq M \quad (2.46)$$

$$\sum_{k=1}^M b_j(k) = 1; \quad 1 \leq j \leq N \quad (2.47)$$

$\mathbf{\Pi}$ başlangıç durum olasılık vektörü, π_i başlangıç durum olasılıklarından oluşmaktadır. Sistemin $t = 1$ başlangıç anında S_i durumunda olma olasılığı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Rabiner, 1989: 261).

$$\pi_i = P(q_1 = S_i); \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.48)$$

Gizli Markov modelinin tam bir şekilde oluşturulabilmesi için N ve M model parametreleri, \mathbf{A} , \mathbf{B} matrisleri ve $\mathbf{\Pi}$ vektörünün belirlenmesi gerekmektedir. Gösterimde kolaylık olması bakımından GMM'nin parametreler kümesi aşağıdaki gibi gösterilmektedir. Bu şekildeki bir model, veriyi oluşturan durum dizisinin kesikli ve gizli olmasından dolayı kesikli GMM olarak adlandırılmaktadır (Öz, 2009(b): 40).

$$\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{\Pi}) \quad (2.49)$$

2.4.2 Gizli Markov Modelinin Üç Temel Problemi

GMM, uygun N , M , \mathbf{A} , \mathbf{B} , $\mathbf{\Pi}$ değerleri için öncelikle gözlem çıktıları oluşturacaktır. $O = O_1 O_2 \dots O_T$ şeklinde bir gözlem dizisinin üretilmesi için aşağıdaki 5 adımdan oluşan algorithmadan faydalanılmaktadır (Rabiner, 1989: 261).

1. Başlangıç olasılık dağılımları vektörü $\mathbf{\Pi}$ 'ye bağlı olarak, $q_1 = S_i$ olacak şekilde başlangıç durumunu belirle.
2. $t = 1$ atamasını yap.
3. S_i durumundaki gözlem olasılıkları dağılımına, yani $b_j(k)$ 'ya göre $O_t = v_k$ olacak şekilde gözlemi seç.
4. Durum geçiş olasılığı dağılımlarına (a_{ij}) göre $q_{t+1} = S_j$ olacak şekilde yeni bir duruma geçiş yap.
5. t 'yi bir artır $t = t + 1$; eğer $t < T$ ise Adım 3'e geri dön, aksi takdirde prosedürü sonlandır.

Gizli Markov modelinin uygulamalarda kullanılabilmesi için değerlendirme problemi, çözümleme problemi ve öğrenme problemi olarak adlandırılan üç temel problemin çözülmesi gerekmektedir. Bu problemler, gerçekleşmesi beklenen gözlem dizisinin (çıktıların) olasılığının ne olacağını, bu gözlemlere karşılık gelen en yüksek olasılıklı durum dizisinin belirlenmesini ve model parametrelerinin daha iyi sonuçlar verecek şekilde yeniden yapılandırılmasını araştırmaktadır.

2.4.2.1 Değerlendirme (Evaluation) Problemi

Gizli Markov modelinin birinci problemi olan değerlendirme problemi, olasılık hesaplama problemi olarak da ifade edilmektedir. Verilen $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{\Pi})$ parametrelerine ve $O = O_1 O_2 \dots O_T$ gözlem dizisine göre, modele ait $P(O|\lambda)$ gözlem dizisi olasılığını etkin bir şekilde hesaplamayı amaçlamaktadır (Li, 2005: 980).

N duruma sahip ve T sayıda gözlem oluşturan bir modelde, istenilen gözlem dizisi N^T sayıda farklı durum dizisinden meydana gelmektedir. Bu parametrelerin yüksek değerleri için elle hesap yapmak daha karmaşık ve zor hale gelmektedir. Dolayısıyla etkin, yani bilgisayar belleğinde alan karmaşıklığı ve zaman karmaşıklığı oluşturmayacak şekilde bir çözüm tekniğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için aynı sonucu veren ancak hesaplama yöntemleri farklı olan iki algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, İleri-Yön algoritması (forward algorithm) ve Geri-Yön algoritmasıdır (backward algorithm). Bu algoritmalar sayesinde gözlem dizisi olasılığı hesaplanmaktadır.

2.4.2.2 Çözümleme (Decoding) Problemi

GMM'nde üretilen gözlem dizisindeki her bir gözleme, bir durum karşılık gelmektedir. Ancak bu durumlar N^T farklı durum dizisi tarafından oluşturulmaktadır. Bu problemin amacı, verilen gözlem dizisini üreten en yüksek olasılıklı durum dizisini keşfetmektir (digital.cs.usu.edu).

Çözümleme problemi, verilen $O = O_1 O_2 \dots O_T$ gözlem dizisi ve λ modeli için, bu gözlemleri en iyi biçimde açıklayan $Q = q_1 q_2 \dots q_T$ gizli durum dizisini araştırmaktadır. Böylece bu problem sayesinde doğru durum dizisinin bulunması ile modelin gizli kısmı açığa çıkarılmaktadır (Öz, 2009(b): 44).

Çözümleme probleminin çözümü için Viterbi algoritması geliştirilmiştir. Gizli Markov modelinin hesaplanmasında, verilen problemler arasında en önemlisi olan bu problemin çözümü için geliştirilen Viterbi algoritması, gözlem dizisini meydana getiren N^T sayıdaki durum dizisi içerisinde en uygun olan diziyi araştırmaktadır.

2.4.2.3 Öğrenme (Learning) Problemi

GMM'nin üçüncü ve son problemi, verilen gözlem ardışıklıklarına göre optimal $P(O|\lambda)$ değerine ulaşmak ve süreci en iyi açıklayabilmek için, λ model parametrelerinin tahmin edilmesini sağlamaktır. Bu amaç için iki standart yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi danışmanlı, diğeri ise danışmansız eğitimidir. Model parametrelerinin yeniden belirlenmesi işlemi gerçekleştirildiğinden, eğitim problemi olarak da ifade edilmektedir (Rabiner, 1989: 264).

Danışmanlı eğitim örneklerinde, sistemin hem girdileri hem de çıktıları yer almaktadır. Bu şekildeki eğitimde girdiler gözlemlere, çıktılar ise durumlara karşılık gelmektedir. Eğer eğitim verileri olarak sadece girdiler yani gözlemler alınırsa, o zaman modelin tahmini için danışmansız eğitim kullanılmaktadır.

Öğrenme probleminin çözümü için, genellikle danışmanlı eğitim yaklaşımını kullanan ve iteratif bir prosedür olan Baum-Welch algoritması tasarlanmıştır. Bu algoritma sayesinde, verilen gözlem ardışıklıkları olasılığını maksimum yapacak GMM λ parametreleri tahmin edilmektedir.

2.4.3 Gizli Markov Modelinin Üç Temel Problemi İçin Geliştirilen Algoritmalar

GMM'nin birinci problemi verilen bir gözlem ardışıklığının olasılığını, ikinci problemi gözlem dizisine karşılık gelen ve modeli en iyi şekilde açıklayacak olan durum dizisinin bulunmasını ve üçüncü problem de verilen gözlem ve durum ardışıklıklarına göre gözlem dizisi

olasılığını maksimize edecek model parametrelerinin yeniden düzenlenmesini araştırmaktadır (Ewens ve Grant, 2006: 411).

GMM'nin üç temel problemi için üç farklı algoritma geliştirilmiştir. Her bir problem için tasarlanan algoritmaların değişken tanımlamaları ve çalışma prosedürleri aşağıdaki gibi incelenmiştir.

2.4.3.1 Değerlendirme Probleminin Çözümü

Değerlendirme probleminin çözümü için iki algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmaların ortak özelliği, verilen $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{\Pi})$ model parametreleri ve $O = O_1 O_2 \dots O_T$ gözlem dizisi için, gözlem ardışıklığının olasılığı olan $P(O|\lambda)$ değerini hesaplamaktır.

$$P(O|\lambda) = \sum_{Q=1}^T P(O|Q, \lambda) P(Q|\lambda) \quad (2.50)$$

$Q = q_1 q_2 \dots q_T$ durum dizisi olacak şekilde, O gözlem dizisinin olasılığı O ve Q 'nun birleşik olasılığı olarak ifade edilmektedir. (2.50)'deki ifadeye göre gözlem dizisi olasılığı hesaplanırken, her bir duruma bağlı olarak farklı olasılık değerleri alabilen sistem çıktıları, model parametrelerine ve durumlara bağlı olmaktadır (Rabiner, 1989: 262).

$$\begin{aligned} P(O|Q, \lambda) &= \prod_{t=1}^T P(O_t|q_t, \lambda) \\ &= b_{q_1}(O_1) b_{q_2}(O_2) \dots b_{q_T}(O_T) \end{aligned} \quad (2.51)$$

$P(O|\lambda)$ olasılık değeri, aynı zamanda başlangıç durum ve durum değiş olasılıklarını içinde bulunduran λ 'ya bağlı olarak farklı olasılık değerleri alabilen $P(Q|\lambda)$ ifadesine de bağlı olmaktadır (Rabiner, 1989: 262).

$$P(Q|\lambda) = \pi_{q_1} a_{q_1 q_2} a_{q_2 q_3} \dots a_{q_{T-1} q_T} \quad (2.52)$$

Birinci problemin çözümünde kullanılan algoritmalar, genel olarak aşağıdaki sonuç denklemi üzerinde kendi değişkenlerini tanımlayarak sonuca ulaşmaktadır.

$$\begin{aligned} P(O|\lambda) &= \sum_{\forall Q} P(O|Q, \lambda) P(Q|\lambda) \\ &= \sum_{q_1 q_2 \dots q_T} \pi_{q_1} b_{q_1}(O_1) a_{q_1 q_2} b_{q_2}(O_2) a_{q_2 q_3} \dots b_{q_T}(O_T) a_{q_{T-1} q_T} \end{aligned} \quad (2.53)$$

(2.53) ile hesaplanan gözlem dizisi olasılığı şu şekilde açıklanmaktadır: Sistem $t = 1$ başlangıç anında π_{q_1} başlangıç durum olasılığı ile q_1 durumunda iken, $b_{q_1}(O_1)$ olasılığı ile O_1 gözlemini üretmektedir. Zaman, $t = t + 1$ ($t=2$) olacak şekilde ilerlerken q_1 durumundan q_2 durumuna $a_{q_1q_2}$ olasılığı ile geçiş yapılmakta ve q_2 durumunda iken de $b_{q_2}(O_2)$ olasılığı ile O_2 gözlemi üretilmektedir. Süreç benzer şekilde T anına kadar ilerlemekte ve $a_{q_{T-1}q_T}$ olasılığı ile q_{T-1} durumundan q_T durumuna geçtiğinde son olarak $b_{q_T}(O_T)$ olasılığı ile O_T gözlemini üretmektedir (Rabiner, 1989: 262).

N durumlu ve T sayıda gözleme sahip bir model ele alındığında bu değerlerin yüksek olması, işlem sayısının çok fazla olmasına sebep olacaktır. İşlem sayısı şu şekilde hesaplanmaktadır: Belirtilen N ve T değerlerine göre, N^T adet farklı durum dizisi meydana gelmektedir. Her bir dizide $P(O|Q, \lambda)P(Q|\lambda)$ işleminden $2T - 1$ adet çarpma işlemi olacağından, toplamda $N^T(2T - 1)$ adet çarpma işlemi olacaktır. Ayrıca, $N^T - 1$ sayıda toplama işlemi, çarpma işlemine ek olarak yer almaktadır. Sonuç olarak, çarpma ve toplama işlemlerinin çok fazla olması, (2.53)'te belirtilen denklemin hesaplanmasını oldukça zorlaştıracaktır. Bu nedenle iki farklı algoritma ile $P(O|\lambda)$ hesaplanmaktadır.

2.4.3.1.1 İleri-Yön Algoritması

İleri-Yön algoritması, $\alpha_t(i)$ İleri-Yön değişkenini kullanarak, durumların baştan sona doğru tümevarımsal bir yöntemle yinelemeli olarak çalıştığı bir yöntemdir. $\alpha_t(i)$ İleri-Yön değişkeni aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Öz, 2009(a): 65).

$$\alpha_t(i) = P(O_1 O_2 \dots O_t, q_t = S_i | \lambda) \quad (2.54)$$

Verilen bir λ modelindeki $\alpha_t(i)$ değişkeni, t anında S_j durumunda bulunan ve sistemde üretilen $O_1 O_2 \dots O_t$ kısmi gözlem dizisinin olasılığı olarak ifade edilmekte ve tümevarımsal olarak üç adımda çözülmektedir (Öz, 2009(a): 65).

- i. Başlangıç Değer Atama (Initialization): Sürecin $t = 1$ olacak şekilde ilk anında, durumların başlangıç değer olasılıkları da kullanılarak, meydana gelen gözlemin her bir durum için ayrı ayrı gözlemlenme olasılıkları elde edilir. Burada kullanılan değişken, $\alpha_1(i)$ değişkeni olmaktadır.

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1); \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.55)$$

- ii. Yineleme (Recursion): Algoritmanın anahtar adımı olan bu adımda $t = t + 1$, yani $t = 2$ anından $t < T$ olduğu sürece aşağıdaki tekrarlamalı işlemler gerçekleştirilmektedir.

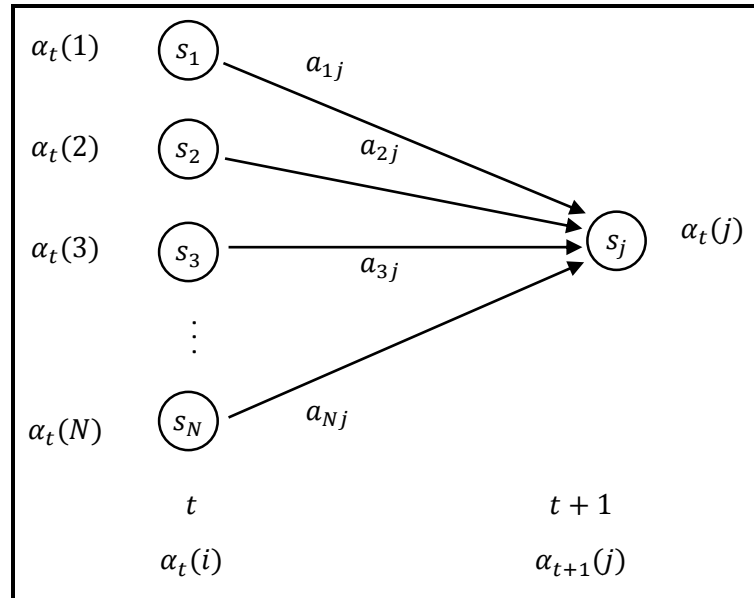
$$\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1});$$

$$1 \leq t \leq T - 1; \quad 1 \leq j \leq N \quad (2.56)$$

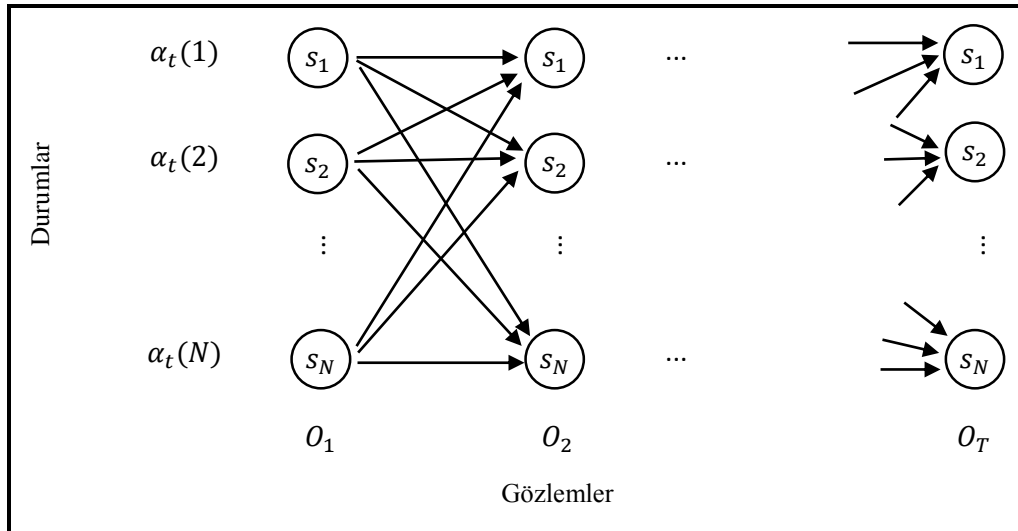
- iii. Sonlandırma (Termination): $t = T$ anında her bir durum üzerinde yığılmış olan gözlem olasılıkları toplanarak gözlem dizisinin meydana gelme olasılığı elde edilmiş olur.

