T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBULKART VERİLERİNİN ANALİZİ: MARMARAY ÖRNEĞİ

Hikmet ALTINTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Programı

Danışman

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Ocak, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBULKART VERİLERİNİN ANALİZİ: MARMARAY ÖRNEĞİ

Hikmet ALTINTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Sinan YARDIM, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. İsmail ŞAHİN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan İstanbulkart Verilerinin Analizi: Marmaray Örneği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hikmet ALTINTAŞ

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Küçük şehirlerde doğup büyüyen çoğu genç, fırsat bulduğu zaman gezip görmek amacı ile gittiği büyük şehirlere her zaman büyülenerek bakmıştır. Daha da ötesi, o şehir yüzyıllar boyunca fethedilmek için savaşılan, içerisinde sayısız güzelliği barındıran ve iki kıtayı boğazı ile birbirinden ayırıp, köprü ve tünelleri ile birbirine bağlayan İstanbul olunca, 'bir gün ben de bu şehirde yaşayacağım' cümlesini çoğu gence söyletmiştir. Ben de bu cümleyi kendime yıllar boyunca hatırlattıktan sonra, hayat beni yüksek lisans eğitimim için İstanbul'a getirdi. Eğitimimi ulaştırma anabilim dalı adı altında yapmak ise ; beni hayran olduğum bu şehre getirmekle kalmayıp, şehrin üzerinde çalışılıp, konuşulması gereken belki de en önemli sektöründe nacizane araştırma yapma imkânı sağladı. İstanbul toplu taşıma ağının önemli bileşenlerinden biri olan Marmaray'ı araştırmak ise beni bu süreçte daha bir mutlu etti. 2020 yılı ocak ayı İstanbulkart kullanımlarından elde ettiğimiz veriler ile hem büyük veri grubu ile çalışma imkânı bulup, hem de gün içerisinde hattı kullanan yolcular ile Halkalı ve Gebze istasyonları arasında bir yolculuğa çıkma şansı yakaladım.

Öncelikle en büyük teşekkürümü bana incelediğimiz yolculara bilgisayarım ile beraber evimde, odasında, kütüphanede ve okulda bulunan kafelerde eşlik etme fırsatını tanıyan danışman hocam Prof.Dr.İsmail ŞAHİN'e etmek isterim. Tez süreci boyunca hangi analizleri yapmamız gerektiği konusunda konuşup, tartıştığımız zamanlar dışında da, sayısız her konu için hayat tecrübelerini ve engin bilgilerini benimle paylaştığı için Hocam'a akademi camiası önünde teşekkürü bir kez daha borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca ders aldığım, ulaştırma kürsüsünün kıymetli hocalarına bana verdikleri tüm katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Başta, meslek seçiminde inşaat mühendisliğinden yana tercih kullanmama, sonrasında ulaştırma dalına ilgi duymama vesile olan dayım Prof.Dr. Baha Vural KÖK'e, yirmibeş yıllık hayatım boyunca desteklerini benden hiçbir zaman eksik

etmeyen, her zorluk ve koşulda arkamda olan annem Zühal ALTINTAŞ'a, babam Mehmet Hanifi ALTINTAŞ'a, tez sürecim boyunca beni sürekli motive etmenin yanında, bir yandan da arkamı toplayan, bana teyze kavramının anne yarısından daha öte olduğunu her fırsatta hisettiren teyzem Nihal KÖK'e, tezin ilk anından son anına kadar yanımda olan ve sürekli fikir alışverişinde bulunduğum, bu süreçte bana yardımlarını esirgemeyen dostum ve meslektaşım Oğuzhan TEMİZER'e, tezin her aşamasında çok büyük emeği olan, yoğunluk fark etmeksizin bu süreçte bana sürekli zamanını ayıran, fikirleri ve konuya yaklaşımları ile beni aydınlatan Arş.Gör. Mehmet Şirin ARTAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bir dönem aynı evi paylaştığım, beraber gülüp beraber üzüldüğüm dostlarım Ömer Vefa TUNÇ ve Furkan YILDIRIM'a, verileri düzenlemek için birkaç gece uykusuz bıraktığım dostlarım Mustafa Kaan ARIN ve Muhammet Şinasi EBCİOĞLU'na, tezin ilk aşamalarında İstanbulkart verileri konusunda yardımları için Yusuf GEYİK'e, okulda odalarından içeriye girdiğimde kendimi evimde hissettiğim, yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen Arş.Gör Berna AKSOY ve Arş.Gör.Dr Onur ŞAHİN'e, bana her fırsatta abi sıcaklığını hissettiren Umut SUVAR'a ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Hikmet ALTINTAŞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 7

1.3 Hipotez 8

2 MARMARAY 9

3 BAŞLANGIÇ – SON YOLCULUK MATRİSLERİNİN OLUŞTURULMASI VE UYUMLULUK TESTİ 16

3.1 Başlangıç-Son (O-D) Matrislerinin Oluşturulması 16

3.1.1 Biniş ve İniş İstasyonları Bilinen Yolcuların Verileri Kullanılarak O-D Matrisi Üretimi 17

3.1.2 İniş İstasyonları Bilinmeyen Yolcuların Verileri Kullanılarak O-D Matrisi Üretimi 22

3.2 Başlangıç-Son (O-D) Matrislerinin Benzerliği (Ki-kare Testi) 27

4 ZAMANSAL VE MEKÂNSAL YOLCULUK ANALİZLERİ 33

4.1 Bilet Türlerine Göre Analizler 33

4.2 Zamana ve Mekâna Göre Toplu Yolculuk Analizleri 36

4.2.1 Seçilen Haftada Günlük Biniş Sayıları 36

4.2.2 Seçilen Haftada Sabah ve Akşam Zirve Saat Biniş Sayıları 37

4.2.3 Seçilen Haftada Zirve Saat ve Zirve Dışı Saat Biniş Sayıları 38

4.2.4 Seçilen Haftada İstasyonlara Göre Biniş Sayıları 39

4.2.5 Seçilen Haftada Talep Yüksek İstasyonlardaki Biniş Sayıları 41
4.3 Seyahat Uzunluklarına Göre Analizler 42
4.4 Yolculuk Sayılarının Gün İçinde Değişiminin İncelenmesi 48
4.5 Kümülatif Yolculuk Sayısı Analizleri ve Hattın En Yüklü Kesiminin Tespiti 52
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 68
KAYNAKÇA 73
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 76

SİMGE LİSTESİ

α	Anlamlılık Düzeyi
X^2	Ki-Kare
f	Serbestlik Derecesi
p	Perfectus

KISALTMA LİSTESİ

AFC	Otomatik Ücret Toplama Sistemi
APC	Otomatik Yolcu Sayma Sistemi
ADC	Otomatik Veri Toplama Sistemi
AVI	Otomatik Araç Tanımlama Sistemi
O-D	Origin-Destination
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
İDO	İstanbul Deniz Otobüsleri
BUDO	Bursa Deniz Otobüsleri
AC	Alternating Current
Kv	Kilo-Volt
Hz	Hertz
Km	Kilometre
H	Saat
M	Motorlu Vagon
T	Trayler Vagon
MCT	Onlu Set Kabinli Vagon
MCF	Beşli Set Kabinli Vagon
ID	Identification

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Anonim tip İstanbulKart örneği.....7

Şekil 2.1 Marmaray 1. Etap istasyonları ve güzergâhı.....9

Şekil 2.2 (a) Marmaray'ın istasyonları ve güzergâhı (https://www.metro.istanbul/) 12

Şekil 3.1 Ham veri formatı örneği.....16

Şekil 3.2 Biniş ve İniş Verileri Bulunan Yolculukların Yüzey Grafiği (6 Ocak 2020) 21

Şekil 3.3 İniş Verileri Bulunmayan Yolcuların Eklendiği Yolculukların Yüzey Grafiği (6 Ocak 2020).....25

Şekil 4.1 Hafta içinde bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları.....34

Şekil 4.2 Cumartesi günü bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları.....35

Şekil 4.3 Pazar günü bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları 36