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) \quad (2.57)$$

İleri-Yön değişkeni yardımıyla birinci problem için olasılık hesaplanırken, öncelikle t anından $t + 1$ anına nasıl geçiş yapıldığı, daha sonra $t = 1$ başlangıç anından ilerleyerek birikimli bir biçimde T anına kadar devam eden süreç, aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Ardışık Zamanlar Arasında İleri-Yön Değişkeninin Hareketi (Rabiner, 1989)



Şekil 2.7 Başlangıç Anından ($t = 1$) Bitiş Anına ($t = T$) Kadar Olan Sürede $\alpha_t(i)$ Değişkeninin Hesaplanması (Rabiner, 1989)

Şekil 2.6'da t anındaki mümkün olan tüm S_i durumlarından S_j durumuna geçişler gösterilmektedir. $\alpha_t(i)$ değişkeni üzerinde, t anına kadar gerçekleşen $O_1 O_2 \dots O_t$ gözlemlerinin birleşik olasılıkları bulunmaktadır. $\alpha_t(i) a_{ij}$ ile, t anında S_i durumda sistem, $t + 1$ anındaki S_j durumuna geçmektedir. S_j durumunda gözlenen gözleme geçmeden önce, S_j durumunun olasılığının bulunması gerekmektedir. N sayıdaki tüm durumların t anında hesaplanmış olasılıklarının, S_j durumuna geçiş olasılıkları olan a_{ij} olasılıkları ile çarpılmasıyla elde edilen tüm $\alpha_t(i) a_{ij}$ değerlerinin toplamı, S_j durumunda bulunma olasılığını vermektedir. S_j durumu bilindiğinde, bu durumda gerçekleşen gözlem değerinin olasılığı $b_j(O_{t+1})$ ile $\sum \alpha_t(i) a_{ij}$ toplamının çarpılması sonucunda $\alpha_{t+1}(j)$ elde edilmektedir. Şekil 2.7'de ise yineleme işleminin $\alpha_T(j)$ bulunana kadar devam ettiği görülmektedir. Üçüncü ve son adımda, elde edilen İleri-Yön değişkenleri toplanarak $P(O|\lambda)$ olasılık değeri hesaplanmaktadır.

2.4.3.1.2 Geri-Yön Algoritması

Geri-Yön algoritması, İleri-Yön algoritmasından farklı olarak $\beta_t(i)$ Geri-Yön değişkenini kullanmaktadır. Algoritmanın zaman karmaşıklığı, İleri-Yön algoritması ile aynı sonucu vermektedir. Geri-Yön değişkeni $\beta_t(i)$, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Rabiner, 1989: 263).

$$\beta_t(i) = P(O_{t+1} O_{t+2} \dots O_T, q_t = S_i | \lambda) \quad (2.58)$$

Geri-Yön algoritması, İleri-Yön algoritması ile aynı isimlerde ancak farklı hesaplama teknikleri ile, başlangıç değer atama, yineleme ve sonlandırma şeklinde üç farklı adımda çözülmektedir (Can ve Öz, 2009: 5; Büyüktatlı, 2013: 42).

- i. Başlangıç Değer Atama: Bu adımda algoritma T anından başlamakta ve her bir durum için tanımlanan değişkene 1 değeri atanmaktadır.

$$\beta_T(i) = 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.59)$$

- ii. Yineleme: T anından başlayan algoritma, rekürsif olarak her adımda $t = t - 1$ şeklinde ilerleyerek $t = 0$ anına kadar devam etmektedir. Yani $t > 0$ olduğu sürece, $\beta_t(i)$ değişkeni sırasıyla $t = T - 1, T - 2, \dots, 1$ adımlarında aşağıda gösterildiği gibi hesaplanacaktır.

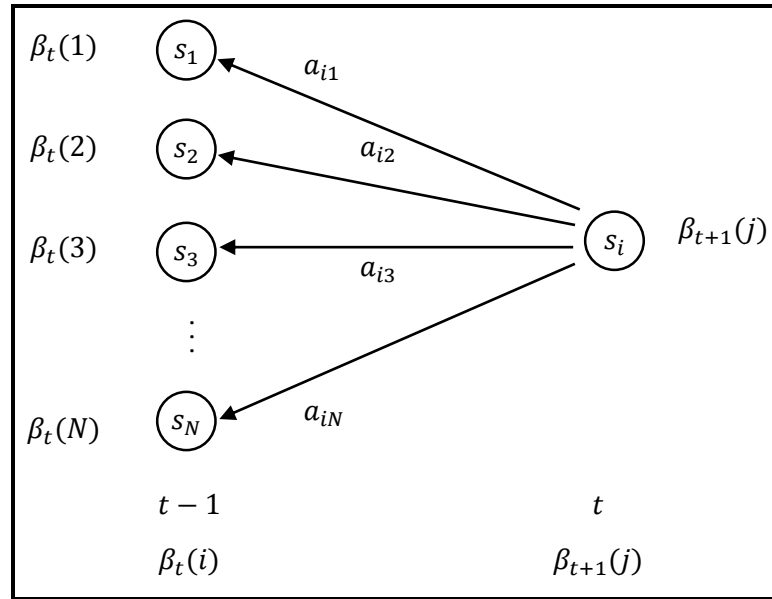
$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j), \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.60)$$

- iii. Sonlandırma: Algoritmanın son bölümünde gözlem dizisinin olasılığı şu şekilde bulunmaktadır. Bu sonuç, İleri-Yön algoritmasında elde edilen sonuçla eşit çıkmaktadır.

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \beta_1(i) \alpha_1(i) \quad (2.61)$$

Geri-Yön algoritmasında, daha önce İleri-Yön algoritmasının çalışma prensibinde gösterilen şekillerdeki okların yön değiştirdiği görülmektedir. Yani S_i ($i = 1, \dots, N$) durumundan sırasıyla tüm S_j durumlarına ($j = 1, \dots, N$) geçişler söz konusu olmakta ve t anındaki $\beta_t(i)$ değişkeni hesaplanırken, bir sonraki ($t + 1$) Geri-Yön değişkeninden ve gözlem olasılığı değerinden faydalanılmaktadır. Şekil 2.8'de Geri-Yön değişkeninin ilerleme şekli gösterilmektedir.

Şekil 2.8'de dikkat edilmesi gereken önemli maddelerden bir tanesi, $\beta_T(i)$ değişkeninden $\beta_1(i)$ değişkenine doğru hesaplamaların yapıldığı, diğeri ise $\beta_{t+1}(j)$ 'ler kullanılarak $\beta_t(i)$ 'lerin bulunduğu.



Şekil 2.8 Geri-Yön Değişkeninin Hareketi (Rabiner, 1989)

2.4.3.2 Değerlendirme Probleminin Çözümü için Geliştirilen Algoritmaların Zaman Karmaşıklığı

Önceki bölümlerde, N duruma sahip ve T sayıda gözlem üreten bir sistemin değerlendirme problemi aşamasında, $2TN^T$ adet hesaplamaların yapılması gerektiği belirtilmiştir. Geliştirilen algoritmalar sayesinde daha az sayıda işlem yapıldığı görülmektedir (Rabiner, 1989: 263).

İleri-Yön algoritmasını incelerken çarpma ve toplama işlemlerinin sayıları ayrı ayrı incelenmektedir. Başlangıç değer ataması sırasında N adet, ikinci adımda öncelikle bir durum için $N + 1$, N durum için $N(N + 1)$ ve bu işlemler $(T - 1)$ kez tekrarlandığından $N(N + 1)(T - 1)$ adet, toplamda ise $N + N(N + 1)(T - 1)$ adet çarpma işlemi gerçekleştirilmektedir. Benzer işlemler toplama için de yapıldığında $(N - 1) + N(N - 1)(T - 1)$ adet toplama işlemi yapılmaktadır (Rabiner, 1989: 263).

Bilgisayar bilimlerinde algoritmanın işlemsel karmaşıklığını çözümlmek için, Büyük O (Big O) ifadesi kullanılmaktadır. Değerlendirme problemi için geliştirilen algoritmalara uygulandığında, bu değer $O(N^2T)$ olduğu görülmektedir. Karesel gösterimdeki bir karmaşıklık, üssel gösterimde olan $O(N^T)$ 'den daha hızlı sonuç vermektedir. 5 durumlu ve 100 gözlem sayısına sahip bir model ele alındığında, algoritma kullanmadan yaklaşık 10^{72} işlem yapılırken, İleri-Yön veya Geri-Yön algoritmaları yardımıyla işlemler yapıldığında ise yaklaşık 3000 işlem yapılmaktadır (Rabiner, 1989: 263).

2.4.3.3 Çözümleme Probleminin Çözümü

Gizli Markov modelinin ikinci probleminin çözümünde, $O = O_1 O_2 \dots O_T$ şeklinde verilen bir gözlem dizisi ve λ modeli için, bu gözlemleri en iyi açıklayan $Q = q_1 q_2 \dots q_T$ saklı durum dizisinin ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır (Öz, 2009(a): 66).

λ modelinde, $O = O_1 O_2 \dots O_T$ gözlem dizisinin $1 \leq t \leq T$ için her bir O_t gözlemi meydana geldiğinde sistem gizli bir durumda bulunmaktadır. Sistemde durumlar arasında geçişler oldukça her bir durumda bir O_t gözlemi üretilecektir. Ancak herhangi bir O_t gözlemi oluştuğunda, gözlemi meydana getiren durum gizli kalacaktır. Dolayısıyla $O = O_1 O_2 \dots O_T$ gözlem dizisinin altında yatan olası $Q = q_1 q_2 \dots q_T$ durum dizilerinden, $P(Q|O, \lambda)$ değerinin olasılığını maksimum olasılıkla açıklayan Q durum dizisinin belirlenmesi, ikinci problemin amacını oluşturmaktadır (Can ve Öz, 2009: 174).

Çözümleme problemi için geliştirilen Viterbi algoritması, verilen O gözlem dizisine karşılık gelen “optimal” durum dizisini araştırmaktadır. Burada ifade edilen optimalite kavramı ile, T gözlemlili ve N duruma sahip modeldeki N^T farklı olası durum dizisi arasından en yüksek olasılığa sahip olanının belirlenmesi işaret edilmektedir. Başka bir ifadeyle, problemin çözüm uygulaması için şu şekilde bir tanımlama yapılmaktadır. Verilen λ modeli ve O gözlem dizisi için, t anında S_i durumunda bulunma olasılığı $\gamma_t(i)$ ile gösterilmektedir (Rabiner, 1989: 263).

$$\gamma_t(i) = P(q_t = S_i | O, \lambda) \quad (2.62)$$

$\gamma_t(i)$ olasılığı, gözlem dizisi olasılığının meydana geldiği tüm durum dizilerinden sadece bir tanesinin olasılığını ifade etmektedir. Dolayısıyla $\gamma_t(i)$ olasılık değerleri toplamı, 1 sonucunu verecektir (Rabiner, 1989: 263).

$$\gamma_t(i) = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{P(O|\lambda)} = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{\sum_{i=1}^N \alpha_t(i)\beta_t(i)} \quad (2.63)$$

$$\sum_{i=1}^N \gamma_t(i) = 1 \quad (2.64)$$

$\gamma_t(i)$ kullanılarak incelenen her bir durum dizisi içindeki en yüksek olasılığa sahip olanın seçilmesi, aşağıdaki eşitlik ile sağlanmaktadır (Öz, 2009(b): 55).

$$q_t = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}}[\gamma_t(i)]; \quad 1 \leq t \leq T \quad (2.65)$$

2.4.3.3.1 Viterbi Algoritması

Viterbi algoritması, karmaşık kıvrımlı kodların çözüm metodu olarak 1967 yılında geliştirilmiş olan bir yöntemdir. Viterbi algoritması, kesikli zaman sonlu durumlu bir Markov sürecinin durum dizisini tahmin etme problemini çözen ve optimal çözüme ulaşan yinelemeli bir algoritmadır (Forney, 1973: 268).

Verilen bir modeldeki $O = O_1 O_2 \dots O_T$ gözlem dizisi için en uygun $Q = q_1 q_2 \dots q_T$ durum dizisinin bulunması için, $a_{ij} \neq 0$ koşulunu sağlayacak şekilde her bir adımda maksimum olasılığı hesaplayan ve bulunduğu durumları da başka bir diziye aktaran iki farklı değişken kullanılmaktadır (Rabiner, 1989: 264).

$$\delta_t(i) = \max_{q_1, q_2, \dots, q_{t-1}} P(q_1 q_2 \dots q_t = S_i, O_1 O_2 \dots O_t | \lambda) \quad (2.66)$$

$\delta_t(i)$, t anına kadar gerçekleşen maksimum olasılığa sahip durum dizisinin olasılığını hesaplar. Diğer bir değişken olan $\psi_t(j)$ ise, her t ve j için olası yolu maksimize eden düğümleri saklamaktadır.

Viterbi algoritması 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar başlangıç, yineleme, sonlandırma ve yol (durum dizisi) geri izleme şeklinde olup aşağıda verilmiştir.

- i. Başlangıç: Bu adımda, her durumun başlangıç olasılık değeri ile birinci gözlemin olasılık değeri çarpılır. Ayrıca $t = 1$ başlangıç anında, maksimum durum düğümünü belirleyen $\psi_t(i)$ değişkeni de 0 değerini alır (Can ve Öz, 2009: 175).

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(O_1); \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.67)$$

$$\psi_1(i) = 0 \quad (2.68)$$

- ii. Yineleme: t anında oluşturulan her bir $\delta_t(i)$ olasılık değerlerini kullanarak, $t + 1$ anındaki j durumlarına ulaşan maksimum olasılık değeri ve bu değeri taşıyan düğüm, ilgili değişkenlerde tutulmaktadır. Algoritmanın çalışma şekli düşünüldüğünde t , j ve i döngü sıralamasının dışarıdan içeriye doğru t , j ve i şeklinde olduğu ve başlangıç değerlerinin de 1 olduğu kabul edilmektedir (Can ve Öz, 2009: 175-176).

$$\delta_{t+1}(j) = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_t(i) a_{ij}] b_j(O_{t+1});$$

$$1 \leq t \leq T; \quad 1 \leq j \leq N \quad (2.67)$$

$$\begin{aligned} \psi_{t+1}(j) &= \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} [\delta_t(i) a_{ij}]; \\ 1 \leq t \leq T; \quad & 1 \leq j \leq N \end{aligned} \quad (2.68)$$

Yineleme adımı, $t = t + 1$ için gerekli hesaplamalar yapıp $t < T$ şartı sağlanana kadar devam etmektedir. Bu adımın sonunda $t = T$ anındaki $\delta_t(i)$ olasılık değerleri ve $\psi_t(i)$ (t anındaki her duruma maksimum olasılığı ulaştıran bir önceki durum) hesaplanmaktadır.

- iii. Sonlandırma: T anındaki maksimum olasılık değeri ile bu değer üzerinde bulunduğu durum (düğüm) aşağıda belirtilen değişkenlere atanmaktadır (Can ve Öz, 2009: 176).

$$P^* = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_T(i)] \quad (2.69)$$

$$q_T^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} [\delta_T(i)] \quad (2.70)$$

- iv. Yol (Durum Dizisi) Geri İzleme: Algoritmanın son adımında, $t + 1$ anındaki her duruma ait $\psi_{t+1}(i)$ değişkenleri, t anından kendilerine uğrayan maksimum olasılığa sahip adresleri tutmaktadır. Dolayısıyla, bir önceki adımda T anında bulunan maksimum olasılıklı durumdan başlayarak, $t = T - 1, T - 2, \dots, 1$ olacak şekilde geriye doğru hesaplama yapılmakta ve bu şekilde durum dizisi oluşturulmaktadır (Öz, 2009(b): 58).

$$q_t^* = \psi_{t+1}(q_{t+1}^*) \quad (2.71)$$

2.4.3.4 Öğrenme Probleminin Çözümü

Gizli Markov modelinin üçüncü problemi, verilen bir modeldeki gözlem dizisinin olasılığını maksimize edecek $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{\Pi})$ model parametrelerini yeniden belirlemeyi amaçlamaktadır (Rabiner, 1989: 264). Ancak model parametrelerini optimal olarak tahmin eden bir yol bulunmamaktadır. Bunun için yinelemeli bir prosedür olan Baum-Welch algoritması kullanılmaktadır (Öz, 2009(b): 59).

2.4.3.4.1 Baum-Welch Algoritması

Gizli Markov modelinin eğitim metodu olan Baum-Welch algoritması, İleri ve Geri-Yön olasılık değişkenleri üzerine tanımlanmış olan iteratif (yinelemeli) olasılık maksimizasyon metodudur (Vaseghi, 2007: 364).

Verilen bir model ve gözlem dizisinde, t anında S_i ve $t + 1$ anında S_j durumunda bulunmanın olasılığı $\xi_t(i, j)$ olarak tanımlanmaktadır (Rabiner, 1989: 264).

$$\xi_t(i, j) = P(q_t = S_i, q_{t+1} = S_j | O, \lambda) \quad (2.71)$$

$\xi_t(i, j)$ değişkeni aynı zamanda ileri ve Geri-Yön olasılık değişkenleri yardımı ile de ifade edilmektedir (Rabiner, 1989: 264).

$$\begin{aligned} \xi_t(i, j) &= \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{P(O | \lambda)} \\ &= \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)} \end{aligned} \quad (2.72)$$

Paydaki ifadede, t anına kadar olan ve i durumu üzerinde biriken olasılık ifadesi $\alpha_t(i)$, i durumundan j durumuna geçiş a_{ij} , j durumunda yani $t + 1$ anında gerçekleşen gözlemin olasılığı $b_j(O_{t+1})$ ve Geri-Yön değişkeni yardımıyla $t + 1$ anındaki j durumunda biriken olasılık ise $\beta_{t+1}(j)$ şeklinde ifade edilmektedir. Paydaki ifadenin paydadaki ifadeye bölünmesiyle istenilen $\xi_t(i, j)$ olasılık değeri elde edilmektedir.