Şekil 4.4 Seçilen haftanın günlük biniş sayıları.....37

Şekil 4.5 Seçilen haftada sabah ve akşam zirve saat biniş sayıları.....38

Şekil 4.6 Seçilen haftadaki zirve saat ve zirve dışı saat biniş sayıları.....39

Şekil 4.7 İstasyonlara göre seçilen haftadaki biniş sayıları 40

Şekil 4.8 Talep yüksek istasyonlarda seçilen haftanın biniş sayıları 41

Şekil 4.9 10 Ocak Cuma günü için seyahat uzunlukları (kat edilen durak sayısı) 43

Şekil 4.10 11 Ocak Cumartesi günü için seyahat uzunlukları (kat edilen durak sayısı) 45

Şekil 4.11 12 Ocak pazar günü için seyahat uzunlukları (kat edilen durak sayısı) 47

Şekil 4.12 6-12 Ocak günlerinde 15 dakikalık biniş sayıları.....49

Şekil 4.13 10 Ocak Cuma günü 15 dakikalık biniş sayıları ve zirve saat yolculukları 51

Şekil 4.14 Halkalı yönünde sabah zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 07:30-08:30) 53

Şekil 4.15 Halkalı yönünde sabah zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 07:30-08:30).....55

Şekil 4.16 Gebze yönünde sabah zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 07:30-08:30) 57

Şekil 4.17 Gebze yönünde sabah zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 07:30-08:30).....59

Şekil 4.18 Halkalı yönünde akşam zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 18:00-19:00) 61

Şekil 4.19 Halkalı yönünde akşam zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 18:00-19:00).....63

Şekil 4.20 Gebze yönünde akşam zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 07:30-08:30) 65

Şekil 4.21 Gebze yönünde akşam zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 18:00-19:00).....67

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Akıllı kart sistemlerinin avantajları ve dezavantajları.....6

Tablo 2.1 İstasyon tiplerine göre sınıflandırma (Marmaray Risk Analizi Sistem Tanımı ve Özet Raporu, 2021).....10

Tablo 2.2 Marmaray hattının genel özellikleri 13

Tablo 2.3 5'li Tren dizisi 14

Tablo 2.4 10'lu Tren dizisi 14

Tablo 2.5 Parkura göre ücret tarifelendirmesi.....15

Tablo 2.6 İstasyon sayısına göre alınan ücret.....15

Tablo 3.1 İniş istasyonları bilinmeyen yolculuklar 17

Tablo 3.2 Biniş ve iniş verileri bulunan yolculuklar için Halkalı-Gebze yönü başlangıç-son (O-D) matrisi (6 Ocak 2020) 20

Tablo 3.3 İniş istasyonları tamamlanmış yolculuklar 23

Tablo 3.4 İniş verileri bulunmayan yolcuların eklendiği Halkalı-Gebze yönü başlangıç-son (O-D) matrisi (6 Ocak 2020) 24

Tablo 3. 5 O-D matrislerindeki yüzdesel değişimler.....26

Tablo 3.6 Normalize edilen Tablo 3.2.....29

Tablo 3.7 Normalize edilen Tablo 3.4.....30

ÖZET

İstanbulkart Verilerinin Analizi: Marmaray Örneği

Hikmet ALTINTAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Marmaray İstanbul kentiçi ulaştırma sisteminin ana bileşenlerindendir. 2019 yılında ikinci etabının da tamamlanması ile açılan, batıda Halkalı ve doğuda Gebze istasyonlarını birleştiren 76,6 km uzunluğundaki hatta 43 istasyon bulunmaktadır. Kendileri için ayrılmış çift hat üzerinde işletilen 5 ve 10 vagonlu tren dizileri, Avrupa ve Asya yakalarındaki eski banliyö koridorlarını takip ederek Marmara denizinin tabanındaki batırma tüplerden geçerler. TCDD Taşımacılık A.Ş. tarafından işletilen Marmaray ile seyahat eden yolcular istasyona giriş yapmak için kişiye özel İstanbulkart'ını turnikede okutmak zorundadırlar. Marmaray koridorunda iki seyahat yönüne ait turnikeler ve platformlar ortak olduğundan, kart kayıtlarında yön bilgisi bulunmamaktadır. Bu çalışmada 2020 yılı Ocak ayı İstanbulKart kayıtları kullanılmıştır. Veri setinde her kart okuması için anonim kart ID (kart No), tarih, saat, istasyon, ödeme türü vb. bilgiler bulunur. Seyahat sonunda isteyen yolcular geri ödeme cihazlarına kartlarını okutabilmektedirler. Geri ödeme bilgileri de veri kayıtları arasında bulunmaktadır. Çalışmamızda 2020 yılı Ocak ayından seçtiğimiz bir haftanın akıllı kart verilerini kullanarak yolculukların sayısal, zamansal ve mekânsal özellikleri incelenmiştir. Geliştirilen algoritma ile sabah ve akşam zirve saatlerdeki yolculukların başlangıç ve son

istasyonları tespit edilebilmiş, böylece kayıtlarda bulunmayan yön bilgisi elde edilmiştir. Algoritma için yapılan kabullerin uygulanan hipotez testleri ile geçerli olduğu gösterilmiştir. Bu bilgiden yararlanılarak yolculukların hat genelindeki dağılımı ve seyahat uzunlukları tespit edilebilmiştir. Veri setlerinin içinde gömülü olan bu bilgilerin elde edilmesiyle hattın işletim planlaması için verimlilik analizleri yapılabilecektir. Örneğin, hattın en yüklü (darboğaz) kesimleri ve bu kesimlerdeki yolcu yükü saptanabilmektedir. Hattın deniz geçişini oluşturan ve kentin merkezinde bulunan Kazlıçeşme ve Ayrılık Çeşmesi istasyonları arasındaki kesimin en yüklü kesim olduğu belirlenmiştir. Hattın genelindeki yolculukların görece kısa yolculuklar olduğu da tespitler arasındadır. Bu bulgu, Marmaray hattının aktarmalı seyahatler için uygun olduğunu göstermektedir. Aktarmalarda yoğun olarak kullanılan istasyonlar da belirlenmiştir. Zirve saatler için yapılan çalışmaların benzerleri zirve dışı saatler ve hafta sonu günler için de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İstanbulkart, Marmaray, Akıllı kart veri analizi

ABSTRACT

Analysis of İstanbulkart Data: Case Study of Marmaray

Hikmet ALTINTAŞ

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Marmaray is one of the main components of Istanbul's urban transportation system. There are 43 stations on the 76.6 km-long line that connects Halkalı in the west and Gebze in the east, which was opened with the completion of the second phase in 2019. Train sets with 5 and 10 wagons operated on the double lines reserved for them follow the old suburban corridors on the European and Asian sides and pass through immersed tubes at the bottom of the Marmara Sea. Passengers traveling in the Marmaray operated by TCDD Transportation Inc. have to have their personal Istanbulkart read at the turnstiles to enter the station. The turnstiles and platforms for the two directions of travel are not separated in the Marmaray line, so there is no direction information in the card records. In this study, Istanbulkart records of January 2020 were used. Data in the records are the anonymous card ID, date, time, station, payment type, etc. for each card record in the dataset. At the end of their trip, passengers can preferably have their cards read to the refunding device to get the overpaid fare according to the fare schedule. Repayment information is also included in the data records. In our study, the numerical, temporal and spatial characteristics of each journey were investigated by using the smart card data of a week selected from January 2020.

With the developed algorithm, the origin and destination stations of the journeys in the morning and evening peak hours could be determined, thus, the direction information that was not included in the records was obtained. It has been shown that the assumptions made for the algorithm are valid using the statistical hypothesis tests. By utilizing this information, the distribution of the journeys along the line and the travel lengths could be determined. By obtaining this information that embedded in the data sets, efficiency analysis can be made for the operational planning of the line. For instance, the mostly loaded (bottleneck) sections of the line and passenger load in these sections can be determined. It is shown that the line portion between Kazlıçeşme and Ayrılık Çeşmesi stations, which form the sea crossing of the line and located in the center of the city, is the most loaded section. It is also among the findings that the length of the trips across the line are relatively short. This finding shows that the Marmaray line is suitable for transfer trips. Stations that are used frequently in the transfers have also been identified. Similar studies that were carried out for peak hours have made for off-peak hours and weekend days.