Verilen bir gözlem dizisi ve modele göre $\gamma_t(i)$, t anında S_i durumunda bulunma olasılığını verdiği için, $\gamma_t(i)$ ile $\xi_t(i, j)$ arasında aşağıdaki gibi bir ilişki bulunmaktadır (Öz, 2009(b): 61).

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (2.73)$$

T anındaki işlemler toplama dahil edilmediğinde, aşağıdaki eşitlikler elde edilmektedir (Rabiner, 1989: 265).

$$\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i) = S_i \text{'den geçişlerin beklenen sayısı} \quad (2.74)$$

$$\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j) = S_i \text{'den } S_j \text{'ye geçişlerin beklenen sayısı} \quad (2.75)$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak **A**, **B** ve **Π** yeniden hesaplanabilmektedir (Rabiner, 1989: 265).

$$\bar{\pi}_i = \gamma_1(i), \quad (t = 1) \quad (2.76)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i,j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (2.77)$$

$$\bar{b}_j(k) = \frac{\sum_{t=1, O_t=v_k}^T \gamma_t(i)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(i)} \quad (2.78)$$

Yukarıda verilen formüller kullanılarak GM modeli parametrelerinin yeniden tahmini için bir yöntem tanımlanmaktadır. Yeni parametreler, $\bar{\lambda} = (\bar{\mathbf{A}}, \bar{\mathbf{B}}, \bar{\mathbf{\Pi}})$ ile gösterilmektedir (Öz, 2009(a): 68).

Yeniden tahmin prosedürünün önemli bir noktası da aşağıda ifade edilen GM modeli parametrelerinin stokastik kısıtlarının her iterasyonda sistematik bir biçimde elde edilmesidir (Can ve Öz, 2009: 8).

$$\sum_{i=1}^N \bar{\pi}_i = 1 \quad (2.79)$$

$$\sum_{j=1}^N \bar{a}_{ij} = 1; \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.80)$$

$$\sum_{k=1}^M \bar{b}_j(k) = 1; \quad 1 \leq j \leq N \quad (2.81)$$

Baum ve arkadaşları tarafından kanıtlanmış olan teoriye göre aşağıda verilen iki ifadeden birisi gerçekleşecektir (Öz, 2009(b): 62).

- i. Başlangıç modeli olan λ , $\lambda = \bar{\lambda}$ şeklinde olduğunda, olasılık fonksiyonu sabit bir noktaya yaklaşmış olur ve algoritma burada son bulur.
- ii. Elde edilen $\bar{\lambda}$ modeli, $P(O|\bar{\lambda}) > P(O|\lambda)$ eşitsizliğini λ 'ya göre daha olabilir yapar.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, algoritmanın iteratif bir şekilde çalışarak daha önceden belirlenmiş bir değere göre (δ) kıyaslandığında duracağına ya da yeniden devam edeceğine karar vermektir. Yani, algoritma bulmuş olduğu her bir yeni $\bar{\lambda}$ değerini, λ değerinin üzerine yazarak ilerlemektedir. Dolayısıyla $P(O|\bar{\lambda}) - P(O|\lambda) < \delta$ koşulu sağlanana kadar algoritma çalışmaya devam edecek ve daha iyi bir olasılık değeri bulmaya çalışacaktır.

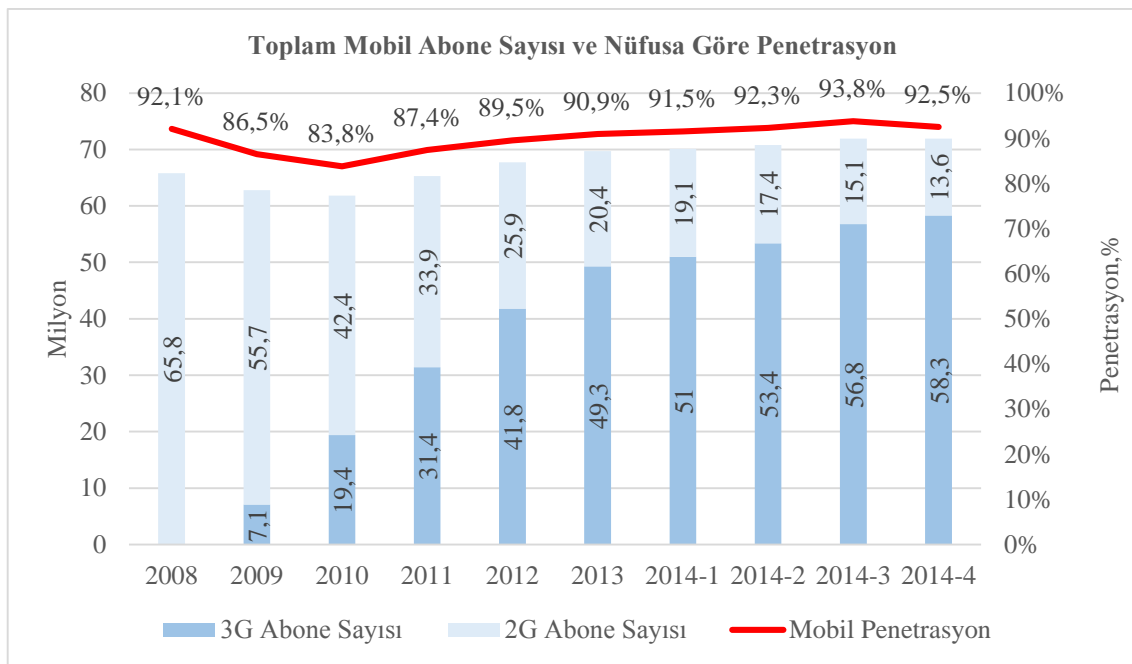
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GSM OPERATÖRÜ TERCİH NEDENLERİNİN GİZLİ MARKOV MODELLERİ ile ANALİZİ

Bu bölümde tez çalışmasına konu olan GSM operatörü tercihleri ve özellikle mevcut bir operatörden yeni bir operatöre geçiş nedenlerinin belirlenmesi problemi gizli Markov modellerinin kullanılmasıyla ele alınmıştır. Çalışmada ilk olarak birtakım tanımlayıcı istatistiksel analizlere yer verilmiş daha sonra gizli Markov modeline ait matrisler ve değişkenlerin seçilmesi işlemlerine değinilmiştir. Oluşturulan matrisler yardımıyla tahmin sonuçları elde edilmiş ve tercih nedenleri ayrıntılı olarak yorumlanmıştır.

3.1 Araştırmanın Amacı

Türkiye, ortalama aylık mobil telefon kullanım süreleri bakımından Avrupa ülkeleri arasında lider konumdadır. Türkiye’de toplam %92,5 mobil penetrasyon oranı ile, GSM operatörleri arasında yoğun bir rekabet yaşanmaktadır.



Şekil 3.1 2008-2014 Yılları Arasındaki Mobil Abone Sayıları ve Penetrasyon Oranları
(www.tk.gov.tr, 2014 yılı 4. çeyrek pazar verileri)

Özellikle 2008 yılından beri uygulanmakta olan numara taşınabilirliği sistemi sayesinde bu rekabet artarak devam etmektedir. GSM operatörleri farklı gruplar için değişik tutundurma faaliyetleri uygulayarak hem ellerinde bulunan mevcut abonelerini kaybetmemeyi hem de diğer

operatörlerden kendi operatörlerine müşteri çekerek kullanıcı sayılarını artırmayı hedeflemektedirler.

Teknolojik gelişmeleri yakından takip etmeleri ve mobil iletişime daha hızlı adapte olabilmeleri sebebiyle gençler, özellikle de üniversite öğrencileri, hedef kitle olarak tercih edilmektedirler. Üniversite öğrencileri arasında kullanımı artan mobil iletişim, operatörlerin tercih edilme sebeplerini de akıllara getirmektedir. Her bir GSM abonesi kullanmakta olduğu veya kullanacağı operatörü belli sebeplerle seçmekte ancak bu sebepler GSM operatörleri tarafından kesin olarak bilinmemektedir. Bir operatörden başka bir operatöre geçiş nedenlerinin tespit edilmesi, müşteri kaybeden ve müşteri kazanan operatörler tarafından gelecek dönem planları açısından oldukça önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı GSM operatörü tercihinde özellikle de bir operatörden başka bir operatöre geçiş aşamasında etkili olan faktörlerin belirlenmesidir. Operatör tercihlerinde etkili olan faktörlerin gizli Markov modelleriyle incelenmesi yoluyla sektörün daha ayrıntılı irdelenmesi açısından yararlı bilgiler sunulması hedeflenmektedir.

3.2 Araştırmanın Yöntemi

GSM operatörü tercih nedenlerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada hedef kitle üniversite öğrencileri olarak belirlenmiştir. Üniversite öğrencilerinin hedef kitle olarak seçilmesinin nedeni, öğrencilerin fiyat, hizmet kalitesi, kampanyalar vb. gibi konularda daha araştırmacı ve seçici davranarak kendileri için en uygun olan operatörü seçmek istemeleridir. Ancak Türkiye’de eğitim görmekte olan bütün üniversite öğrencilerine ulaşmak, zaman ve ekonomik açıdan mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın ana kitlesini Antalya ilindeki vakıf ve devlet üniversitelerinde okuyan öğrenciler oluşturmaktadır.

Yükseköğretim Kurumu’nun resmi internet sayfasından elde edilen bilgiye göre Antalya ilinde öğrenim görmekte olan 45.420 öğrenci bulunmaktadır. Bu öğrencilerin 784 tanesi vakıf, 44.636 tanesi devlet üniversitelerinde öğrenim görmektedir.

%95 güven düzeyinde ana kitle hacmi 100.000 olduğunda örneklem hacmi 321, ana kitle hacmi 500.000 olduğunda ise örneklem hacmi 322 olarak hesaplanmaktadır (Can ve Öz, 2009: 178). Dolayısıyla 45.420 birimlik bir ana kitle için 321 kişilik örneklemin yeterli olacağı görülmektedir.

Yapılan çalışmada veri toplama aracı olarak anket tekniği kullanılmıştır. Katılımcılara literatür taramasından elde edilen bilgilerden yola çıkarak çalışmanın amacına yönelik çeşitli sorular sorulmuştur. Çalışmada kullanılacak anketler hem yüzyüze görüşmeler hem de internet üzerinden elektronik ortamda elde edilmiştir. Toplamda 720 tane anketin geri dönüşü sağlanmış olup, 64 tane ankette çalışmada kullanılması planlanan verilerde eksiklik tespit edildiğinden

değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Toplamda 656 tane kullanılabilir anket, analizlere dahil edilmiştir.

Anketlerden elde edilen verilerle ilk olarak katılımcılarla ilgili tanımlayıcı istatistiklere ulaşılmıştır. İkinci aşamada, anket formlarından elde edilen bilgiler kullanılarak üniversite öğrencilerinin GSM operatörü tercih olasılıklarının ve tercih nedenlerinin gizli Markov modelleri ile tahmin edilebilmesi için, matrisler ve çözüm algoritmaları ile model parametrelerinin belirlenmesi işlemine geçilmiştir.

3.3 Araştırma Bulguları ve Analiz

Anketten elde edilen verilere göre katılımcıların geliri, okuyor oldukları üniversitenin türü, şu anki öğrenim durumları, yaşı ve cinsiyeti şeklindeki demografik sorularla belirli istatistikler elde edilmiştir. GSM kullanıcılarına aynı zamanda, kullandıkları operatörleri ne kadar süredir kullandıkları, ne kadar harcama yaptıkları, daha çok hangi amaçla kullandıkları ve operatör hakkındaki bilgileri nasıl elde ettikleri şeklindeki sorular sorularak belirli istatistiklerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.3.1 Demografik Özelliklere İlişkin Bulgular

656 katılımcı ile gerçekleştirilen anketten elde edilen betimleyici istatistikler Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Buna göre, katılımcıların %89,2’si devlet üniversitelerinde, %10,8’i vakıf üniversitelerinde okuyan öğrencilerden oluşmaktadır. Lisans seviyesinde olan öğrencilerin oranı %61, yüksek lisans/doktora seviyesinde %31,8 ve önlisans seviyesinde olanların oranı %7,2’dir. Katılımcıların %84,5’i 19-28 yaşları arasındadır. Cinsiyete bakıldığında %53,5’inin erkek ve %46,5’inin kadın olduğu görülmektedir. Öğrencilerin ellerine geçen aylık gelirleri incelendiğinde %30,5’inin 300-600 TL arası, %27’sinin 1.500 TL’den fazla ve %15,6’sının 300 TL’den az gelirleri olduğu görülmektedir.

Ayrıca, servislerin kullanma sıklıkları incelendiğinde katılımcıların %98’inin konuşma, %97’sinin internet, %96’sının SMS ve %92’sinin sosyal medya servislerini kullandıkları görülmektedir. En çok kullanılan servisin konuşma olması, Türkiye’nin Avrupa’daki ülkeler arasında abone başına aylık ortalama konuşma süresi bakımından ilk sırada olmasını açıklamaktadır.

Tablo 3.1 Katılımcılara Ait Demografik Bilgiler

		Frekans	Yüzde
Üniversite Türü	Devlet	585	89,2
	Vakıf	71	10,8
Öğrenim Durumu	Önlisans	47	7,2
	Lisans	400	61
	Yüksek lisans/Doktora	209	31,8
Yaş	18 ve altı	52	7,9
	19-23 arası	312	47,6
	24-28 arası	242	36,9
	29-34 arası	47	7,2
	35 ve üstü	3	0,4
Cinsiyet	Erkek	351	53,5
	Kadın	305	46,5
Aylık Gelir	300 TL'dan az	103	15,6
	300-600 TL arası	200	30,5
	601-900 TL arası	85	13
	901-1200 TL arası	49	7,5
	1201-1500 TL arası	42	6,4
	1500 TL'dan fazla	177	27
	N	656	100

Tablo 3.2 Servislerin Kullanım Sıklıkları

	Hiçbir zaman	Nadiren	Bazen	Sıklıkla	Her zaman
Konuşma	0,02	0,05	0,09	0,33	0,51
İnternet	0,03	0,04	0,07	0,19	0,67
SMS	0,04	0,21	0,27	0,22	0,26
Sosyal Medya	0,08	0,07	0,11	0,25	0,49

Operatörlerle ilgili bilgilerin hangi kaynaklardan edinildiği incelendiğinde operatörlerin reklam, kampanya ve teknolojik gelişmeler gibi haberlerinin en çok televizyon (%33) aracılığı ile öğrenildiği gözlemlenmiştir. Bu durumu operatörlere ait internet sayfaları (%22) ve bilgi mesajları (%21) takip etmektedir. Operatörlere ait haberlerin en az radyodan (%1) öğrenildiği görülmüştür. Daha detaylı bilgiler Tablo 3.3'te görülmektedir.

Tablo 3.3 GSM Operatörleri ile İlgili Bilgilerin (Reklam, Kampanya, Teknolojik Gelişmeler) Öğrenildiği Kaynaklar

Operatörlerle İlgili Bilgilerin Öğrenildiği Kaynaklar	Frekans	Yüzde(%)
Televizyondan	306	%33
Operatörlere ait internet sayfalarından	204	%22
Bilgi mesajlarından	201	%21
Çevremdeki kişilerin tavsiyelerinden	134	%14
Broşürlerden	53	%6
Gazetelerden	31	%3
Radyodan	5	%1

Tablo 3.4'te, 656 kişiden oluşan örneklemdaki GSM operatörü kullanıcı sayıları, oranları ile birlikte gösterilmiştir. Buna göre ankete katılanların %49'unu Avea, %23'ünü Turkcell ve %28'ini Vodafone kullanıcılarının oluşturduğu gözlemlenmiştir. Turkcell ve Vodafone operatörü kullanıcılarının faturasız hat sayılarının, aynı operatörlere ait faturalı hat kullananların sayısından fazla olduğu görülürken, Avea – Faturalı hat kullananların sayısının Avea – Faturasız hat kullananların sayısından fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 3.4 Kullanılan GSM Operatörü Oranları

Operatör	Kullanıcı Sayısı	Yüzde(%)
Avea – Faturalı	238	36
Avea – Faturasız	87	13
Turkcell – Faturalı	64	10
Turkcell – Faturasız	86	13
Vodafone – Faturalı	72	11
Vodafone – Faturasız	109	17
N	656	100

Tablo 3.5'te tüm operatörlere ait kullanım süreleri ve abonelerin aylık ortalama GSM harcamaları verilmiştir. Bu tabloya göre kullanıcıların çoğunlukla kullandıkları operatörlere sadık kaldıkları, ancak büyük bir çoğunluğunun da operatörler arası geçiş yaptıkları gözlemlenmiştir. Abonelerin aylık ortalama GSM harcamalarına bakıldığında ise çoğunlukla 21-40 TL arasında GSM giderlerinin olduğu tespit edilmiştir. Harcamaların yığılma noktası olan 21-40 TL arasında, Avea'nın faturalı, Turkcell ve Vodafone'un faturasız hatlarının ön plana çıktığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.5 Operatör Kullanım Süreleri ve GSM Harcamaları

Operatör	Abonelere Ait Kullanım Süreleri						Abonelerin Aylık Ortalama GSM Harcaması					
	12 aydan az	1-2 yıl	2-3 yıl	3-4 yıl	4-5 yıl	5 yıl ve üzeri	0-20 TL	21-40 TL	41-60 TL	61-80 TL	81-100 TL	100 TL üzeri
Avea-Faturalı	56	46	24	19	10	83	17	159	41	8	4	9
Avea-Faturasız	21	22	11	7	3	23	13	73	1	-	-	-
Turkcell-Faturalı	15	6	8	6	2	27	1	21	18	13	4	7
Turkcell-Faturasız	15	5	11	7	6	42	24	58	2	2	-	-
Vodafone-Faturalı	21	13	9	9	2	18	4	41	11	7	3	6
Vodafone-Faturasız	25	29	15	6	7	27	28	72	4	3	2	-
N	153	131	78	54	30	220	87	424	77	33	13	22

3.4 Gizli Markov Modelinin Oluşturulması

Çalışmanın GMM ile analizi kısmında model parametreleri kullanılarak operatörler arası geçiş olasılıkları ve bu geçişlerin sebepleri tahmin edilmiştir. Tahminlerin gerçekleştirilebilmesi için katılımcılara, şu anda kullanmış oldukları operatör ile bu operatörü tercih etme nedeni, bir sonraki operatör tercihi ile bu operatörü tercih etme nedeninin ne olacağı soruları yöneltilmiştir. Bu sorulardan, GSM operatörü kullanıcılarının şu anda kullanmakta oldukları operatörler ile şu anki ve bir sonraki operatörü tercih etme nedenleri alınarak gizli Markov modelinin oluşturulması aşamasında kullanılmıştır.

Değerlendirmeye alınan anketlerde, kullanmakta olduğunuz GSM operatörünü tercih etme nedenleri sorusuna on defadan daha az cevap verilen kategoriler “Diğer” başlığı altında toplanmıştır. Verilen cevaplara göre elde edilen değerler ve oranları Tablo 3.6’da verilmiştir. Araştırmanın yöntemi olarak belirlenen gizli Markov modellerinin kullanımı için iki adet olasılık matrisi oluşturulmuştur. Bu matrislerden birincisi, katılımcıların şu anda kullanmış oldukları operatörleri tercih nedenlerinden bir sonraki operatörü tercih nedenlerine geçiş olasılıklarını, ikincisi, şu anda kullanmakta oldukları operatörlerin kullanım nedenlerinden kullandıkları operatörlere geçiş olasılıklarını gösteren gözlem olasılıkları matrisidir.

Tablo 3.6 Şu Anki ve Bir Sonraki Operatör Tercih Nedenlerinin Dağılım Oranları

D_i	Şu anki (t) tercih nedenleri sayısı ve oranı		Bir sonraki (t+1) tercih nedenleri sayısı ve oranı	
	Sayı	Oran(%)	Sayı	Oran(%)
Fiyat uygunluğu	267	40,7	249	38
Hizmet kalitesi	123	18,8	226	34,5
Yakın çevrede çok kullanılması	71	10,7	12	1,8
Reklamları	3	0,5	5	0,8
Müşteri hizmetleri	4	0,6	5	0,8
Satış elemanının önerileri	4	0,6	1	0,2
Sponsorluk ve sosyal sorumluluk projeleri	3	0,5	6	0,9
Öğrencilere yönelik avantajları	49	7,5	35	5,3
Kampanyaları	114	17,4	103	15,6
Hat alımı/Numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması	18	2,7	14	2,1
N	656	100	656	100

3.4.1 Model Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Matrislerin Oluşturulması

Gizli Markov modelinin tanımlanabilmesi için üç matrisin oluşturulması gerekmektedir. Bu matrisler ikinci bölümde ifade edilmiş olan Π başlangıç durum vektörü, A durum geçiş olasılıkları matrisi ve B gözlem olasılıkları matrisidir. Bu matrisler, $\lambda = (A, B, \Pi)$ şeklinde model parametreleri olarak gösterilmektedir.

Sistemin t anında, herhangi bir GSM operatörünün tercih edilmesinin sebebi ($q_t = D_i$), modelin “durumu” olarak belirtilmiştir. Operatör tercihlerinin sadece satın alınan veya kullanılan kişi tarafından biliniyor olması, bu durumları “gizli” yapmaktadır.

Sistemin $t + 1$ anında, yani bir sonraki adımda tercih edilecek olan operatörün tercih sebebi ($q_{t+1} = D_j$), sadece şu anki t anına bağlı olup geçmişten bağımsızdır. Dolayısıyla modelin durum geçiş olasılıkları matrisi, katılımcıların şu anki ve bir sonraki operatör tercihlerinin sebepleri baz alınarak oluşturulmuştur. Her bir ($q_t = D_i$) durumundan ($q_{t+1} = D_j$) durumuna geçişte elde edilen değerler a_{ij} olasılık değişkenlerinde tutulmuştur.

D_i değişkeni ile gösterilen gizli durumlar Tablo 3.7’de verilmiştir. Bu durumlardan reklamlar, müşteri hizmetleri, satış elemanının önerileri ve sosyal sorumluluk projeleri durumları on defadan daha az tekrar ettiği için “Diğer” kategorisinde değerlendirilmiş ve tahmin yapılırken D sembolü olarak ele alınmıştır.

Tablo 3.7 Gizli Durumlar Tablosu

Gizli Durumlar (Tercih Nedenleri)	Sembolü
Fiyat uygunluğu	D_1
Hizmet kalitesi	D_2
Yakın çevrede çok kullanılması	D_3
Öğrencilere yönelik avantajları	D_4
Kampanyaları	D_5
Hat alımı/Numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması	D_6
Reklamları	D
Müşteri hizmetleri	
Satış elemanının önerileri	
Sponsorluk ve sosyal sorumluluk projeleri	

Katılımcıların şu anda kullanmakta oldukları operatörlerin tercih nedenleri ve bir sonraki operatörlerinin tercih nedenleri sorularından elde edilen cevaplara göre geçiş olasılıkları matrisi A , Tablo 3.8'deki gibi elde edilmiştir. Elde edilen anket verileri değerlendirildiğinde, şu anki operatörünü “fiyat uygunluğu (D_1)” nedeninden dolayı seçenlerin sayısının 267 olduğu ve bunların 112 tanesinin ise yine D_1 nedeninden dolayı herhangi bir operatörü tercih edeceği görülmüştür. Dolayısıyla matrisin a_{11} elemanı, $\frac{112}{267} = 0,419$ olarak bulunmuştur. Matrisin diğer elemanları da benzer şekilde hesaplama yapılarak elde edilmiştir.

Tablo 3.8 Durum Geçiş Olasılıkları Matrisi

$[a_{ij}]$	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D
D_1	0,419	0,434	0,008	0,019	0,086	0,008	0,026
D_2	0,455	0,359	0	0,073	0,073	0,024	0,016
D_3	0,437	0,226	0,056	0,056	0,183	0	0,042
D_4	0,265	0,224	0,082	0,184	0,184	0	0,061
D_5	0,263	0,289	0,009	0,053	0,368	0,009	0,009
D_6	0,111	0,278	0	0,056	0,222	0,333	0
D	0,358	0,071	0,071	0,071	0,215	0,143	0,071

Elde edilen geçiş olasılıkları matrisi şu şekilde yorumlanmaktadır. Fiyat uygunluğundan (D_1) dolayı herhangi bir operatörü seçen bir kişi %43,4 ile hizmet kalitesi (D_2) daha iyi olan bir operatöre ve %41,9 ile yine fiyat olarak daha uygun olan bir operatöre geçmek istemektedir. Her bir a_{ij} matris elemanı benzer şekilde yorumlanmaktadır.

Durum geçiş olasılıkları matrisinin belirlenmesi işleminden sonra gözlem olasılıkları matrisi **B** oluşturulmuştur. Katılımcıların kullandıkları faturalı veya faturasız GSM operatörleri modelin gözlemleri olarak alınmıştır. Aynı zamanda modelin çıktılarını temsil eden gözlemler 6 tane olup yöntemde kullanılan sembollerle birlikte Tablo 3.9’da gösterilmektedir.

Tablo 3.9 Gözlemler Tablosu

Gözlemler	Sembolü
Avea – Faturalı	v_1
Avea – Faturasız	v_2
Turkcell – Faturalı	v_3
Turkcell – Faturasız	v_4
Vodafone – Faturalı	v_5
Vodafone – Faturasız	v_6

Ankette katılımcıların şu anda ve ileride kullanmayı düşündükleri operatörler, modelde v_k ve v_{k+1} şeklinde değerlendirilmiştir. Gözlem olasılıkları matrisi, kullanılan GSM operatörleri ile bu operatörlerin tercih sebeplerinin birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Tablo 3.10’da gözlem olasılıkları matrisi verilmiştir. Şu anda kullandığı operatörü D_1 nedeniyle seçenlerin sayısının 267 olduğu bu kişilerden 157 tanesinin ise Avea – Faturalı hattını (v_1) kullandığı görülmüştür. Buna göre matrisin $b_{D_1}(v_1)$ elemanı, $\frac{157}{267} = 0,588$ olarak hesaplanmıştır. Matrisin diğer elemanları da benzer şekilde hesaplanarak elde edilmiştir.

Tablo 3.10 Gözlem Olasılıkları Matrisi

$[b_j(k)]$	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
D_1	0,588	0,161	0,011	0,045	0,049	0,146
D_2	0,041	0,016	0,382	0,317	0,138	0,106
D_3	0,225	0,070	0,099	0,268	0,141	0,197
D_4	0,245	0,204	0	0,102	0,184	0,265
D_5	0,360	0,193	0,017	0,053	0,140	0,237
D_6	0,333	0,111	0,056	0,167	0,222	0,111
D	0,071	0,214	0,286	0,144	0,214	0,071

Gözlem olasılıkları matrisi, $b_j(k)$ matris elemanlarından oluşmaktadır. Bu matrise göre, “fiyat uygunluğu” durumundan en büyük olasılıklarla Avea – Faturalı (%58,8) ve Avea – Faturasız (%16,1) operatörlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Benzer şekilde “hizmet kalitesi” durumundan ise en büyük olasılıklarla Turkcell – Faturalı (%38,2) ve Turkcell – Faturasız (%31,7) operatörlerinin üretildiği görülmektedir.

Modelde yer alan durumların hiçbirinin diğerlerine göre bir önceliği bulunmadığından, başlangıç anında tüm durumların meydana gelme olasılıkları aynı olmaktadır. Dolayısıyla tüm durumların başlangıç olasılıkları, $\pi_i = \frac{1}{7} = 0,143$ ve $1 \leq i \leq 7$ olacak şekilde eşit alınmıştır.

3.4.2 Gizli Markov Modelinin Tahmin Edilmesi

Gizli Markov modelinin birinci problemi (değerlendirme problemi) kullanılarak, verilen λ modeli altında bir sonraki operatör tercihinin olasılığı $P(O|\lambda)$, ikinci problemi (çözümleme problemi) kullanılarak ise bu tercihlerin sebepleri $P(Q|O, \lambda)$ tahmin edilmiştir.

İlk olarak modelin birinci problemi ele alınmış ve her bir gözlemden diğer gözlemlere olan bir adım sonraki olasılıklar hesaplanmıştır. 6 tane gözlem ve her bir gözlemden yine 6 farklı gözleme geçiş olduğundan toplamda 36 farklı gözlem dizisi için olasılık değerleri elde edilmiştir. Bu gözlem dizileri aşağıdaki tablolarda, algoritmanın üç farklı adımı da çalıştırılarak gösterilmiştir.

Modelde şu anda kullanılan operatörden bir sonraki operatöre geçiş olasılığı tahmin edildiğinden, ardışık iki gözlemden oluşan gözlem dizileri oluşmuştur. 6 farklı gözlem dizisi içerisindeki ilk gözlemler sabit tutularak 36 farklı olasılık elde edilmiştir. Dizi 1'den Dizi 6'ya kadar olan bütün farklı durumlar tablolar halinde gösterilmiştir.

Dizi 1: Avea – Faturalı'dan (v_1) diğer operatörlere (v_k) geçiş

Başlangıç değer atama adımında; $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(v_1)$

$$\alpha_1(D_i) = (0,143)b_{D_i}(v_1)$$

Yineleme adımında; $\alpha_2(j) = [\sum_{i=1}^7 \alpha_1(i)a_{ij}]b_j(v_k)$

$O = (v_1, v_1)$ gözlem dizisi için;

$$\alpha_2(D_1) = [\alpha_1(D_1) \quad \alpha_1(D_2) \quad \alpha_1(D_3) \quad \alpha_1(D_4) \quad \alpha_1(D_5) \quad \alpha_1(D_6) \quad \alpha_1(D)] \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{41} \\ a_{51} \\ a_{61} \\ a_{71} \end{bmatrix} b_{D_1}(v_1)$$

$$\alpha_2(D_1) = [\alpha_1(D_1)a_{11} + \alpha_1(D_2)a_{21} + \alpha_1(D_3)a_{31} + \alpha_1(D_4)a_{41} + \alpha_1(D_5)a_{51} \\ + \alpha_1(D_6)a_{61} + \alpha_1(D)a_{71}]b_{D_1}(v_1)$$

$$= [(0,084)(0,419) + (0,006)(0,455) + (0,032)(0,437) + \\ (0,035)(0,265) + (0,049)(0,263) + (0,048)(0,111) + \\ (0,010)(0,358)](0,588)$$

$$= 0,049$$

Bir önceki matris elemanlarının çarpımında yer alan $\alpha_1(D_1), \alpha_1(D_2), \dots, \alpha_1(D)$ değişkenleri, aynı zamanda Tablo 3.11'deki başlangıç değer atama kısmında da hesaplanmıştır.

$$\alpha_2(D_2) = [\alpha_1(D_1) \quad \alpha_1(D_2) \quad \alpha_1(D_3) \quad \alpha_1(D_4) \quad \alpha_1(D_5) \quad \alpha_1(D_6) \quad \alpha_1(D)] \begin{bmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ a_{32} \\ a_{42} \\ a_{52} \\ a_{62} \\ a_{72} \end{bmatrix} b_{D_2}(v_1)$$

$$\begin{aligned} \alpha_2(D_2) &= [\alpha_1(D_1)a_{12} + \alpha_1(D_2)a_{22} + \alpha_1(D_3)a_{32} + \alpha_1(D_4)a_{42} + \alpha_1(D_5)a_{52} \\ &\quad + \alpha_1(D_6)a_{62} + \alpha_1(D)a_{72}]b_{D_2}(v_1) \\ &= [(0,084)(0,434) + (0,006)(0,359) + (0,032)(0,226) + \\ &\quad (0,035)(0,224) + (0,049)(0,289) + (0,048)(0,278) + \\ &\quad (0,010)(0,071)](0,041) \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

Benzer işlemler $\alpha_2(D_3), \alpha_2(D_4), \dots, \alpha_2(D)$ için gerçekleştirilerek (v_1, v_1) gözlem dizisine ait sütun bulunmuştur. Aynı zamanda bu işlemler hem bu tablodaki hem de diğer tablolardaki yineleme adımındaki bütün gözlem dizileri için de gerçekleştirilmiştir.

Sonlandırma adımında; $\sum_{i=1}^7 \alpha_2(i)$

$$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$$

$O = (v_1, v_1)$ gözlem dizisi için;

$$\begin{aligned} P(O|\lambda) &= \alpha_2(D_1) + \alpha_2(D_2) + \alpha_2(D_3) + \alpha_2(D_4) + \alpha_2(D_5) + \alpha_2(D_6) + \alpha_2(D) \\ &= 0,049 + 0,003 + 0,001 + 0,004 + 0,017 + 0,006 + 0,001 \\ &= 0,081 \text{ olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

Benzer şekilde sonlandırma adımı, yineleme adımında bulunan değerlerin, diğer gözlem dizileri için de uygulanmasıyla bulunmuştur. Diğer tablolardaki sonlandırma adımları da yukarıdaki işlemlere benzer şekilde gerçekleştirilerek tamamlanmıştır.