Keywords: İstanbulkart, Marmaray, Smart card data analysis

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Her geçen gün gelişen teknoloji ile beraber, bilgi kaynağına ulaşım neredeyse bütün sektörler için zorunlu bir hâl almaktadır. Devlet kurumları ve özel şirketler küresel dünyaya ayak uydurabilmek, rekâbet ortamından uzaklaşmamak ve zamandan tasarruf edebilmek için daha kısa sürede, optimum çözüme daha yakın sonuçlar elde etmek istemektedirler. Bunun için otomatik veri toplama sistemlerinin önemi yadsınamaz.

Otomatik veri toplama sistemlerinin en çok kullanıldığı çalışma alanlarından biri de ulaştırma sektörüdür. Yakın zamana kadar toplu taşıma kurumları, hem uzun vadeli planlamada, hem de günlük operasyonlarda bilgiye dayalı kararlar almak için gereken veri ve analizlerden yoksundu. Şimdi bu kurumlar AVL (otomatik araç konumu), AFC (otomatik ücret toplama), APC (otomatik yolcu sayma) sistemlerini kapsayan ADC (otomatik veri toplama) sistemlerinin kullanıldığı bir çağa giriyor (Zhao, 2004). Bunu olanaklı kılan olgu, ulaştırmanın önemli bir bileşeni olan toplu taşıma araçlarının her gün yüzbinlerce hatta milyonlarca yolcuya hizmet vermeleridir. Bu da, geleneksel yöntemler ile doğru kararlar verebilmek için oldukça büyük bir veri kümesini değerlendirmek anlamına gelmektedir. Büyük verinin ulaştırma sorunlarına uygulanmasıyla, daha önce geleneksel ulaştırma veri kümeleri aracılığıyla elde edilemeyen yeni anlayışlar kazanılacaktır (Widita, 2019).

Verilerin sağlıklı bir şekilde toplanması, raylı sistem işleticisinin kendi izleme sürecinin eksiksiz ve verimli çalışmasına bağlantılıdır. Veri toplama yöntemleri, otomatik ve geleneksel (manuel) olarak sınıflandırılabilir (European Union Agency, 2016). Otomatik veri toplama sistemleri, geleneksel veri toplama yöntemlerine göre çok sayıda ve önemli avantajlar içermektedir.

Avantajlar

- Daha geniş mekânsal bir kapsam sağlamaktadır.
- Günün her saati ve haftanın tüm günleri veri toplama işlemi mümkündür.
- Özel durumlar (özel hava koşulları, hafta sonu) içeren 'tipik' bir günün seçildiği geleneksel yöntemlerin aksine sürekli veri akışı sağlamaktadır (Zhao, 2004).
- Hem maddi olarak hem de insan gücü açısından geleneksel yönteme göre daha ucuzdur.
- Veriler, otomotikleşen ve geliştirilmiş sistem sayesinde sürekli olarak kendini yenileyebilmektedir.
- Otomatik veri toplama sistemleri çok hızlı işlenebilme özelliğine sahip olduklarından, veri analizlerinin daha kolay yapılabilmesini sağlamaktadırlar.
- Stratejik düzeyde uzun vadeli planlama, talep tahmini ve pazarlama çalışmaları yürütmeye imkân sağlamaktadır.
- Taktik düzeyde hizmet sıklığı kontrolü, hizmetlerin ayarlanması ve ağ geliştirme konularında, ulaştırma uzmanlarının değerlendirmeler yapabilmesine olanak sağlamaktadır.
- İşletim düzeyinde kısa vadeli bilgi toplama olanağı sağlayarak, günlük yolcu biniş-iniş istatistikleri ve performans göstergeleri hakkında bilgiler vermektedir.

Otomatik veri toplama sistemlerinin doğruluğu, geleneksel yöntemlerde ortaya çıkacak tespit edilmesi zor anket hatalarından kaçınılmasına olanak tanımaktadır (Zhao, 2004).

Avantajların yanı sıra otomatik veri toplama sistemlerinin bir kısmı başlangıçta sadece veri toplamak için tasarlanmıştı. Bunun dışında kalan sistemlerin entegrasyon sürecinde zorluklar yaşanmaktadır. Otomatik veri toplama sistemleri için uzman ve yetkin personel yetersizliği de sistemin olumsuz taraflarından biridir. Ayrıca toplanan verilen aralıklı ve parçalı olup, kullanımı kolay bir formatta olmayabilir (Rahbee ve Zhao, 2007).

Toplu taşıma sistemlerinde veri toplama konusunda en geniş ölçekte ve en yaygın kullanıma sahip olan araç akıllı kartlardır. Akıllı kartlar, verileri depolamak ve çoğu durumda verileri işlemek için tasarlanmış cihazlar olup, taşınması kolay (bir kredi kartı boyutu) ve dayanıklıdırlar (Pelletier ve diğ., 2011). Akıllı kart sistemlerine dünya nüfusunun artışı ve teknolojik gelişmeler ışığında çoğu sektörde ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık hizmetleri, devlet işleri, insan kaynakları, bankacılık ve daha birçok alanda bu sistemleri görmek mümkündür. Akıllı kart teknolojileri gün geçtikçe daha fazla kullanılsalar da, mazileri eski tarihlere dayanmaktadır.

İlk patent 1968 yılında, mikroçip içeren plastik bir kart konseptini geliştiren iki Alman mucit Dethloff ve Grotrupp tarafından alınmıştır (Shelfer ve Procaccino, 2002).

1970'lerde, Japonlar Almanları takip etmiştir ve 70'lerin sonlarında Fransızlar bu kart sistemlerini bankacılık sektörüne entegre etmişlerdir.

1990'dan günümüze, internetin katlanarak büyümesi ve mobil iletişim teknolojilerinin artan karmaşıklığı ile akıllı kart kullanımı önemli bir hale gelmiştir (Blythe, 2004).

Şehirlerde artan nüfus ve toplu taşıma sistemlerindeki çeşitlilikten dolayı ulaştırma sektörü, akıllı kart sistemlerine en çok ihtiyaç duyan alanların başında gelmektedir. Zaman içerisinde toplu taşıma sistemlerinde, geleneksel manyetik sistemli kartlar ve kağıt biletler yerini bu tip akıllı kartlara bırakmıştır. Akıllı kartlar yaygınlaştıkça sinyal frekansı ve veri aktarım hızını tanımlayan uluslararası standardizasyon ilerlemiştir (Schmöcker ve diğ., 2017). Kentsel toplu taşımada, akıllı kart verileri, birkaç gün boyunca ağ üzerinden araçlara binen milyonlarca kullanıcının gözleminden oluşmaktadır (Agard ve diğ., 2007). Bu tür kartların kullanılması, hem hizmet sunucular hem de kullanıcılar için çok sayıda kolaylık sağlamaktadır. Kullanıcılar için sıra beklemeyerek, daha rahat bir ulaşım imkânı tanınırken, operatörler için de sunulan servis ücretlerinin azaltılması, çeşitli işletmelerin entegrasyonu, yolcuların seyahat davranışlarını daha kolay bir şekilde anlamayı mümkün kılmaktadır.

Akıllı kartlar, bünyelerinde bulunan geniş veri kaynakları sebebi ile toplu taşıma planlayıcıları ve araştırmacıları için çok önemli bir yere sahiptir. Bu kartlar teknolojik gelişmeler sonucu oluşan daha modern geçiş sistemleri ile beraber uzman kişilere, toplu taşıma kullanıcıları için ayrıntılı ve kapsamlı incelemeler yapma imkânları sağlamaktadır. Akıllı kart sistemlerinin ana hedefi kolay ve hızlı bir şekilde gelir toplamak olsa bile, bir çok başka amaç için de kullanılabilirler. Bu sistemler yolcu davranışlarının nasıl tahmin edilebileceği, işletilen hat boyunca istasyonlardaki doluluk oranları, basılan kartın hangi türde olduğu, ID numaraları dikkate alınarak aktarma yapılıp yapılmadığı ve benzeri birçok konuda zengin veri imkânı sağlayarak, toplu taşımalarda hizmet seviyesinin nasıl daha iyi değerlendirilebileceği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Morency ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, akıllı kartların incelenmesi ile yolcu biniş istasyonunun yeri ve zamanı belirlenerek analizler yapılmış ve istasyon kullanım oranları ve yoğunlukları belirlenmiştir (Morency ve diğ., 2006). Bünyelerinde bulunan coğrafi koordinatlar ve zaman işaretlemeleri ile hizmetten faydalanan kullanıcı davranışlarını tahmin edebilme imkânı sağlayarak, bir yolculuğun başlangıç ve varış noktalarını oluşturabilmeyi mümkün kılmaktadırlar. Bu akış O-D matris oluşumları ile gerçekleştirilebilmektedir. Kent içi ulaşım planlama çalışmalarında ulaşılmak istenen temel çıktılardan biri de O-D Matrisi olarak adlandırılan başlangıç-bitiş matrisleridir (Alper, 2012). O-D kavramı, ingilizcede origin ve destination kelimelerinin kısaltılması ile literatüre işlenmiştir. Türkçe'de başlangıç-bitiş ve başlangıç-son anlamlarına gelmekte olup, ulaştırma sektöründe kalkış-varış kavramları ile ilişkilendirilmektedir. Ortaya çıkarılan O-D matrisleri ve hattın özellikleri dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda istasyon ve hat kapasiteleri, rota seçimleri, zirve saat-tüm gün ayrımları, hafta içi ve hafta sonu karşılaştırmaları, bilet kategorileri ve arazi kullanımları vb. analizler ulaştırma uzman ve paydaşlarına ayrıntılı bilgiler sağlamaktadır. Oluşturulan O-D matrisleri aracılığı ile Transport for London tarafından her durakta binen ve inen kişi sayısı, seyahat amacı, her yolculuk için biniş ve iniş yerleri ve yolcuların biniş durağına ve biniş durağından iniş durağına nasıl geldikleri dahil olmak üzere yolcu seyahat modelleri hakkında ayrıntılı bilgi edinilebilir (John P. Attanucci,

2011). Ulaştırma uzmanları ellerinde bulunan veriler ve bu verilerden oluşturdukları O-D akımları ile çeşitli tahminler ve çıkarımlarda bulunabilirler. Yolcu hacimlerini tahmin etmek için yapılan bir çalışmada, O-D matrisleri katılımdan katılıma/ayrıma otoyol O-D hacimlerini tahmin etmek için otomatik araç tanımlama (AVI) kullanılarak ve kullanılmayarak tahmin doğruluklarının bir karşılaştırması yapılmış ve O-D tahmininde AVI verilerinin kullanılmasının matris tahminlerinin doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Michael P. Dixon, 2005). Bu çalışmanın yanı sıra Hong Kong'daki demiryolu toplu taşıma (MTR) ağının bir bölümü göz önüne alınarak tahmini ve gerçek O-D matrisleri oluşturulmuş ve bu iki matris arasında iyi bir uyum bulunmuştur (S.C.Wong, 1998).

Akıllı kart sistemleri sunduğu birçok avantajın yanında, bazı dezavantajlara da sahip olup, bu negatif taraflar toplu taşıma planlayıcıları ve araştırmacıları, akıllı kart sistem sağlayıcıları ve ulaşım karar vericileri arasındaki kopukluk giderilerek aşılabilecektir.

Aşağıdaki Tablo 1.1 akıllı kart sistemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir. (Avantajlardan birkaçı tabloya eklenmiştir.)

Tablo 1.1 Akıllı kart sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Yolcu davranışlarına ilişkin sürekli bilgi akışı sağlanabilir.	Nüfusun temsil edilebilirliği bütünüyle garanti edilemez.
Analizler için ayrıntılı veri edinme olanağı sağlar.	Yolculuk amacı veya hizmetin yolcu tarafından nasıl algılandığı hakkında bilgi sağlama kısmında boşluk vardır.
Veri hacmi arttıkça birim sistem maliyeti azalır.	Uygulamalar için daha yüksek maliyetlidirler.
Uzun vadeli planlamalara olanak sağlamaktadırlar.	Elektronik sistem temalı olduğundan eksik bilgi sorunu olabilir.
Biniş süresinde zamandan tasarruf sağlar.	Kullanıcı gizliliği problemleri oluşabilir.
Taktiksel ve operasyonel (işletimsel) planlamalarda kolaylık sağlar.	Zaman zaman büyük veri sorunları meydana gelebilir.

İstanbulkart, İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraki olan Belbim tarafından geliştirilip üretilen akıllı şehir kartıdır (İstanbulkart, 2021). Çıkış tarihi 23 Mart 2009 olan kart, toplu taşıma sistemleri dışında sosyal tesisler, bazı otomatlar, tuvaletler ve alışverişlerde de kullanılabilir.

Anonim kart, indirimli kart, mavi kart, ücretsiz kart ve sınırlı kullanıma izin veren sınırlı kartlar adı altında işlem sağlayan çeşitli kartlar bulunmaktadır.



Şekil 1.1 Anonim tip İstanbulKart örneği

İstanbul'da toplu taşıma işletmecileri olan İETT, Metro İstanbul, TCDD Taşımacılık, Şehir Hatları, İstanbul Deniz Otobüsleri ve özel deniz taşımacılığı kooperatifi tarafından işletilen hatlarda (metro hatları: M1A, M1B, M2, M3, M4, M5, M6, M7; tramvay hatları: T1, T2, T3, T4, T5; trenler: Marmaray; füniküler: F1, F2, F3; teleferik: TF1, TF2; metrobus hatları ve denizyolu hatları) İstanbulKart sistemi kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Demiryolu taşımacılığında geleneksel yöntemler ile büyük veriyi değerlendirmek geçmiş dönemlerde büyük zorluklar içermekteydi. Gelişen teknoloji ile beraber bu değerlendirmeleri yapmak zaman, güvenilirlik ve inceleme kapsamı açısından daha sağlıklı bir çözüm ortaya koymaktadır. Bu sayede ulaştırma uzmanları hizmet sağlayıcılara, ele aldıkları veriler ile geniş bir bilgi hazinesi sağlayarak sistem planlamasına önemli bir katkıda bulunup, şehrin ulaştırma ağı sorunlarına ve gelecek planlamalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, çeşitli hatlardan oluşa demiryolu ağına sahip olan İstanbul'da, iki yakayı denizin altından birbirine bağlayarak 43 durak ile hizmetine devam eden Marmaray hattındaki yolculuklar ele alınmıştır. 2020 yılı Ocak ayı İstanbulKart verileri ile çalışarak, bazı kabuller altında çeşitli analizler yapılıp, bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Yaptığımız analizler, gün ve zirve saat ayrımları, zirve saatlerin sabah-akşam kendi içerisinde ayrımları, bir ay içerisinden seçtiğimiz bir haftanın hafta içi, cumartesi ve pazar günü ayrımlarını, yolcuların istasyonlara göre dağılım sayılarını ve talebi yüksek olan istasyonlara daha yakından bakılmasını kapsamaktadır. Bunların

yanında, ödeme kategorilerine göre yapılan ayrımlar ve kabuller doğrultusunda oluşturulan O-D matrislerini istatistiksel yöntemler ile inceleyerek bazı çıkarımlarda bulunmak çalışmanın amaçları arasındadır. Yapılan analizler ile Marmaray hattının daha verimli bir şekilde hizmet sağlamasına ışık tutulmak istenmektedir.

1.3 Hipotez

İstanbulKart verileri kullanılarak hat bazında, istasyon bazında ve zaman bazında biniş ve iniş yolculukları incelenip, yolcu trafiği ile ilgili çeşitli sayısal analizler yapılabileceği ve çeşitli öngörülerde bulunulabileceği varsayılmaktadır. Tezin sayısal bölümlerinde bu varsayımın geçerliliği gösterilmektedir.