Tablo 3.11 Avea – Faturalı’dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları

Başlangıç Değer Atama					
$\alpha_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_1) = (0,143)(0,588)$					0,084
$\alpha_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_1) = (0,143)(0,041)$					0,006
$\alpha_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_1) = (0,143)(0,225)$					0,032
$\alpha_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_1) = (0,143)(0,245)$					0,035
$\alpha_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_1) = (0,143)(0,360)$					0,049
$\alpha_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_1) = (0,143)(0,333)$					0,048
$\alpha_1(D) = \pi_D b_D(v_1) = (0,143)(0,071)$					0,010
Yineleme					
$v_1 \rightarrow v_1$	$v_1 \rightarrow v_2$	$v_1 \rightarrow v_3$	$v_1 \rightarrow v_4$	$v_1 \rightarrow v_5$	$v_1 \rightarrow v_6$
0,049	0,013	0,001	0,004	0,004	0,012
0,003	0,001	0,031	0,026	0,011	0,009
0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
0,004	0,003	0	0,002	0,003	0,004
0,017	0,016	0,001	0,001	0,007	0,011
0,006	0,002	0,001	0,003	0,011	0,002
0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
Sonlandırma					
$v_1 \rightarrow v_1$		0,081		%32	
$v_1 \rightarrow v_2$		0,038		%13	
$v_1 \rightarrow v_3$		0,037		%12	
$v_1 \rightarrow v_4$		0,039		%14	
$v_1 \rightarrow v_5$		0,039		%14	
$v_1 \rightarrow v_6$		0,040		%15	
		0,274		%100	

Tablo 3.11’de görüldüğü gibi Avea – Faturalı hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla yine Avea – Faturalı, %13 olasılıkla Avea – Faturasız, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %14 olasılıkla Turkcell – Faturasız ve Vodafone – Faturalı, %15 olasılıkla ise Vodafone – Faturasız hattını tercih edecektir.

Dizi 2: Avea – Faturasız’dan (v_2) diğer operatörlere (v_k) geçiş

Başlangıç değer atama adımında; $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(v_2)$

Yineleme adımında; $\alpha_2(j) = [\sum_{i=1}^7 \alpha_1(j) a_{ij}] b_j(v_k)$

Sonlandırma adımında; $\sum_{i=1}^7 \alpha_2(i)$

$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.12 Avea – Faturasız’dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları

Başlangıç Değer Atama					
$\alpha_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_2) = (0,143)(0,161)$					0,023
$\alpha_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_2) = (0,143)(0,016)$					0,002
$\alpha_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_2) = (0,143)(0,070)$					0,010
$\alpha_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_2) = (0,143)(0,204)$					0,029
$\alpha_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_2) = (0,143)(0,193)$					0,041
$\alpha_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_2) = (0,143)(0,111)$					0,016
$\alpha_1(D) = \pi_D b_D(v_2) = (0,143)(0,214)$					0,031
Yineleme					
$v_2 \rightarrow v_1$	$v_2 \rightarrow v_2$	$v_2 \rightarrow v_3$	$v_2 \rightarrow v_4$	$v_2 \rightarrow v_5$	$v_2 \rightarrow v_6$
0,027	0,007	0,001	0,002	0,002	0,007
0,002	0,001	0,014	0,013	0,006	0,004
0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
0,003	0,003	0	0,001	0,002	0,003
0,012	0,010	0,001	0,001	0,007	0,007
0,003	0,004	0,001	0,002	0,002	0,001
0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Sonlandırma					
$v_2 \rightarrow v_1$		0,049		%32	
$v_2 \rightarrow v_2$		0,028		%17	
$v_2 \rightarrow v_3$		0,020		%11	
$v_2 \rightarrow v_4$		0,022		%13	
$v_2 \rightarrow v_5$		0,021		%12	
$v_2 \rightarrow v_6$		0,024		%15	
		0,164		%100	

Tablo 3.12’de görüldüğü gibi Avea – Faturasız hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla Avea – Faturalı, %17 olasılıkla Avea – Faturasız, %11 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %13 olasılıkla Turkcell – Faturasız, %12 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %15 olasılıkla Vodafone – Faturasız hattını tercih edecektir.

Dizi 3: Turkcell – Faturalı’ndan (v_3) diğer operatörlere (v_k) geçiş

Başlangıç değer atama adımında; $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(v_3)$

Yineleme adımında; $\alpha_2(j) = [\sum_{i=1}^7 \alpha_1(j) a_{ij}] b_j(v_k)$

Sonlandırma adımında; $\sum_{i=1}^7 \alpha_2(i)$

$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.13 Turkcell – Faturalı’ndan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları

Başlangıç Değer Atama					
$\alpha_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_3) = (0,143)(0,011)$					0,002
$\alpha_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_3) = (0,143)(0,382)$					0,055
$\alpha_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_3) = (0,143)(0,099)$					0,010
$\alpha_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_3) = (0,143)(0)$					0
$\alpha_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_3) = (0,143)(0,017)$					0,002
$\alpha_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_3) = (0,143)(0,056)$					0,008
$\alpha_1(D) = \pi_D b_D(v_3) = (0,143)(0,286)$					0,031
Yineleme					
$v_3 \rightarrow v_1$	$v_3 \rightarrow v_2$	$v_3 \rightarrow v_3$	$v_3 \rightarrow v_4$	$v_3 \rightarrow v_5$	$v_3 \rightarrow v_6$
0,025	0,007	0,001	0,002	0,002	0,006
0,001	0,001	0,010	0,009	0,004	0,003
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
0,002	0,002	0	0,001	0,001	0,002
0,005	0,004	0,001	0,001	0,002	0,003
0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Sonlandırma					
$v_3 \rightarrow v_1$		0,038		%35	
$v_3 \rightarrow v_2$		0,017		%14	
$v_3 \rightarrow v_3$		0,015		%12	
$v_3 \rightarrow v_4$		0,016		%13	
$v_3 \rightarrow v_5$		0,013		%11	
$v_3 \rightarrow v_6$		0,018		%15	
		0,107		%100	

Tablo 3.13’te görüldüğü gibi Turkcell – Faturalı hat kullanan bir kişi %35 olasılıkla Avea – Faturalı, %14 olasılıkla Avea – Faturasız, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %13 olasılıkla Turkcell – Faturasız, %11 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %15 olasılıkla Vodafone – Faturasız hattını tercih edecektir.

Dizi 4: Turkcell – Faturasız'dan (v_4) diğer operatörlere (v_k) geçiş

Başlangıç değer atama adımında; $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(v_4)$

Yineleme adımında; $\alpha_2(j) = [\sum_{i=1}^7 \alpha_1(j) a_{ij}] b_j(v_k)$

Sonlandırma adımında; $\sum_{i=1}^7 \alpha_2(i)$

$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.14 Turkcell – Faturasız'dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları

Başlangıç Değer Atama					
$\alpha_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_4) = (0,143)(0,045)$					0,006
$\alpha_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_4) = (0,143)(0,317)$					0,045
$\alpha_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_4) = (0,143)(0,268)$					0,038
$\alpha_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_4) = (0,143)(0,102)$					0,015
$\alpha_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_4) = (0,143)(0,053)$					0,004
$\alpha_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_4) = (0,143)(0,167)$					0,024
$\alpha_1(D) = \pi_D b_D(v_4) = (0,143)(0,144)$					0,021
Yineleme					
$v_4 \rightarrow v_1$	$v_4 \rightarrow v_2$	$v_4 \rightarrow v_3$	$v_4 \rightarrow v_4$	$v_4 \rightarrow v_5$	$v_4 \rightarrow v_6$
0,032	0,009	0,001	0,003	0,003	0,008
0,002	0,001	0,015	0,011	0,006	0,004
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
0,003	0,002	0	0,001	0,002	0,003
0,008	0,007	0,001	0,001	0,003	0,005
0,004	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Sonlandırma					
$v_4 \rightarrow v_1$		0,051		%34	
$v_4 \rightarrow v_2$		0,022		%14	
$v_4 \rightarrow v_3$		0,020		%12	
$v_4 \rightarrow v_4$		0,021		%13	
$v_4 \rightarrow v_5$		0,018		%11	
$v_4 \rightarrow v_6$		0,023		%16	
		0,155		%100	

Tablo 3.14'te görüldüğü gibi Turkcell – Faturasız hat kullanan bir kişi %34 olasılıkla Avea – Faturalı, %14 olasılıkla Avea- Faturasız, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %13 olasılıkla Turkcell – Faturasız, %11 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %16 olasılıkla Vodafone – Faturasız hattını tercih edecektir.

Dizi 5: Vodafone – Faturalı’ dan (v_5) diğer operatörlere (v_k) geçiş

Başlangıç değer atama adımında; $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(v_5)$

Yineleme adımında; $\alpha_2(j) = [\sum_{i=1}^7 \alpha_1(j) a_{ij}] b_j(v_k)$

Sonlandırma adımında; $\sum_{i=1}^7 \alpha_2(i)$

$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.15 Vodafone – Faturalı’ dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları

Başlangıç Değer Atama					
$\alpha_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_5) = (0,143)(0,049)$					0,007
$\alpha_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_5) = (0,143)(0,138)$					0,019
$\alpha_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_5) = (0,143)(0,141)$					0,021
$\alpha_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_5) = (0,143)(0,184)$					0,026
$\alpha_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_5) = (0,143)(0,140)$					0,020
$\alpha_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_5) = (0,143)(0,222)$					0,032
$\alpha_1(D) = \pi_D b_D(v_5) = (0,143)(0,214)$					0,031
Yineleme					
$v_5 \rightarrow v_1$	$v_5 \rightarrow v_2$	$v_5 \rightarrow v_3$	$v_5 \rightarrow v_4$	$v_5 \rightarrow v_5$	$v_5 \rightarrow v_6$
0,028	0,007	0,001	0,002	0,002	0,007
0,002	0,001	0,014	0,012	0,006	0,004
0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
0,003	0,003	0	0,001	0,003	0,003
0,012	0,009	0,001	0,001	0,004	0,007
0,005	0,002	0,001	0,003	0,004	0,002
0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Sonlandırma					
$v_5 \rightarrow v_1$		0,052		%32	
$v_5 \rightarrow v_2$		0,024		%15	
$v_5 \rightarrow v_3$		0,020		%11	
$v_5 \rightarrow v_4$		0,022		%14	
$v_5 \rightarrow v_5$		0,021		%12	
$v_5 \rightarrow v_6$		0,025		%16	
		0,154		%100	

Tablo 3.15’te görüldüğü gibi Vodafone – Faturalı hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla Avea – Faturalı, %15 olasılıkla Avea – Faturasız, %11 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %14 olasılıkla Turkcell – Faturasız, %12 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %16 olasılıkla Vodafone – Faturasız hattını tercih edecektir.

Dizi 6: Vodafone – Faturasız’dan (v_6) diğer operatörlere (v_k) geçiş

Başlangıç değer atama adımında; $\alpha_1(i) = \pi_i b_i(v_6)$

Yineleme adımında; $\alpha_2(j) = [\sum_{i=1}^7 \alpha_1(j) a_{ij}] b_j(v_k)$

Sonlandırma adımında; $\sum_{i=1}^7 \alpha_2(i)$

$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.16 Vodafone – Faturasız’dan Diğer Operatörlere Geçiş Olasılıkları

Başlangıç Değer Atama					
$\alpha_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_6) = (0,143)(0,146)$					0,021
$\alpha_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_6) = (0,143)(0,106)$					0,015
$\alpha_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_6) = (0,143)(0,197)$					0,028
$\alpha_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_6) = (0,143)(0,265)$					0,038
$\alpha_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_6) = (0,143)(0,237)$					0,030
$\alpha_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_6) = (0,143)(0,111)$					0,016
$\alpha_1(D) = \pi_D b_D(v_6) = (0,143)(0,071)$					0,010
Yineleme					
$v_6 \rightarrow v_1$	$v_6 \rightarrow v_2$	$v_6 \rightarrow v_3$	$v_6 \rightarrow v_4$	$v_6 \rightarrow v_5$	$v_6 \rightarrow v_6$
0,030	0,008	0,001	0,002	0,003	0,008
0,002	0,001	0,016	0,015	0,006	0,005
0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
0,003	0,003	0	0,001	0,002	0,004
0,011	0,009	0,001	0,001	0,004	0,007
0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Sonlandırma					
$v_6 \rightarrow v_1$		0,051		%32	
$v_6 \rightarrow v_2$		0,024		%15	
$v_6 \rightarrow v_3$		0,022		%12	
$v_6 \rightarrow v_4$		0,023		%14	
$v_6 \rightarrow v_5$		0,019		%11	
$v_6 \rightarrow v_6$		0,027		%16	
		0,166		%100	

İleri-Yön algoritmasının uygulandığı son tablo olan Tablo 3.16’da, Vodafone – Faturasız hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla Avea – Faturalı, %15 olasılıkla Avea – Faturasız, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %14 olasılıkla Turkcell – Faturasız, %11 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %16 olasılıkla da yine Vodafone – Faturasız hattını tercih edecektir.

Yukarıdaki tablolarda İleri-Yön algoritması adımları takip edilerek modelin birinci problemi çözülmüştür. Bu çözüm ile operatörler arasındaki geçiş olasılıkları ya da başka bir ifade ile bir sonraki tercih edilecek olan operatörün tercih edilme olasılığı tahmin edilmiştir.

Tercih edilecek olan bu operatörlerin tercih edilme sebebi ise benzer şekilde 6 farklı dizi altında bundan sonra gösterilecek olan tablolarla ifade edilmiştir. Sistemin ikinci ve son anındaki operatörün tercih sebebi araştırıldığından yol geri izlemesine gerek duyulmamıştır.

Dizi 1: Avea – Faturalı'dan (v_1) diğer operatörlere (v_k) geçişlerin nedenleri

$$\text{Başlangıç; } \delta_1(i) = \pi_i b_i(v_1); \quad \psi_1(i) = 0$$

$$\delta_1(D_i) = (0,143)b_{D_i}(v_1); \quad \psi_1(D_i) = 0$$

$$\text{Yineleme; } \delta_2(j) = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i)a_{ij}] b_j(v_k); \quad \psi_2(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i)a_{ij}]$$

$$\delta_2(D_1) = \max[\delta_1(D_1)a_{11}, \delta_1(D_2)a_{21}, \delta_1(D_3)a_{31}, \delta_1(D_4)a_{41}, \delta_1(D_5)a_{51},$$

$$\delta_1(D_6)a_{61}, \delta_1(D)a_{71}] b_{D_1}(v_1)$$

$$= \max[(0,084)(0,419), (0,006)(0,455), (0,032)(0,437),$$

$$(0,035)(0,265), (0,049)(0,263), (0,048)(0,111),$$

$$(0,010)(0,358)] (0,588)$$

$$= 0,021$$

$$\psi_2(D_1) = \operatorname{argmax}[\delta_1(D_1)a_{11}, \delta_1(D_2)a_{21}, \delta_1(D_3)a_{31}, \delta_1(D_4)a_{41}, \delta_1(D_5)a_{51},$$

$$\delta_1(D_6)a_{61}, \delta_1(D)a_{71}] b_{D_1}(v_1)$$

$$= D_1$$

Yineleme adımındaki $O = (v_1, v_1)$ gözlem dizisi için yapılan yukarıdaki işlemler $\delta_1(D_2), \delta_1(D_3), \delta_1(D_4), \dots, \delta_1(D), \psi_2(D_2), \psi_2(D_3), \dots, \psi_2(D)$ için ve diğer gözlem dizileri için de uygulanmıştır. Buna göre Tablo 3.16'da ve diğer tablolarda yer alan yineleme adımındaki değerler elde edilmiştir.

$$\text{Sonlandırma; } P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]; \quad q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$$

$$1 \leq i \leq 7; \quad 1 \leq j \leq 7; \quad 1 \leq k \leq 6$$

Gözlem dizilerinde iki adet gözlem olduğundan yineleme adımının bir kez uygulanmasıyla sonlandırma adımını ulaşılmıştır. Dolayısıyla sonlandırma adımında yapılan işlemler, sadece bir kez uygulanabilen yineleme adımındaki işlemlerle aynıdır.

Tablo 3.17 Avea – Faturalı’dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri

Başlangıç					
$\delta_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_1) = (0,143)(0,588)$					0,084
$\delta_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_1) = (0,143)(0,041)$					0,006
$\delta_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_1) = (0,143)(0,225)$					0,032
$\delta_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_1) = (0,143)(0,245)$					0,035
$\delta_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_1) = (0,143)(0,360)$					0,049
$\delta_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_1) = (0,143)(0,333)$					0,048
$\delta_1(D) = \pi_D b_D(v_1) = (0,143)(0,071)$					0,010
Yineleme					
$v_1 \rightarrow v_1$	$v_1 \rightarrow v_2$	$v_1 \rightarrow v_3$	$v_1 \rightarrow v_4$	$v_1 \rightarrow v_5$	$v_1 \rightarrow v_6$
0,021*	0,006*	0,001	0,002	0,002	0,005*
$\psi_2(D_1) = D_1$	$\psi_2(D_1) = D_1$	$\psi_2(D_1) = D_1$	$\psi_2(D_1) = D_1$	$\psi_2(D_1) = D_1$	$\psi_2(D_1) = D_1$
0,001	0,001	0,013*	0,012*	0,005*	0,004
$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$
0,002	0,001	0	0,001	0,001	0,002
$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$		$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$
0,006	0,005	0,001	0,002	0,002	0,004
$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_6$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$
0,005	0,002	0,001	0,003	0,004	0,002
$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D) = D_1$	$\psi_2(D) = D_1$	$\psi_2(D) = D_1$	$\psi_2(D) = D_1$	$\psi_2(D) = D_3$	$\psi_2(D) = D_1$
Sonlandırma					
$v_1 \rightarrow v_1$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,021; q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_1 \rightarrow v_2$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,006; q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_1 \rightarrow v_3$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,013; q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_1 \rightarrow v_4$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,012; q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_1 \rightarrow v_5$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,005; q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_1 \rightarrow v_6$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,005; q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				

Tablo 3.17’ye göre Avea – Faturalı hat kullanan bir kişi Avea – Faturalı, Avea – Faturasız ve Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu”, Turkcell – Faturalı, Turkcell – Faturasız ve Vodafone – Faturalı hatlarını ise “hizmet kalitesi” nedeniyle tercih edecektir.

Dizi 2: Avea – Faturasız’dan (v_2) diğer operatörlere (v_k) geçişlerin nedenleri

Başlangıç; $\delta_1(i) = \pi_i b_i(v_2)$

Yineleme; $\delta_2(j) = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}] b_j(v_k)$; $\psi_2(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}]$

Sonlandırma; $P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$

$1 \leq i \leq 7$; $1 \leq j \leq 7$; $1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.18 Avea – Faturasız’dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri

Başlangıç					
$\delta_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_2) = (0,143)(0,161)$					0,023
$\delta_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_2) = (0,143)(0,016)$					0,002
$\delta_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_2) = (0,143)(0,070)$					0,010
$\delta_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_2) = (0,143)(0,204)$					0,029
$\delta_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_2) = (0,143)(0,193)$					0,041
$\delta_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_2) = (0,143)(0,111)$					0,016
$\delta_1(D) = \pi_D b_D(v_2) = (0,143)(0,214)$					0,031
Yineleme					
$v_2 \rightarrow v_1$	$v_2 \rightarrow v_2$	$v_2 \rightarrow v_3$	$v_2 \rightarrow v_4$	$v_2 \rightarrow v_5$	$v_2 \rightarrow v_6$
0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$
0,001	0,001	0,003*	0,003*	0,001	0,001
$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_1$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$
0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$		$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$
0,004	0,0019*	0,001	0,001	0,0014*	0,002*
$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$
0,010*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_6) = D$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$
Sonlandırma					
$v_2 \rightarrow v_1$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,010$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_6$				
$v_2 \rightarrow v_2$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,0019$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_5$				
$v_2 \rightarrow v_3$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_2 \rightarrow v_4$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_2 \rightarrow v_5$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,0014$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_5$				
$v_2 \rightarrow v_6$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_5$				

Tablo 3.18’e göre Avea – Faturasız hat kullanan bir kişi Avea – Faturalı hattını “hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması”, Avea – Faturasız, Vodafone – Faturalı ve Vodafone – Faturasız hatlarını “kampanyaları”, Turkcell – Faturalı ve Turkcell – Faturasız hatlarını ise “hizmet kalitesi” nedeniyle tercih edecektir.

Dizi 3: Turkcell – Faturalı’dan (v_3) diğer operatörlere (v_k) geçişlerin nedenleri

Başlangıç; $\delta_1(i) = \pi_i b_i(v_3)$

Yineleme; $\delta_2(j) = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}] b_j(v_k)$; $\psi_2(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}]$

Sonlandırma; $P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$

$1 \leq i \leq 7$; $1 \leq j \leq 7$; $1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.19 Turkcell – Faturalı’dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri

Başlangıç					
$\delta_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_3) = (0,143)(0,011)$					0,002
$\delta_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_3) = (0,143)(0,382)$					0,055
$\delta_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_3) = (0,143)(0,099)$					0,010
$\delta_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_3) = (0,143)(0)$					0
$\delta_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_3) = (0,143)(0,017)$					0,002
$\delta_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_3) = (0,143)(0,056)$					0,008
$\delta_1(D) = \pi_D b_D(v_3) = (0,143)(0,286)$					0,031
Yineleme					
$v_3 \rightarrow v_1$	$v_3 \rightarrow v_2$	$v_3 \rightarrow v_3$	$v_3 \rightarrow v_4$	$v_3 \rightarrow v_5$	$v_3 \rightarrow v_6$
0,014*	0,004*	0,001	0,001	0,001	0,004*
$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$
0,001	0,001	0,007*	0,006*	0,003*	0,002
$\psi_2(D_2) = D_1$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$
0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_4) = D_2$	$\psi_2(D_4) = D_2$		$\psi_2(D_4) = D_2$	$\psi_2(D_4) = D_2$	$\psi_2(D_4) = D_2$
0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
$\psi_2(D_5) = D$	$\psi_2(D_5) = D$	$\psi_2(D_5) = D$	$\psi_2(D_5) = D$	$\psi_2(D_5) = D$	$\psi_2(D_5) = D$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_6) = D$	$\psi_2(D_6) = D$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D$	$\psi_2(D_6) = D$	$\psi_2(D_6) = D$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$
Sonlandırma					
$v_3 \rightarrow v_1$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,014$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_3 \rightarrow v_2$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,004$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_3 \rightarrow v_3$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,007$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_3 \rightarrow v_4$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,006$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_3 \rightarrow v_5$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_3 \rightarrow v_6$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,004$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				

Tablo 3.19’a göre Turkcell – Faturalı hat kullanan bir kişi Avea – Faturalı, Avea – Faturasız ve Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu”, Turkcell – Faturalı, Turkcell – Faturasız ve Vodafone – Faturalı hatlarını ise “hizmet kalitesi” nedeniyle tercih edecektir.

Dizi 4: Turkcell – Faturasız’dan (v_4) diğer operatörlere (v_k) geçişlerin nedenleri

Başlangıç; $\delta_1(i) = \pi_i b_i(v_4)$

Yineleme; $\delta_2(j) = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}] b_j(v_k)$; $\psi_2(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}]$

Sonlandırma; $P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$

$1 \leq i \leq 7$; $1 \leq j \leq 7$; $1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.20 Turkcell – Faturasız’dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri

Başlangıç					
$\delta_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_4) = (0,143)(0,045)$					0,006
$\delta_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_4) = (0,143)(0,317)$					0,045
$\delta_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_4) = (0,143)(0,268)$					0,038
$\delta_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_4) = (0,143)(0,102)$					0,015
$\delta_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_4) = (0,143)(0,053)$					0,004
$\delta_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_4) = (0,143)(0,167)$					0,024
$\delta_1(D) = \pi_D b_D(v_4) = (0,143)(0,144)$					0,021
Yineleme					
$v_4 \rightarrow v_1$	$v_4 \rightarrow v_2$	$v_4 \rightarrow v_3$	$v_4 \rightarrow v_4$	$v_4 \rightarrow v_5$	$v_4 \rightarrow v_6$
0,012*	0,003*	0,001	0,001	0,001	0,003*
$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D_2$
0,001	0,001	0,006*	0,005*	0,002*	0,002
$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$	$\psi_2(D_2) = D_2$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_3) = D_3$	$\psi_2(D_3) = D_3$	$\psi_2(D_3) = D_3$	$\psi_2(D_3) = D_3$	$\psi_2(D_3) = D_3$	$\psi_2(D_3) = D_3$
0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_4) = D_2$	$\psi_2(D_4) = D_3$		$\psi_2(D_4) = D_2$	$\psi_2(D_4) = D_2$	$\psi_2(D_4) = D_2$
0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
$\psi_2(D_5) = D_3$	$\psi_2(D_5) = D_3$	$\psi_2(D_5) = D_3$	$\psi_2(D_5) = D_3$	$\psi_2(D_5) = D_3$	$\psi_2(D_5) = D_3$
0,003	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001
$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D) = D_3$	$\psi_2(D) = D_3$	$\psi_2(D) = D_3$	$\psi_2(D) = D_3$	$\psi_2(D) = D_3$	$\psi_2(D) = D_3$
Sonlandırma					
$v_4 \rightarrow v_1$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,012$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_4 \rightarrow v_2$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_4 \rightarrow v_3$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,006$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_4 \rightarrow v_4$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,005$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_4 \rightarrow v_5$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_4 \rightarrow v_6$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				

Tablo 3.20’ye göre Turkcell – Faturasız hat kullanan bir kişi Avea – Faturalı, Avea – Faturasız ve Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu”, Turkcell – Faturalı, Turkcell – Faturasız ve Vodafone – Faturalı hatlarını ise “hizmet kalitesi” nedeniyle tercih edecektir.

Dizi 5: Vodafone – Faturalı’ndan (v_5) diğer operatörlere (v_k) geçişlerin nedenleri

Başlangıç; $\delta_1(i) = \pi_i b_i(v_5)$

Yineleme; $\delta_2(j) = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}] b_j(v_k)$; $\psi_2(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}]$

Sonlandırma; $P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$

$1 \leq i \leq 7$; $1 \leq j \leq 7$; $1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.21 Vodafone – Faturalı’ndan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri

Başlangıç					
$\delta_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_5) = (0,143)(0,049)$					0,007
$\delta_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_5) = (0,143)(0,138)$					0,019
$\delta_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_5) = (0,143)(0,141)$					0,021
$\delta_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_5) = (0,143)(0,184)$					0,026
$\delta_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_5) = (0,143)(0,140)$					0,020
$\delta_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_5) = (0,143)(0,222)$					0,032
$\delta_1(D) = \pi_D b_D(v_5) = (0,143)(0,214)$					0,031
Yineleme					
$v_5 \rightarrow v_1$	$v_5 \rightarrow v_2$	$v_5 \rightarrow v_3$	$v_5 \rightarrow v_4$	$v_5 \rightarrow v_5$	$v_5 \rightarrow v_6$
0,006*	0,002*	0,001	0,001	0,001	0,002*
$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D_2$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$	$\psi_2(D_1) = D$
0,001	0,001	0,003*	0,003*	0,001	0,001
$\psi_2(D_2) = D_6$	$\psi_2(D_2) = D_6$	$\psi_2(D_2) = D_6$	$\psi_2(D_2) = D_6$	$\psi_2(D_2) = D_6$	$\psi_2(D_2) = D_6$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$	$\psi_2(D_3) = D$
0,002	0,001	0	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$		$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$
0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$
0,004	0,001	0,001	0,002	0,002*	0,001
$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$	$\psi_2(D) = D$
Sonlandırma					
$v_5 \rightarrow v_1$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,006$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_5 \rightarrow v_2$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_5 \rightarrow v_3$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_5 \rightarrow v_4$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_5 \rightarrow v_5$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_6$				
$v_5 \rightarrow v_6$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				

Tablo 3.21’e göre Vodafone – Faturalı hat kullanan bir kişi Avea – Faturalı, Avea – Faturasız ve Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu”, Turkcell – Faturalı ve Turkcell – Faturasız hatlarını “hizmet kalitesi”, Vodafone – Faturalı hattını ise “hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması” nedeni ile tercih edecektir.

Dizi 6: Vodafone – Faturasız’dan (v_6) diğer operatörlere (v_k) geçişlerin nedenleri

Başlangıç; $\delta_1(i) = \pi_i b_i(v_6)$

Yineleme; $\delta_2(j) = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}] b_j(v_k)$; $\psi_2(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_1(i) a_{ij}]$

Sonlandırma; $P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)]$

$1 \leq i \leq 7$; $1 \leq j \leq 7$; $1 \leq k \leq 6$

Tablo 3.22 Vodafone – Faturasız’dan Diğer Operatörlere Geçiş Nedenleri

Başlangıç					
$\delta_1(D_1) = \pi_{D_1} b_{D_1}(v_6) = (0,143)(0,146)$					0,021
$\delta_1(D_2) = \pi_{D_2} b_{D_2}(v_6) = (0,143)(0,106)$					0,015
$\delta_1(D_3) = \pi_{D_3} b_{D_3}(v_6) = (0,143)(0,197)$					0,028
$\delta_1(D_4) = \pi_{D_4} b_{D_4}(v_6) = (0,143)(0,265)$					0,038
$\delta_1(D_5) = \pi_{D_5} b_{D_5}(v_6) = (0,143)(0,237)$					0,030
$\delta_1(D_6) = \pi_{D_6} b_{D_6}(v_6) = (0,143)(0,111)$					0,016
$\delta_1(D) = \pi_D b_D(v_6) = (0,143)(0,071)$					0,010
Yineleme					
$v_6 \rightarrow v_1$	$v_6 \rightarrow v_2$	$v_6 \rightarrow v_3$	$v_6 \rightarrow v_4$	$v_6 \rightarrow v_5$	$v_6 \rightarrow v_6$
0,007*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
$\psi_2(D_1) = D_3$	$\psi_2(D_1) = D_3$	$\psi_2(D_1) = D_3$	$\psi_2(D_1) = D_3$	$\psi_2(D_1) = D_3$	$\psi_2(D_1) = D_3$
0,001	0,001	0,004*	0,003*	0,001	0,001
$\psi_2(D_2) = D_5$	$\psi_2(D_2) = D_5$	$\psi_2(D_2) = D_5$	$\psi_2(D_2) = D_5$	$\psi_2(D_2) = D_5$	$\psi_2(D_2) = D_5$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$	$\psi_2(D_3) = D_4$
0,002	0,001	0	0,001	0,001	0,002
$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$		$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$	$\psi_2(D_4) = D_4$
0,005	0,002*	0,001	0,001	0,002*	0,003*
$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$	$\psi_2(D_5) = D_5$
0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D$	$\psi_2(D_6) = D_6$	$\psi_2(D_6) = D_6$
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$\psi_2(D) = D_4$	$\psi_2(D) = D_4$	$\psi_2(D) = D_4$	$\psi_2(D) = D_4$	$\psi_2(D) = D_4$	$\psi_2(D) = D_4$
Sonlandırma					
$v_6 \rightarrow v_1$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,007$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_1$				
$v_6 \rightarrow v_2$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_5$				
$v_6 \rightarrow v_3$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,004$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_6 \rightarrow v_4$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_2$				
$v_6 \rightarrow v_5$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,002$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_5$				
$v_6 \rightarrow v_6$	$P^* = \max_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = 0,003$; $q_2^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq 7} [\delta_2(i)] = D_5$				

Tablo 3.22’ye göre Vodafone – Faturasız hat kullanan bir kişi Avea – Faturalı hattını “fiyat uygunluğu”, Avea – Faturasız, Vodafone – Faturalı ve Vodafone – Faturasız hatlarını “kampanyaları”, Turkcell – Faturalı ve Turkcell – Faturasız hatlarını ise “hizmet kalitesi” nedeni ile tercih edecektir.

3.4.3 Analiz Sonuç Tablosu ve Yorumları

Model parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen tahminde, birinci problemin çözümü için İleri-Yön algoritmasından, ikinci problemin çözümü için ise Viterbi algoritmasından faydalanılmıştır. Tahmin çıktıları ayrıntılı bir biçimde bir önceki bölümde verilmiştir. Aşağıdaki tabloda gerçekleştirilen analizin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 3.23 Operatörler Arası Geçiş Olasılıkları ve Tercih Nedenleri

	Avea- Faturalı	Avea- Faturasız	Turkcell- Faturalı	Turkcell- Faturasız	Vodafone- Faturalı	Vodafone- Faturasız
Avea- Faturalı	%32 (D_1)	%13 (D_1)	%12 (D_2)	%14 (D_2)	%14 (D_2)	%15 (D_1)
Avea- Faturasız	%32 (D_6)	%17 (D_5)	%11 (D_2)	%13 (D_2)	%12 (D_5)	%15 (D_5)
Turkcell- Faturalı	%35 (D_1)	%14 (D_1)	%12 (D_2)	%13 (D_2)	%11 (D_2)	%15 (D_1)
Turkcell- Faturasız	%34 (D_1)	%14 (D_1)	%12 (D_2)	%13 (D_2)	%11 (D_2)	%16 (D_1)
Vodafone- Faturalı	%32 (D_1)	%15 (D_1)	%11 (D_2)	%14 (D_2)	%12 (D_6)	%16 (D_1)
Vodafone- Faturasız	%32 (D_1)	%15 (D_5)	%12 (D_2)	%14 (D_2)	%11 (D_5)	%16 (D_5)

Analiz sonuç tablosunda tercih nedenleri, geçiş olasılıkları ile birlikte gösterilmiştir. Tablo 3.23'e göre, şu anda Avea – Faturalı hat kullanan bir kişinin, faturalı ve faturasız olmak üzere tüm operatörlere geçiş olasılıkları ve tercih nedenleri incelendiğinde, %32 olasılıkla Avea – Faturalı, %13 olasılıkla Avea – Faturasız, %15 olasılıkla Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu”, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %14 olasılıkla Turkcell – Faturasız ve %14 olasılıkla da Vodafone – Faturalı hatlarını “hizmet kalitesi” nedeni ile tercih edecektir.

Avea – Faturasız hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla ve “hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması” nedeni ile Avea – Faturalı hattını, %17 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %12 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %15 olasılıkla Vodafone – Faturasız hatlarını “kampanyaları” nedeni ile, %11 olasılıkla Turkcell – Faturalı ve %13 olasılıkla da Turkcell Faturasız hatlarını “hizmet kalitesi” nedeni ile tercih edecektir.