2
MARMARAY

İstanbul'un iki yakasını denizin altından raylı sistem içeren batırma tüpler ile birbirine bağlayan Marmaray Projesi İstanbul ve Türkiye için çok büyük bir öneme sahiptir. Uzun bir hat boyunca iki yaka arasında kesintisiz ulaşım imkânı sağlayabilmesinden dolayı, mevcut ulaştırma türleri içerisinde sıklıkla tercih edilmektedir. Karayolu trafik sıkışıklığını, yaşanacak olan kaza ve hava kirliliği sorunlarını azaltma potansiyeline sahip hat, Türkiye'nin Asya ve Avrupa ile bağlantılarını geliştirecek yüksek hızlı demiryolu teknolojisine göre inşa edilmiştir (Efe ve Cürebal, 2011). Kentin iki yakasını bir ulaştırma yapısıyla birleştirme fikri ilk defa 1860 yılında ortaya atılmıştır. İlerleyen yıllarda çeşitli projeler geliştirilmiş olsa bile, ilk fizibilite etüdü ancak 1985 yılında tamamlanabilmiştir. Fizibilite etütleri 1997 yılında güncellenerek, izleyen yıllarda mühendislik, müşavirlik sözleşmeleri imzalanmış ve zemin çalışmaları başlatılmıştır. 2004 yılında başlayan inşaat çalışmaları, 4 Ağustos 2013 yılında %95'i tamamlanmış bir şekilde deneme sürüşlerine başlanarak, 29 Ekim 2013 yılında ilk etap hizmete girmiştir. Boğaz'ın altından geçen tüp geçidi de kapsayan ilk etap Kazlıçeşme, Yenikapı, Sirkeci, Üsküdar ve Ayrılık Çeşmesi istasyonlarını içermekte olup, bu kesim 13,6 km uzunluğundadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Marmaray 1. Etap istasyonları ve güzergâhı

Projenin ikinci etabı eski banliyö hatlarındaki modernizasyon çalışmalarının tamamlanması ile birlikte 12 Mart 2019 yılında hizmetine başlamıştır. Eklenen bu etap ile beraber Halkalı ve Gebze arasında kesintisiz ulaşım imkânı sağlayan hat, ilk olarak 42 istasyon ile, daha sonra Aqua Florya İstasyonu'nun eklenmesi sonucunda 43 istasyon ile mevcut halini almıştır.

Tablo 2.1'de listelenen Marmaray hattı üzerindeki istasyonlar tiplerine göre 4 farklı kategoride incelenebilir.

Tablo 2.1 İstasyon tiplerine göre sınıflandırma (Marmaray Risk Analizi Sistem Tanımı ve Özet Raporu, 2021)

İstasyonlar Tip A	İstasyonlar Tip B	İstasyonlar Tip S	Yeraltı
Florya, Yeşilköy, Yeşilyurt, Ataköy, Yenimahalle, Feneryolu, Erenköy, Suadiye, Süreyyaplajı, Maltepe, Atalar, Kartal, Yunus, Pendik, Aydıntepe, İçmeler, Çayırova	Halkalı, Mustafa Kemal, Küçükçekmece, Florya Akvaryum, Zeytinburnu, Göztepe, İdealtepe, Başak, Kaynarca, Güzelyalı, Tuzla, Fatih, Osmangazi, Darıca	Bakırköy, Bostancı, Küçükyalı, Cevizli, Tersane, Gebze	Üsküdar, Sirkeci, Yenikapı

İstasyon Tip A: Konkors (giriş) seviyesinin peron düzeyinin altında kaldığı istasyon tipidir.

İstasyon Tip B: Konkors seviyesinin peron düzeyinin üstünde kaldığı istasyon tipidir.

İstasyon Tip S: Özel istasyon tipidir.

Yeraltı İstasyonları: Konkors ve peron düzeyinin yerin altında kaldığı istasyon tipidir.

Şekil 2.2'de gösterilen 76,6 km uzunluğundaki hattın tamamı engelli erişimine sahip olup, 38 adet istasyon İstanbul, 5 adet istasyon ise Kocaeli sınırları içerisinde

yer almaktadır. İstasyonlar arasındaki ortalama mesafe 1,9 km uzunluğunda olup, ortalama istasyon uzunluğu ise 225 metre olarak belirlenmiştir (Vikipedi, 2021).

Halkalı İstasyonu, Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği'ne ulaşım imkânı sağlamakla beraber, gelecek yıllarda M1B ve M11 hatları ile entegrasyon sağlanması planlanmaktadır.

Küçükçekmece İstasyonu, Metrobüs hattı ile aktarma yapma imkânı sunmaktadır.

İnşaatı devam eden M9 hattı tamamlandığında, Ataköy istasyonunda bu hat ile aktarma olanağı bulunacaktır.

Hattın önemli istasyonlarından biri olarak kabul edilen Bakırköy istasyonunda Yüksek Hızlı Tren işletmeciliği mevcut olup, gelecekte de inşaatı devam eden M3 hattı ile entegrasyon sağlanacaktır.

Kentin ana aktarma merkezlerinden biri olan Yenikapı İstasyonu, M1 (M1A, M1B), M2 ve İstanbul Deniz Otobüsleri (İDO) ile transfer imkânı sağlamaktadır.

Tarihi bir öneme sahip olan Sirkeci İstasyonu, konumundan dolayı birçok aktarma olanağı içermektedir. Kullanıcılar bu istasyondan Sirkeci Tramvay İstasyonu, BUDO (Eminönü Terminali), İDO (Sirkeci Terminali) ve Şehir Hatları'na ulaşabilmektedirler.

Üsküdar İstasyonu'nda M5 ve Şehir Hatları ile aktarma imkânı sağlanmaktadır.

Marmaray'ın ilk etap ana istasyonlarından biri olan Ayrılık Çeşmesi, M4 Metro Hattı ile bağlantı olanağı sağlamaktadır.

Marmaray'ın Anadolu Yakası istasyonlarından biri olan Söğütlüçeşme İstasyonu, Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği ve Metrobüs ile entegre durumda bulunmaktadır.

İnşaatı sürmekte olan M12 Metro Hattı, Göztepe İstasyonu ile Marmaray'a entegre olacaktır.

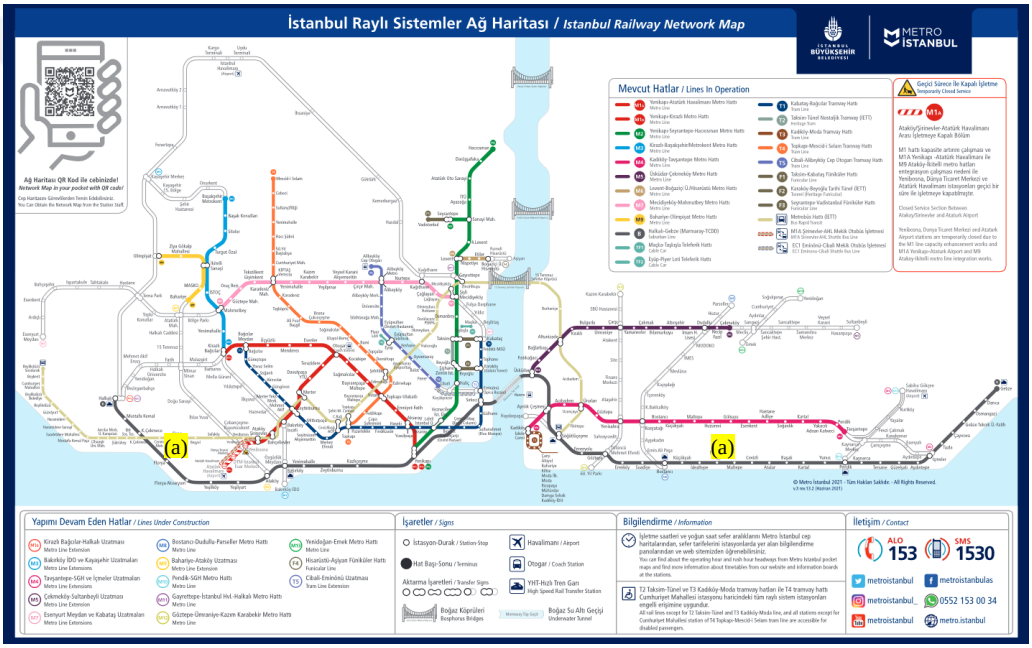
Bostancı İstasyonu, hizmetine devam eden Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği, İstanbul Deniz Otobüsleri ve Şehir Hatları gibi ulaştırma modlarının yanında, gelecekte tamamlanması planlanan M8 Metro Hattı ile transfer imkânı sağlayacaktır.

Kartal İstasyonu, İstanbul Deniz Otobüsleri ile entegredir.