Turkcell – Faturalı hat kullanan bir kişi %35 olasılıkla Avea – Faturalı, %14 olasılıkla Avea – Faturasız ve %15 olasılıkla Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu” nedeni ile, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %13 olasılıkla Turkcell – Faturasız ve %11 olasılıkla Vodafone – Faturalı hatlarını da “hizmet kalitesi” nedeni ile tercih edecektir.

Turkcell – Faturalı hat kullanan bir kişi %34 olasılıkla Avea – Faturalı, %14 olasılıkla Avea – Faturasız ve %16 olasılıkla Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu” nedeni ile, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı, %13 olasılıkla Turkcell – Faturasız ve %11 olasılıkla Vodafone – Faturalı hatlarını da “hizmet kalitesi” nedeni ile tercih edecektir.

Vodafone – Faturalı hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla Avea – Faturalı, %15 olasılıkla Avea – Faturasız ve %16 olasılıkla Vodafone – Faturasız hatlarını “fiyat uygunluğu”, %11 olasılıkla Turkcell – Faturalı ve %14 olasılıkla Turkcell – Faturasız hatlarını “hizmet kalitesi”, %12 olasılıkla da Vodafone – Faturasız hattını “hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması” nedeni ile tercih edecektir.

Vodafone – Faturasız hat kullanan bir kişi %32 olasılıkla Avea – Faturalı, %15 olasılıkla Avea – Faturalı, %11 olasılıkla Vodafone – Faturalı ve %16 olasılıkla Vodafone – Faturasız hatlarını “kampanyaları”, %12 olasılıkla Turkcell – Faturalı ve %14 olasılıkla ise Turkcell – Faturasız hatlarını “hizmet kalitesi” nedeni ile tercih edecektir.

Genel olarak analiz sonuç tabloları incelendiğinde tüm operatörlerden sırasıyla Avea operatörüne yaklaşık %47 olasılıkla “fiyat uygunluğu, kampanyaları, hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması”, Vodafone operatörüne yaklaşık %28 olasılıkla “fiyat uygunluğu, hizmet kalitesi, kampanyaları, hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması” ve son olarak Turkcell operatörüne yaklaşık %25 olasılıkla “hizmet kalitesi” nedenlerinden dolayı geçiş yapacağı tahmin edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, üniversite öğrencileri tarafından yapılan değerlendirmeler gizli Markov modeli ile incelenerek öğrencilerin GSM operatörü tercih nedenleri ve GSM operatörlerini değiştirmelerinin altında yatan nedenler araştırılmıştır. Bu amaçla, Akdeniz Üniversitesi öğrencilerinden tesadüfi örnekleme ile seçilen 656 öğrenci çalışmanın örneklemini oluşturmuştur. Veri toplama aracı olarak kullanılan ankette, katılımcılara demografik bilgilerinin yanında şu anda kullandıkları operatörler ve bu operatörlerin tercih nedenleri ile bir sonraki operatör tercihlerinin ne olacağı ve nedenleri şeklinde sorular yöneltilmiş ve elde edilen verilerle olasılık matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisler, aynı zamanda gizli durumlar olarak ifade edilen ve tercih nedenlerini temsil eden durum geçiş olasılıkları matrisi ile operatör tercihlerinin gözlemlendiği gözlem olasılık matrisleridir. Gözlemleri oluşturan her bir operatör, belirli bir olasılıkla ve bilinmeyen bir gizli durum sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmada bu olasılık değerleri ile gözlemleri meydana getiren gizli durumlar tahmin edilmiştir.

Başlangıç durum olasılıkları vektörü, geçiş olasılıkları matrisi ve gözlem olasılıkları matrisindeki değerler, gizli Markov modelinin ilk iki probleminin çözümü için geliştirilen İleri-Yön ve Viterbi algoritmalarında kullanılarak iteratif döngüler ile çözümlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçların, günümüzdeki operatör kullanıcılarının tercih nedenleri ile örtüştüğü gözlemlenmiştir.

Birinci ve ikinci problemlerin çözümleri beraber incelendiğinde, Avea – Faturalı operatörünü kullanan bir abonenin en yüksek olasılıkla (%32) yine Avea – Faturalı hattı tercih edeceği ve bu tercihin altında “fiyat uygunluğu” gizli durumunun bulunduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Avea – Faturasız hat kullanan bir abonenin en yüksek olasılıkla (%32) Avea – Faturalı hattını tercih edeceği, bunun nedeninin ise “hat alımı/numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması” olduğu görülmüştür. Genel olarak bakıldığında, Avea operatörünü kullanan bir mobil abonenin, yüksek olasılıkla (%47) operatörüne sadık kalacağı ve bunun nedeninin çoğunlukla “fiyat uygunluğu” olacağı tahmin edilmiştir.

Turkcell – Faturalı operatörü incelendiğinde, kullanıcıların en yüksek olasılıkla (%35) ve “fiyat uygunluğu” nedeniyle, Avea – Faturalı operatörüne geçiş yapacağı gözlemlenmiştir. Turkcell – Faturasız kullanıcılarının, en yüksek olasılıkla (%35) yine Avea – Faturalı hattına “fiyat uygunluğu” nedeniyle geçecekleri gözlemlenmiştir. Turkcell operatörü kullanıcılarının bir sonraki tercihleri incelendiğinde, %48,5 olasılıkla ve açık bir şekilde “fiyat uygunluğu” nedeniyle Avea operatörüne geçiş yapacakları tahmin edilmiştir. Avea ve Turkcell operatörlerinden yapılan geçişler birlikte değerlendirildiğinde, yüksek olasılık değerleri ve “fiyat uygunluğu” nedeni ile, Avea operatörünü kullanan mobil abonelerin operatörlerine sadık

kalacağı, Turkcell operatörünü kullanan mobil abonelerin ise Avea operatörüne geçiş yapacakları tahmin edilmiştir.

Vodafone operatöründen yapılan geçişlerden elde edilen tahminlere göre, Vodafone – Faturalı ve Vodafone – Faturasız hattını kullanan bir mobil kullanıcının en yüksek olasılıkla (%32) ve “fiyat uygunluğu” nedeni ile Avea – Faturalı hattını tercih edeceği görülmüştür. Diğer operatörlerde olduğu gibi Vodafone kullanıcısının da, %47 olasılık değeri ve “fiyat uygunluğu” nedeniyle Avea operatörüne geçiş yapacağı gözlemlenmiştir.

2008 yılında mobil numara taşınabilirliğinin, 2009 yılında da 3G mobil sistemlerinin kullanıma açılmasıyla birlikte mobil abone sayıları ve mobil penetrasyon oranları önemli derecede artış göstermiştir. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu’nun 2015 yılı birinci çeyrek raporuna göre 72 milyon mobil abonenin 59 milyondan fazlasını 3G aboneleri oluşturmaktadır. Aynı zamanda mobil cepten internet kullananların sayısı 32 milyonun üzerindedir. 3G ve mobil cepten internet kullacıları sayısının, 2014-2015 yılları arasında 8 milyon arttığı görülmektedir. 4G sistemlerine geçilmesi durumunda hem mobil kullanıcıları hem de mobil internet kullanıcıları sayısında daha fazla artış görüleceği beklenmektedir.

2015 yılının birinci çeyreğindeki mobil işletmeci bazında toplam abone sayıları incelendiğinde Turkcell’in 34,3 milyon, Vodafone’un 21,4 milyon ve Avea’nın 16,7 milyon aboneye sahip olduğu görülmektedir. Ancak son bir yıldaki abone sayılarındaki trend dikkate alındığında Turkcell’in azalan, Vodafone ve Avea’nın artan trende sahip olduğu görülmektedir. Numara taşınabilirliği kapsamında mobil işletmecilerin net gelen abone sayıları bu durumu açıklamaktadır. Avea en çok abone kazanan operatör olurken, onu Vodafone izlemektedir. Turkcell ise son bir yıl içerisinde her çeyrek boyunca müşteri kaybetmektedir. Ancak abone kayıp oranları incelendiğinde sırasıyla en çok Vodafone’un, sonra Avea’nın ve son olarak Turkcell’in müşteri kaybettiği görülmektedir.

Operatörlerin abone sayılarındaki artış trendine göre, kazanım ve kayıplar beraber değerlendirildiğinde Avea’nın abone sayısının hızlı bir şekilde arttığı ve Vodafone’un müşteri sayısının Avea’ya göre daha az arttığı gözlemlenmektedir. Turkcell’in abone sayısında ise belirli bir azalma meydana gelmektedir.

Çalışmanın sonucunda, seçilen örneklemdaki mobil kullanıcıların eğilimlerinin benzer şekilde olduğu görülmüştür. Bir sonraki tercih edilen operatör olasılığının en çok Avea olarak çıkması bu durumu kanıtlamaktadır. Analiz sonuçlarından çıkarılabilecek diğer sonuç Avea’dan sonra tercih edilecek operatörün Vodafone olduğudur. Turkcell’in, bir sonraki tercih edilecek operatörler arasında son sırada yer aldığı görülmüştür.

Gizli Markov modelinin ikinci problemi kullanılarak yapılan analizlerde, Avea’nın en çok tercih edilmesinin altında yatan nedenin fiyat uygunluğu olduğu tespit edilmiştir. Aynı

zamanda BTK verilerine göre abone başına aylık gelir'in (ARPU) 21,8 TL ile en düşük yine Avea operatörüne ait olduğu görülmektedir.

Gelecekte, operatörlerin uygulayacağı kampanyalar, fiyatlandırma stratejileri ve hizmet kalitesi, uzun dönem pazar paylarının değişmesinde etkili olacaktır. 4G teknolojisine geçiş sürecinde pazar paylarındaki trendin ve operatör tercih nedenlerinin değişmeyeceği düşünülmektedir. Türkiye'nin 4G mobil teknolojisine kavuşmasıyla birlikte mobil kullanıcıların daha yüksek hızlarda veri iletimine sahip olacakları ve konuşmanın yerini mobil cepten internetin alması beklenmektedir. Dolayısıyla operatörlerin bu aşamadan sonra mobil cepten internet hizmeti fiyatlarında radikal değişikliklere gitmesi sürpriz olmayacaktır.

Türkiye'nin aylık ortalama kişi başına konuşma süresi bakımından Avrupa'da lider konumda bulunmasına rağmen, operatörlerin mobil cepten internet gelirleri giderek yükselmektedir. Günümüzde yaygın olan "daha ucuza konuşma" algısının 2015 yılı içerisinde yerini "daha ucuza ve kaliteli mobil cepten veri kullanımı" 'na bırakması beklenmektedir. Dolayısıyla, 4G mobil sistemlerine geçildikten sonra her bir operatörün aynı şartlarda ve kalitede mobil veri hizmeti sağlayacağı düşünüldüğünde, mobil abonelerin operatörlerde araması beklenen en önemli kriterin daha ucuz mobil veri hizmetinin sağlanması olacağı tahmin edilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ele alınan GSM operatörü tercihleri ile ilgili literatür incelendiğinde genellikle istatistiksel analizlerin veya çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada tercih nedenlerinin gizli Markov modelleri ile de incelenebileceği ve ayrıntılı analizlere imkan tanıdığı gösterilmektedir. Yöntemin, özellikle işletmeler için bir karar destek aracı olabileceği görülmektedir. Mevcut yöntem farklı sektörlerde kullanılabileceği gibi aynı sektör içindeki farklı tüketici gruplarına da uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Agun, H. V. (2008). *Doğal Dil İşlemede Çizgesel ve Olasılık Tabanlı Bir Otomatik Öğrenme Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Aktay, E. (2010). *Bilişim Etiği ve Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM) Sektöründe Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Akyurt, İ. Z. (2009). *Ürün Stok Politikalarının Olasılıklı Talep Yapısı Altında Markov Karar Süreci ile Analizi*. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Alp, S. ve Öz, E. (2009). "Markov Zinciri Yöntemi ile Taşınabilir Bilgisayar Tercihlerinin Analizi". *Akademik İncelemeler Dergisi*, 4(2): 37-53.
- Barulay, V. (2013). *Mobil İletişim Sektöründe Üniversite Öğrencilerinin Cep Telefonu Markası - GSM Operatörlerini Tercih ve Kullanımları Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Baum, L. E. (1972). "An Equality and Associated Maximization Technique in Statistical Estimation for Probabilistic Functions of Markov Processes". *Inequalities*, 3: 1-8.
- Baum, L. E. ve Eagon, J. A. (1967). "An Inequality with Applications to Statistical Estimation for Probabilistic Functions of Markov Process and to a Model for Ecology". *Bulletin of the American Mathematical Society*, 73(3): 360-363.
- Baum, L. E. ve Petrie, E. (1966). "Statistical Inference for Probabilistic Functions of Finite State Markov Chains". *The Annals of Mathematical Statistics*, 37(6): 1554-1563.
- Bayramlı, B. (2008). *Financial Time Series Prediction Using Kalman Filters and Hidden Markov Models*. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Buehler, S. ve Haucap, J. (2004). "Mobile Number Portability". *Journal of Industry, Competition and Trade*, 4(3): 223-238.
- Büyüktatlı, F. (2013). *Şirketlerdeki Erken Uyarı Göstergeleri ile Saklı Markov Modeli Üzerine Bir Uygulama*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Can, T. ve Öz, E. (2009). "Marka Tercihlerine ve Tercih Modellerine Gizli Markov Modelinin Uygulanması". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2): 167-186.

- Can, T. ve Öz, E. (2009). “Saklı Markov Modelleri Kullanılarak Türkiye’de Dolar Kurundaki Değişimin Tahmin Edilmesi”. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(1): 1-23.
- Cohen, A. (1998). “Hidden Markov Models in Biometric Signal Processing”. *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 20(3): 1145-1150.
- Değermen, H. A. (2006). *Hizmet Ürünlerinde Kalite, Müşteri Tatmini ve Sadakati: Hizmet Kalitesi ile Müşteri Sadakatının Sağlanması ve GSM Sektöründe Bir Uygulama*. Türkmen Kitabevi, İstanbul.
- Dündar, S. ve Ecer, F. (2008). “Öğrencilerin GSM Operatörü Tercihinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemiyle Belirlenmesi”. *Yönetim ve Ekonomi*, 15(1): 195-205.
- Erginel, N., Çakmak, T. ve Şentürk, S. (2010). “Numara Taşınabilirliği Uygulaması Sonrası Türkiye’de GSM Operatör Tercihlerinin Bulanık TOPSIS Yaklaşımı ile Belirlenmesi”. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(2): 81-93.
- Erginel, N. ve Şentürk, S. (2011). “Ranking of the GSM Operators with Fuzzy ANP”. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011*, 2: 1116-1121.
- Ewens, W. J. ve Grant, G. R. (2006). *Statistical Methods in Bioinformatics: An Introduction*. Springer Science & Business Media Inc., New York.
- Felek, S., Yuluğkural, Y. ve Aladağ Z. (2005). “Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Tahmininde AHP ve ANP Yöntemlerinin Kıyaslanması”. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(1): 6-22.
- Feller, W. (1949). “On the Theory of Stochastic”. *Berkeley Symposium*, s. 403-432.
- Forney, G. D. (1973). “The Viterbi Algorithm”. *Proceedings of the IEEE*, 61(3): 268-278.
- Giudici, P. ve Castelo, R. (2003). “Improving Markov Chain Monte Carlo Model Search for Data Mining”. *Machine Learning*, 50(1-2): 127-158.
- Ibe, O. C. (2013). *Markov Process for Stochasting Modeling*. Elsevier Inc., London.
- İlgün, E. (2006). *Satış Promosyonlarının Nihai Tüketici Satın Alma Davranışları ile İlişkisi ve Türk GSM Sektöründe Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Kızıgın, Y. (2008). “Genç GSM Abonelerinin Operatör Seçimlerini Etkileyen Değişkenlerin Konumlandırılması Üzerine Bir Alan Araştırması: Muğla Üniversitesi Öğrencileri Örneği”. *Bandırma İİBF Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (Akademik Fener)*, 10: 142-161.
- Kolmogorov, A. N. (1948). “A Local Limit Theorem for Markov Chains”. *Selected Translations in Mathematical Statistics and Probability*, 2: 109-129.
- Kuo, Y. F. ve Chen, P. C. (2006). “Selection of Mobile Value-Added Services for Systems Operators Using Fuzzy Synthetic Evaluation”. *Expert Systems with Applications*, 30(4): 612-620.
- Kushner, H. J. (1999). “Consistency Issues for Numerical Methods for Variance Control, with Applications to Optimization in Finance”. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 44(12): 2283-2296.
- Laudon, K. C. ve Laudon, J. P. (2011). *Yönetim Bilişim Sistemleri Dijital İşletmeyi Yönetme*. (Çev. U. Yozgat), Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Lee, J., Kim, Y., Lee, J. D. ve Park, Y. (2006). “Estimating the Extent of Potential Competition in the Korean Mobile Telecommunications Market: Switching Costs and Number Portability”. *International Journal of Industrial Organization*, 24(1): 107-124.
- Li, Y. (2005). “Hidden Markov Models with States Depending on Observations”. *Pattern Recognitions Letters*, 26(7): 977-984.
- Mac Donald, V. H. (1979). “Advanced Mobile Phone Service: The Cellular Concept”. *The Bell System Technical Journal*, 58(1): 15-41.
- Mazzoni, C., Castaldi, L. ve Addeo F. (2007). “Consumer Behaviour in the Italian Mobile Telecommunication Market”. *Telecommunication Policy*, 31(10): 632-647.
- Nacar, Y. (2004). *GSM Operatörlerinde Müşteri Memnuniyeti ve Erzurum Ölçeğinde Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Nâsır, S. (2003). “Türkiye’de GSM Sektöründe Müşteri Memnuniyeti: Kullanıcıların Operatör Değiştirme Eğilimlerinin Saptanması”. 8. *Ulusal Pazarlama Kongresi*, 16-19 Ekim, Kayseri, s. 211-229.
- Öz, E. (2009(a)). “İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Üzerine Saklı Markov Modelleri ile Bir Tahminleme”. *Ekonomik Yaklaşım*, 20(71): 59-85.