Mevcut olarak Yüksek Hızlı Tren işletmeciliği ve İstanbul Deniz Otobüsleri ile aktarma olanağı sağlayan Pendik İstasyonu, gelecekte inşaat halinde bulunan M10 Metro Hattı ile de transfer imkânı sağlayacaktır.

İçmeler İstasyonu'nun, inşaat çalışmaları devam etmekte olan M4 Metro Hattı ile transfer merkezi olması planlanmaktadır.

Marmaray'ın başlangıç-son istasyonlarından biri olan Gebze İstasyonu, Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği ile entegre vaziyettedir.



Şekil 2.2 (a) Marmaray'ın istasyonları ve güzergâhı (https://www.metro.istanbul/)

Marmaray 60,46 metre derinliği ile üzerinde raylı sistem hattı bulunan dünyanın en derindeki batırma tüp tüneline sahiptir. Gebze-Ayrılık Çeşmesi ve Kazlıçeşme-Halkalı istanyonları arasında 3 hat ile hizmet sağlarken, Ayrılık Çeşmesi-Kazlıçeşme istasyonları arasındaki hat sayısı 2'dir. Hat üzerinde şehiriçi yolcu trenleri, şehirlerarası yolcu trenleri ve yük trenleri belirlenen saatler kapsamında hareket edebilmektedir. Zeytinburnu-Maltepe istasyonları arasındaki sefer sıklığı 8 dakika iken, Halkalı-Gebze istasyonları arasındaki sefer sıklığı 15 dakikadır.

Hattın bütünü boyunca (Halkalı-Gebze) seyahat süresi 115 dakikadır. Hattın genel özellikleri ile ilgili bazı bilgiler aşağıdaki Tablo 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.2 Marmaray hattının genel özellikleri

Hat Gerilimi	Pantograf, AC 25 kV, 50 Hz
Ray Açıklığı	1435 mm
Anahat Minimum Kurp Yarıçapı	300 m
İstasyon Minimum Kurp Yarıçapı	90 m
Azami Hız	95 km/sa
Ticari Hız (İşletme Hızı)	50 km/sa

Marmaray'ın planlama sürecinde hattı kullanan günlük toplam yolcu sayısı 1.000.000 olarak hedeflenmesine rağmen, bu toplam günlük 350-400 bin yolcu sayısı olarak tespit edilmiştir. Genel olarak hattı kullanan yolcuların %52'si Avrupa Yakası'ndan, %48'i ise Anadolu Yakas'ndan hatta erişmişlerdir (Vikipedi, 2021). Marmaray bünyesinde 34 adet onlu, 20 adet beşli tren setleri olmak üzere toplam 54 set ile hizmet vermektedir. Onlu setler 01-34 arasında, beşli setler ise 51-70 arasında numaralandırılmıştır. Dizi düzeninde, M: motorlu vagon ya da çekici taşıt (M1, M2, M3, M4); T: treyler vagon ya da çekilen taşıt (T1, T3, T4, T5, T6 pantograflı trayler vagon, T2 treyler vagon); MCT: onlu set kabinli vagon (MCT1, MCT2); MCF: beşli set kabinli vagon (MCF1, MCF2) şeklinde isimlendirilmiştir. MCT vagonları 22,6 metre iken, diğer bütün vagonlar ise 22,5 metredir. Onlu setler toplamda 225,2 metre uzunluğunda olup, beşli setler ise 112,5 metre uzunluğuna sahiptir. Tablo 2.3 ve 2.4'te dizi düzenleri (tren konfigürasyonları) gösterilmiştir.

Tablo 2.3 5'li Tren dizisi

5'li TREN DİZİSİ: **MCF-T5-M4-T6-MCF**		
YOLCU KAPASİTESİ 6 KİŞİ/M²'ye göre %90 DOLULUK ALINMIŞTIR	Oturma	248 KİŞİ
	Ayakta durma	1389 KİŞİ
	Toplam	1637 KİŞİ
MAKS. SEYİR HIZI		80 KM/SA

Tablo 2.4 10'lu Tren dizisi

10'lu TREN DİZİSİ: **MCT-T3-M11-M2-T4-M3-T2-M12-T1-MCT**		
YOLCU KAPASİTESİ 6 KİŞİ/M²'ye göre %90 DOLULUK ALINMIŞTIR	Oturma	508 KİŞİ
	Ayakta durma	2548 KİŞİ
	Toplam	3056 KİŞİ
MAKS. SEYİR HIZI		80 KM/SA

Marmaray'da binişlerde akıllı kartın okutulduğu istasyona göre en uzak mesafe ücreti kesilir. Ancak sistem, yolcunun indiği istasyona bağlı olarak ücret tahsilatı yapar ve eğer iade ücreti mevcut ise, kartın okutulması durumunda ücret iade cihazından akıllı karta iade eder. Aynı akıllı kart birden fazla kişi için kullanıldığı takdirde, kullanılan karta sadece bir adet iade işlemi yapılır. Tablo 2.5 ve 2.6'da, Ocak 2020 itibariyle ücret tarifesi ve istasyon sayısına göre alınan ücret bilgileri gösterilmektedir.

Tablo 2.5 Parkura göre ücret tarifelendirmesi

Elektronik Bilet	Tam	Öğrenci	Sosyal	Abonman	Elektronik Bilet	Marmaray Bilet
En Az Taşıma Ücreti	₺3,50	₺1,70	₺2,50	1 Geçiş	₺15 (Üç-Geç)	₺15
Tam Parkur Taşıma Ücreti	₺7,75	₺3,50	₺5,40	4 Geçiş	₺15 (Üç-Geç)	₺15

Tablo 2.6 İstasyon sayısına göre alınan ücret

Ücretlendirme Grupları	Tam	Öğrenci	Sosyal	Abonman	Elektronik Bilet	Marmaray Bilet
1 - 7 İstasyon	3,50	1,70	2,50	1 Geçiş	Üç-Geç	1 (Tanesi 15₺)
8 - 14 İstasyon	4,50	2,10	3,10	2 Geçiş	Üç-Geç	1
15 - 21 İstasyon	5,20	2,50	3,65	2 Geçiş	Üç-Geç	1
22 - 28 İstasyon	6,00	2,85	4,25	3 Geçiş	Üç-Geç	1
29 - 35 İstasyon	7,00	3,35	5,00	3 Geçiş	Üç-Geç	1
36 - 43 İstasyon	7,75	3,50	5,40	4 Geçiş	Üç-Geç	1

3
BAŞLANGIÇ – SON YOLCULUK MATRİSLERİNİN OLUŞTURULMASI VE UYUMLULUK TESTİ

Bu bölümde 2020 yılı 0cak ayında Marmaray hattını kullanan yolcuların verilerinden elde ettiğimiz bilgiler ışığında O-D matrislerinin nasıl oluşturulacağı anlatılmıştır. Hattı kullanan yolcuların bir bölümünde iade istasyonları gözlemlenebilirken, iade istasyonunu bilmediğimiz yolcuların istasyon bilgileri tahmini için kabuller yapılmıştır. Kabul yapılmadan oluşturulan matris ve kabuller çerçevesinde oluşturduğumuz matrislerin uyumlu olup olmadığı örnek bir gün üzerinden incelenmiştir.

3.1 Başlangıç-Son (O-D) Matrislerinin Oluşturulması

Marmaray verilerinin içeriğinde her İstanbulKart kaydına ilişkin zaman, istasyon, ödeme türü vb. veriler bulunmaktadır. Şekil 3.1'de aldığımız verilerin ham halinin bir örnek görüntüsü verilmiştir. Bu veriler kapsamında, yolcuların seyahatin başındaki durağa eriştiklerinde akıllı kartlarını turnike sisteminde okutmaları suretiyle biniş istasyonları ve seyahatin sonunda akıllı kartlarını bu kez iade cihazlarında okutmaları suretiyle iniş istasyonları kayıt altına alınmaktadır. Yolcu akıllı kartını iade cihazında okutmadıysa, iniş istasyonu verisi "boş" bırakılmıştır. Hem biniş hem de iniş istasyon bilgisi kaydedilen yolcuların veri kayıtlarından başlangıç-son matrisi oluşturulabilir. Bununla birlikte, seyahatlerinin sonunda akıllı kart okutması yapmadıkları için iniş istasyonları bilinmeyen yolcuların son istasyonları, uygun kabuller yapılarak tahmin edilebilir. Böylece, tüm yolcular için başlangıç-son matrisleri oluşturulabilir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	O	S
1	rownum	gecisTarih	anonimKartId	Hat	Operator	OperatorGrubu	Istasyon	YolTipi	MedyaTipi	GecisKategori	IadeIstasyon	iadeGeciskategori
2	2000000	2020-01-06 14:23:07.000	1901147	MARMARAY	Marmaray	TCDD	17. Feneryolu	Ray	İstanbul Kart	Ücretsiz Geçiş	-	NULL
3	2000001	2020-01-06 14:26:01.000	1119371	MARMARAY	Marmaray	TCDD	17. Feneryolu	Ray	İstanbul Kart	İndirimli Geçiş	08. Bakırköy	İndirimli İade
4	2000002	2020-01-06 14:28:42.000	1105247	MARMARAY	Marmaray	TCDD	17. Feneryolu	Ray	İstanbul Kart	Tam Geçiş	05. Kazlıçeşme	Tam İade
5	2000003	2020-01-06 14:30:26.000	1893790	MARMARAY	Marmaray	TCDD	17. Feneryolu	Ray	İstanbul Kart	Tam Geçiş	22. Küçükyalı	Tam İade

Şekil 3.1 Ham veri formatı örneği

3.1.1 Biniş ve İniş İstasyonları Bilinen Yolcuların Verileri Kullanılarak O-D Matrisi Üretimi

Tablo 3.1, 6 Ocak 2020 Pazartesi gününe ait veri dosyasından elde edilen 6 adet akıllı kart okumasına ait kayıtları içermektedir. İki farklı kart numarası (ID'si) bulunan bu verilerde, seyahatin başladığı istasyonun adı "biniş istasyonu" sütununda bulunmaktadır. 1 ve 2 ID numaralı kartlara sahip olan yolcular 1, 2, 4 ve 6. satırdaki yolculuklarında indikleri yerlerde iade cihazlarını kullanmadıkları için, inilen istasyonlar bilinmemektedir. Yani ham verilerde, iade almayan yolcuların iniş istasyonu sütunu boş bırakılmıştır. Buna karşın, 3 ve 5 numaralı kayıtların "iniş istasyonu" sütununda, kart okutması yapan yolcuların indikleri istasyonların adları bulunmaktadır.

Tablo 3.1 İniş istasyonları bilinmeyen yolculuklar

Kayıt No	Geçiş Tarihi	Saat	Kart ID	Biniş İstasyonu	İniş İstasyonu
1	06.01.2020	07:45:17	1	Yenikapı	-
2	06.01.2020	17:33:39	1	Ayrılık Çeşmesi	-
3	06.01.2020	11:29:03	2	Kazlıçeşme	Sirkeci
4	06.01.2020	11:29:09	2	Kazlıçeşme	-
5	06.01.2020	16:50:16	2	Sirkeci	Kazlıçeşme
6	06.01.2020	16:50:22	2	Sirkeci	-

6 Ocak 2020 Pazartesi günü Halkalı-Gebze yönünde oluşturulan başlangıç-son (O-D) matrisi tüm istasyon çiftleri için Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Bu tablodaki başlangıç (biniş) istasyonları satırda ve son (iniş) istasyonları sütunda gösterilmiştir. Hücrelerdeki sayılar, gün boyunca (xx:xx – xx:xx arasında)

Marmaray'ı kullanan yolcuların sayılarıdır. Tablo 3.2'de "iniş istasyonu" veri kaydı olmayan yolcular bulunmamaktadır. Matrisin bu hali "kabulsüz" olarak da tanımlanmıştır. Örneğin "kabulsüz" O-D matrisi oluşturulurken, Tablo 3.1'deki 3. ve 5. satırlardaki kayıtlar (hem biniş hem iniş istasyonları bilindiği için) kullanılmıştır; ancak, 1., 2., 4. ve 6. satırlardaki veriler (iniş istasyonları bilinmediği için) kullanılmamıştır.

Tablo 3.2'deki başlangıç-son (O-D) matrisi Excel'de makro kullanılarak otomatik bir şekilde oluşturulmuştur. Marmaray hattı, bünyesinde 43 istasyon bulundurduğundan, ham verilerde okuduğumuz biniş ve iniş istasyonları 1'den 43'e kadar numaralandırılmıştır. Biniş istasyonları makroda matrisin satır numarasını göstermek üzere 'i' ile ifade edilirken, iniş istasyonları makroda matrisin sütun numarasını göstermek üzere 'j' ile ifade edilmiştir. Oluşturulan O-D matrisleri 43x43 boyutunda olmaktadır. Hazırlanan makronun adımları ana hatlarıyla aşağıda verilmiştir.

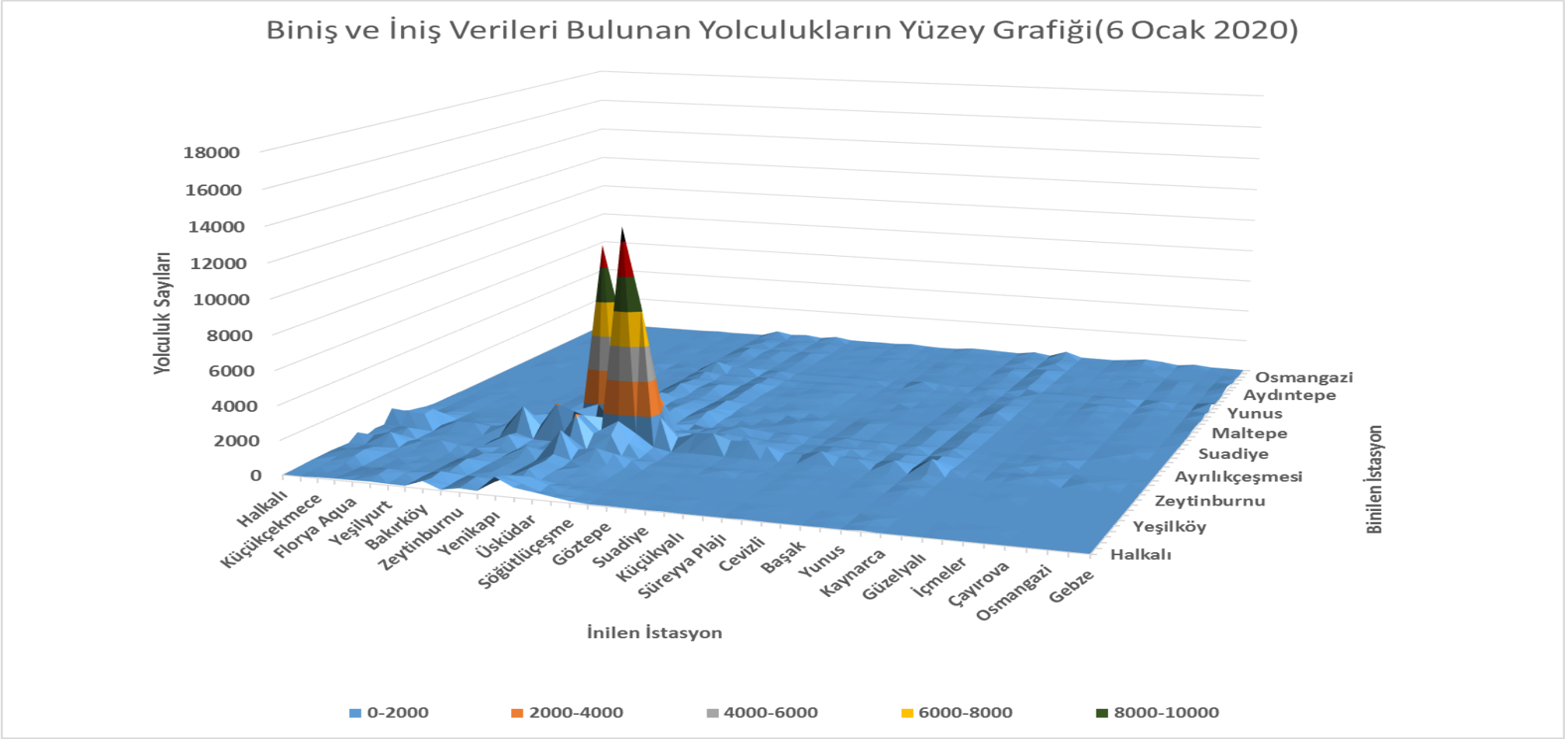
- Ham verilerden okunan kart ID numaraları incelediğimiz gün için küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır.
- Sabah (06:00-10:00) zirve süresi içinde biniş (başlangıç) için kart okutması yapan yolcunun (varsa) geri ödeme yani iniş (son) kart okutması tespit edilmiştir.
- Biniş ve iniş kart bilgileri bulunan her bir kart başlangıç ve son (O-D) istasyon numaraları kaydedilmiş ve bu istasyon çiftinin numaratörü bir kademe arttırılmıştır.
- Yukarıdaki adımlar bir güne veri kümesindeki uygun (geri ödeme okutması yapılan) tüm kart ID numaraları için uygulanmıştır.
- Birikimli kart okutma sayıları biniş ve iniş istasyonlarına göre Tablo 3.2'deki matrise işlenmiştir.