- Öz, E. (2009(b)). *Saklı Markov Modelleri ve Finansal Bir Uygulama*. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Özer, H., Özçakmak, M. S. ve Oktay, E. (2006). “Üniversite Öğrencilerinin Cep Telefonu Hat Tercih Olasılığının Belirlenmesi: Atatürk Üniversitesi Örneği”. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(2): 39-52.
- Öztürk, A. (2012). *Yöneylem Araştırması*, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.
- Petrie, T. (1969). “Probabilistic Functions of Finite State Markov Chains”. *The Annals of Mathematical Statistics*, 40(1): 97-115.
- Rabiner, L. R. (1989). “A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition”. *Proceedings of the IEEE*, 77(2): 257-286.
- Seyhan, S. S. (2013). *Simple and Complex Behaviour Learning Using Behaviour Hidden Markov Model and CobART*. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Shin, D. H. (2007). “A Study of Mobile Number Portability Effects in the United States”. *Telematics and Informatics*, 24(1): 1-14.
- Styan, G. P. H. ve Smith, Jr. H. (1964). “Markov Chains Applied to Marketing”. *Journal of Marketing Research*, 1(1): 50-55.
- Taha, H. A. (2000). *Yöneylem Araştırması*. (Çev. Ş. A. Baray ve Ş. Esnaf), Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul.
- Tosun, O. K., Güngör, A. ve Topçu, İ. (2008). “ANP Application for Evaluating Turkish Mobile Communication Operators”. *Journal of Global Optimization*, 42(2): 313-324.
- Urfaloğlu, R. (2011). *4. Nesil Mobil Haberleşmenin Standartlaşma Sürecinde Aday Teknolojiler LTE ve Mobil WiMax'in Karşılaştırmalı Analizi, Türkiye için Geçiş Stratejisi Önerileri*. Bilişim Uzmanlığı Tezi. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara.
- Ürper, C. (2009). *GSM Sektöründe Numara Taşınabilirliği ve Operatör Değiştirme Davranışları: Üniversite Öğrencilerinin Numara Taşıma Niyeti Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Vaseghi, S. V. (2007). *Multimedia Signal Processing: Theory and Applications in Speech, Music and Communications*. John Wiley & Sons Ltd., England.

- “An Overview of the GSM System”. http://paginas.fe.up.pt/~mleitao/CMOV/Tecnico/GSM_Sempere.html. (erişim tarihi, 19.02.2015).
- “Avea”. <http://www.avea.com.tr/web/Hakkimizda/SirketHakkinda/AveaHakkinda>. (erişim tarihi, 05.03.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu”. http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/raporlar/arastirma_raporlari/dosyalar/M2MRaporu_30_10_2013_son.pdf. (erişim tarihi, 10.03.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2009 Yılı 4. Çeyrek Pazar Verileri”. http://www.btk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/pazar_verileri/ucaylik09_4.version2.pdf. (erişim tarihi, 08.03.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2014 Yılı 3. Çeyrek Pazar Verileri”. http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/pazar_verileri/ucaylik14_3.pdf. (erişim tarihi, 09.03.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2014 Yılı 4. Çeyrek Pazar Verileri”. http://www.tk.gov.tr/kutuphane_ve_veribankasi/pazar_verileri/ucaylik14_4.pdf. (erişim tarihi, 11.6.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Elvan 4G Devrimine Start Verdi”. <http://www.tk.gov.tr/sayfa.php?ID=432>. (erişim tarihi, 09.07.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Numara Taşınabilirliği Sistemi”. <http://www.nts.gov.tr>. (erişim tarihi, 10.03.2015).
- “Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Yetkilendirme Yönetim Sistemi”. <http://yetkilendirme.btk.gov.tr/Yetkilendirme/>. (erişim tarihi, 05.03.2015).
- Blunsom, P., “Hidden Markov Models”. <http://digital.cs.usu.edu/~cyan/CS7960/hmm-tutorial.pdf>. (erişim tarihi, 11.05.2015).
- “China Mobile, Investor Relations, Operation Data”. <http://www.chinamobileltd.com/en/ir/operation.php>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “Deutche Telekom, Financial Report/Download Center”. http://www.annualreport.telekom.com/site0215/en/files/xls/telekom_ar14_all_tables.xls. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “Digiworld by IDATE, News, LTE Trends”. http://www.idate.org/en/News/LTE-trends_909.html. (erişim tarihi, 01.03.2015).

- “EE Interim Results for 6 Months Ended 30 June 2014”.
http://ee.co.uk/content/dam/everything-everywhere/Newsroom/Bonds%20and%20financials/2014%20June%20interim%20docs/EE%20Interim%202014%20Results%20Release_FINAL2.pdf. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “Ericsson Mobility Report”. <http://www.ericsson.com/res/docs/2015/ericsson-mobility-report-june-2015.pdf>. (erişim tarihi, 01.03.2015).
- “Fierce Wireless, Top US Wireless Carrier Metrics Q3 2014”. <http://www.fiercewireless.com/special-reports/grading-top-8-us-wireless-carriers-third-quarter-2014?confirmation=123>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “Financial Review, Mobile Customers to Pay More for Rising Telco Profits: Optus”.
http://www.afr.com/p/technology/mobile_customers_to_pay_more_for_QLVPCrTzokjt8VRy3xSHdM. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “GSM’in Dünden Bugüne Hikayesi”. <http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/gsmindunden-bugune-hikayesi/8585#ad-image0>. (erişim tarihi, 18.02.2015).
- “GSM Şebekelerinde Güvenlik”. http://web.itu.edu.tr/~orencik/AgGuvenligi2007Sunumlari/yigitbasi_gsm_rapor.doc. (erişim tarihi, 19.02.2015).
- “GSM ve GPRS”. <http://www.yasinkaplan.com/tr/docs/GSM-GPRS.pdf>. (erişim tarihi, 20.02.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Americas, United States of America”.
<https://gsmaintelligence.com/markets/3556/dashboard/>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Asia, China ”. <https://gsmaintelligence.com/markets/623/dashboard/>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Asia, Japan”. <https://gsmaintelligence.com/markets/1839/dashboard/>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Asia, Korea, South”. <https://gsmaintelligence.com/markets/1948/dashboard/>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Europe, France”. <https://gsmaintelligence.com/markets/1038/dashboard/>. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Europe, Germany”. <https://gsmaintelligence.com/markets/758/dashboard/>. (erişim tarihi, 03.03.2015).

- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Europe, United Kingdom”. <https://gsmaintelligence.com/markets/1144/dashboard/>. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Data, Markets, Oceania, Australia”. <https://gsmaintelligence.com/markets/148/dashboard/>. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “GSMA Intelligence, Definitive Data and Analysis for the Mobile Industry”. <https://gsmaintelligence.com/>. (erişim tarihi, 10.03.2015).
- “ISPreview, Broadband ISP Technology, Mobile Broadband”. http://www.ispreview.co.uk/broadband_mobile.php. (erişim tarihi, 26.02.2015).
- “ITU, Statistics, 2005-2014 ICT Data for the World, by Geographic Regions and by Level of Development”. http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2014/ITU_Key_2005-2014_ICT_data.xls. (erişim tarihi, 01.03.2015).
- “Orange, Latest Consolidated Results: 2014 Annual Results”. <http://www.orange.com/en/content/download/28506/623411/version/2/file/Book+KPIs+Q4+2014+VD.xlsx>. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “SK Telekom, Press Release”. <http://www.sktelecom.com/en/press/detail.do?idx=1104>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “TCA (Telecommunications Carriers Association)”. <http://www.tca.or.jp/english/database/2013/06/index.html>. (erişim tarihi, 02.03.2015).
- “Telstra Annual Report 2014”. http://www.telstra.com.au/uberprod/groups/webcontent/@corporate/@aboutus/documents/document/uberstaging_280884.pdf. (erişim tarihi, 03.03.2015).
- “Turkcell”. <http://www.turkcell.com.tr/tr/hakkimizda/genel-bakis>. (erişim tarihi, 07.03.2015).
- “Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Haberleşme İstatistikleri”. http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1580. (erişim tarihi, 05.03.2015).

EK 1 - ANKET FORMU**MOBİL GSM OPERATÖRÜ DEĞERLENDİRME ANKETİ**

Değerli Katılımcı,

Bu anket çalışmasında Türkiye’de hizmet vermekte olan mobil GSM operatörlerinin rekabet analizi ve kişilerin bu operatörleri tercih etmesinde etkili olan faktörlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Anket formunda demografik özelliklerle ilgili sorular ile operatörlerin müşteri memnuniyeti açısından değerlendirilmesine yönelik sorular bulunmaktadır. Anketi oluşturan soruları cevaplamak şüphesiz çok kıymetli zamanınızı alacaktır. Ancak ankete katılarak bilimsel bir çalışmaya destek vermiş olacaksınız. Çalışmanın güvenilirliği açısından tüm sorulara cevap vermenizi rica eder, ilgi gösterdiğiniz ve zaman ayırdığınız için teşekkür ederiz.

1. Şu anda kullandığınız GSM operatörünü seçiniz.

- Avea – Faturalı Turkcell – Faturalı Vodafone – Faturalı
 Avea – Faturasız Turkcell – Faturasız Vodafone – Faturasız

Birden fazla telefon hattı kullanıyorsanız tüm soruları en çok kullandığınız telefon hattına göre cevaplayınız.

2. Bu operatörü ne kadar süredir kullanıyorsunuz?

- 12 aydan az 1-2 yıl arası 2-3 yıl arası
 3-4 yıl arası 4-5 yıl arası 5 yıl ve üzeri

3. Aylık ortalama GSM harcamanız ne kadardır?

- 0-20 TL 21-40 TL 41-60 TL
 61-80 TL 81-100 TL 100 TL ve üzeri

4. Şu anda kullanmakta olduğunuz GSM operatörünü tercih etme nedeniniz hangisidir?

(Yalnızca bir seçenek işaretleyiniz)

- Fiyat uygunluğu
 Hizmet kalitesi
 Yakın çevrede çok kullanılması
 Reklamları
 Müşteri hizmetleri
 Satış elemanının önerileri
 Sponsorluk ve sosyal sorumluluk projeleri
 Öğrencilere yönelik avantajları
 Kampanyaları
 Hat alımı/Numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması

5. Kullanmakta olduğunuz GSM operatörünü size en yakın gelen ifadeler ile değerlendiriniz. (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

- Kullandığım tarife/paket oldukça ekonomiktir.
- Kapsama alanı geniştir ve bu sayede kesintisiz iletişimden ve mobil internetten rahatça faydalanırım.
- Ailem ya da arkadaşlarım bu operatörü kullandığı için kullanırım.
- Operatör ile ilgili reklamların çok fazla olması ilgimi artırmaktadır.
- Müşteri hizmetleri servisi iyidir ve karşılaşılan sorunlara hızlı çözümler üretir.
- Satış bayilerinde görevli satış elemanı ihtiyacıma uygun tarife ve hizmetleri önerir.
- Spor, kültür-sanat ve teknolojik etkinliklere sponsordur ve sosyal sorumluluk projelerine destek olur.
- Öğrencilere/Gençlere yönelik avantajları fazladır.
- Gıda, giyim, sinema, yakıt, alışveriş gibi farklı sektörlerle işbirliği yaparak abonelerine ekonomik avantajlar sağlar.
- Hat alımı/Numara taşıma işlemleri sırasında kampanyaları vardır (bedava konuşma süresi, cep telefonu, internet vb.).

6. Şu anda kullandığınız operatör ilk operatörünüz mü?

- Evet Hayır

Eğer cevabınız "Evet" ise lütfen 9. soruya geçiniz.

7. Bu operatörden önce hangi operatörü kullanıyordunuz?

- Avea – Faturalı Turkcell – Faturalı Vodafone – Faturalı
- Avea – Faturasız Turkcell – Faturasız Vodafone – Faturasız

8. Daha önce kullandığınız bu operatörü ne kadar süre kullandınız?

- 12 aydan az 1-2 yıl arası 2-3 yıl arası
- 3-4 yıl arası 4-5 yıl arası 5 yıl ve üzeri

9. GSM operatörünüzü değiştirecek olsanız bugünkü şartlar göz önüne alındığında hangi operatöre geçmeyi düşünürdünüz?

- Avea – Faturalı Turkcell – Faturalı Vodafone – Faturalı
- Avea – Faturasız Turkcell – Faturasız Vodafone – Faturasız

10. GSM operatörünüzü değiştirecek olsanız yeni operatörü tercih etme nedeniniz aşağıdakilerden hangisi olurdu? (Yalnızca bir seçenek işaretleyiniz)

- Fiyat uygunluğu
- Hizmet kalitesi
- Yakın çevrede çok kullanılması
- Reklamları
- Müşteri hizmetleri
- Satış elemanının önerileri
- Sponsorluk ve sosyal sorumluluk projeleri
- Öğrencilere yönelik avantajları
- Kampanyaları
- Hat alımı/Numara taşıma gibi işlemlerde avantaj sağlaması

11. Aşağıdaki nedenlerden hangileri sizin başka bir operatörü tercih etmenizdeki etkili olur? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz)

- Daha ekonomik ve avantajlı tarifelerin/paketlerin olması
- Kapsama alanının daha geniş olması ile bu alanın içindeki hizmetlerden daha fazla faydalanmak
- Ailem ya da arkadaşlarım ile aynı operatörü kullanmak
- Reklamlarının çok fazla olması ile operatöre olan ilgimin artması
- Müşteri hizmetleri servisinin iyi ve karşılaşılan sorunlara hızlı çözümler üretebilmesi
- Satış bayilerinde görevli satış elemanının ihtiyacıma uygun tarife ve hizmetleri önerebilmesi
- Spor, kültür-sanat ve teknolojik etkinliklere sponsor ve sosyal sorumluluk projelerine destek olması
- Öğrencilere/Gençlere yönelik avantajlarının daha fazla olması
- Gıda, giyim, sinema, yakıt, alışveriş gibi farklı sektörlerle işbirliği yaparak abonelerine ekonomik avantajlar sağlaması
- Hat alımı/Numara taşıma gibi işlemleri sırasında kampanyalarının olması (bedava konuşma süresi, cep telefonu, internet vb.)

12. Aşağıdaki paket hizmetlerini ne sıklıkta kullanıyorsunuz?

	Hiçbir zaman	Nadiren, neredeyse hiç	Bazen, ara sıra	Sıklıkla	Her zaman
Konuşma	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SMS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
İnternet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sosyal Medya	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. GSM operatörlerinin reklam, kampanya ve teknolojik gelişmelerini en çok nereden öğrenirsiniz?

- Televizyondan
- Operatörlere ait internet sayfalarından
- Çevremdeki kişilerin tavsiyelerinden
- Broşürlerden
- Radyodan
- Bilgi mesajlarından
- Gazetelerden/Dergilerden

14. Cinsiyetiniz?

- Erkek Kadın

15. Yaşınız?

(.....)

16. Şu anki öğrenim durumunuz nedir?

- Önlisans Lisans Yüksek Lisans/Doktora

17. Üniversite türü?

- Devlet Vakıf

18. Aylık olarak elinize ne kadar para geçmektedir?

- 300 TL'dan az 301-600 TL 601-900 TL
 901-1200 TL 1201-1500 TL 1500 TL'dan fazla

Anketimize katılarak çalışmamıza vermiş olduğunuz destekten dolayı teşekkür ederiz...

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve SOYADI : Yusuf Ali DANIŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 18/05/1990 – Samsun
Medeni Durumu : Bekâr

Eğitim Durumu

Mezun Olduğu Lise : İstanbul Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi, 2008
Lisans Diploması : Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, İzmir, 2013
Yüksek Lisans Diploması : Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Ana Bilim Dalı, Antalya, 2015
Tez Konusu : GSM Operatörü Tercihinde Etkili Olan Faktörlerin Gizli Markov Modelleri ile Analizi
Yabancı Dil / Diller : İngilizce

Katıldığı Bilimsel Kongre/Sempozyumlar

16th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics, Edirne, Mayıs 2015

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Araştırma Görevlisi (04/10/2013-Devam)
E-Posta : alidanis@akdeniz.edu.tr