Tablo 3.2'de hücrelerin en solunda gri renkle gösterilen ve 1'den 43'e kadar numaralara sahip olan sayılar Halkalı 1 numaraya, Gebze 43 numaraya sahip olacak şekilde hattı kullanan yolcular için biniş istasyonlarını göstermektedir. Hücrelerin en üstünde gri renkle gösterilen numaralar ise iniş istasyonlarıdır.

Matrislerin satır toplamları ilgili gün için toplam biniş sayılarını verirken, her bir istasyon için kendi satırında bulunan değerlerin toplamı, ilgili istasyonda o gün için toplam biniş sayısını vermektedir. Matrislerin sütun toplamları ilgili gün için toplam iniş sayılarını verirken, her bir istasyon için kendi sütununda bulunan değerlerin toplamı, ilgili istasyonda o gün için toplam iniş sayısını vermektedir. Örneğin Tablo 3.2'de mavi renkle boyanmış olan satır, 6 Ocak Pazartesi günü için 13 numaralı Yenikapı istasyonundan binen ve istasyonlara dağılan (biniş ve iniş verisi bulunan) yolcuların sayısını vermektedir. Tablo 3.2'de turuncu renkle boyanmış olan sütun, yine aynı gün için 15 numaralı Üsküdar istasyonunda inen (biniş ve iniş verisi bulunan) yolcu sayılarını vermektedir. Tablo 3.2'de sarı renkle boyanmış hücre ise 13 numaralı Yenikapı istasyonundan binip, 15 numaralı Üsküdar istasyonunda inen yolcu sayısını (12849) adet iniş göstermektedir. Şekil 3.2'de ise 6 Ocak Pazartesi gününe ait biniş ve iniş verisi bulunan yolcular için oluşturulan O-D matrisinin yüzey grafik gösterimi verilmiştir.

Tablo 3.2 Biniş ve iniş verileri bulunan yolculuklar için Halkalı-Gebze yönü başlangıç-son (O-D) matrisi (6 Ocak 2020)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	0	8	56	79	87	111	81	64	435	40	224	174	1073	571	425	269	116	38	41	32	25	41	19	7	9	41	26	20	6	31	4	64	11	11	4	12	0	0	0	0	0	0	0
2	6	0	22	40	154	269	95	52	346	32	272	152	884	524	150	105	41	7	14	13	8	18	12	5	2	10	7	1	1	6	1	22	2	3	1	4	6	0	0	0	0	0	0
3	41	24	0	42	185	329	200	68	447	60	348	130	671	649	265	154	85	53	52	45	41	53	27	16	13	41	33	16	7	42	6	84	14	6	9	23	28	18	0	0	0	0	0
4	78	47	60	0	9	42	39	44	183	39	54	29	162	80	53	41	23	3	4	10	12	12	8	1	4	5	5	1	3	8	1	9	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0
5	89	168	265	8	0	58	15	30	300	18	114	59	472	172	117	67	25	12	15	12	21	10	12	5	6	10	4	1	0	0	3	5	3	3	0	2	3	5	0	1	0	0	0
6	102	272	365	39	47	0	19	38	391	46	115	58	436	179	108	97	32	20	23	12	13	12	9	2	1	10	3	3	1	8	1	13	0	3	1	2	1	3	1	2	0	0	0
7	82	110	264	33	30	28	0	26	223	35	81	43	392	113	218	172	44	33	52	43	31	38	26	14	7	33	18	6	0	16	4	17	5	2	2	1	1	3	1	2	2	2	0
8	62	54	80	42	28	39	24	0	183	23	99	47	516	230	242	163	52	36	34	23	30	27	14	8	9	22	10	11	6	10	2	31	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	450	376	667	175	355	420	251	164	0	33	542	354	1691	642	806	574	255	88	105	102	82	135	72	27	37	66	52	35	25	61	4	93	21	11	9	16	36	0	0	0	0	0	0
10	36	33	87	42	32	52	37	35	49	0	69	86	722	328	187	140	73	20	21	22	20	21	14	9	2	6	5	7	5	11	2	13	0	1	1	2	5	2	0	0	0	0	0
11	205	268	431	60	128	119	87	90	532	74	0	82	2145	1065	1072	668	169	34	46	46	30	53	37	17	21	47	19	28	8	32	8	88	11	2	4	10	16	10	0	0	0	0	0
12	177	168	142	31	73	78	50	42	384	98	75	0	1825	873	1657	1001	274	59	99	98	56	73	58	23	39	60	51	28	12	52	5	100	10	7	6	11	20	4	1	8	0	0	0
13	944	850	764	165	495	490	364	555	1775	689	2119	1729	0	1502	12849	8352	1818	681	1015	1127	789	821	632	290	315	614	365	336	150	450	92	744	173	96	44	112	189	148	11	113	72	0	0
14	570	512	846	88	171	221	116	212	956	401	1053	958	2020	0	7107	3779	551	216	445	431	319	357	267	132	147	280	151	145	55	211	45	380	97	56	39	48	64	75	3	55	59	26	0
15	332	122	303	60	134	107	97	211	767	164	855	1510	11321	6904	0	2766	491	445	455	581	475	356	305	143	183	344	336	166	109	228	34	368	91	62	50	103	0	0	0	0	0	0	0
16	223	84	172	34	81	90	99	152	580	130	517	879	8072	3740	2960	0	256	215	236	239	215	135	131	63	76	98	105	115	66	66	16	84	41	22	14	28	50	0	0	0	0	0	0
17	102	28	76	19	31	40	31	47	250	57	191	251	1694	619	499	261	0	225	386	517	400	289	342	212	195	321	273	298	172	252	61	268	72	55	56	88	154	158	0	0	0	0	0
18	34	5	32	3	10	13	21	25	99	12	21	52	554	194	383	161	149	0	49	95	78	96	94	61	79	125	77	64	33	100	20	140	27	17	20	25	45	29	3	0	0	0	0
19	27	5	38	6	7	18	22	23	83	9	27	71	768	359	422	195	308	51	0	72	118	114	77	44	58	146	81	85	41	123	16	155	35	27	19	35	51	32	3	50	0	0	0
20	30	8	45	18	11	11	29	28	90	19	29	79	892	430	518	202	487	87	56	0	59	139	100	29	62	169	110	75	50	147	25	207	39	30	31	43	35	40	2	45	84	0	0
21	16	11	28	7	14	9	13	19	94	20	25	44	620	279	437	187	379	40	100	69	0	115	151	59	71	206	111	96	58	173	29	199	33	33	23	35	59	32	4	38	55	17	0
22	0	0	0	0	0	0	0	25	118	18	44	61	596	321	350	125	394	125	124	140	96	0	52	47	58	126	107	106	96	85	33	118	44	31	22	39	0	0	0	0	0	0	0
23	0	4	25	6	11	6	8	21	75	11	36	48	616	291	283	112	434	148	76	99	126	63	0	10	13	31	50	36	24	80	17	133	20	11	18	32	44	46	4	30	18	6	49
24	0	0	13	4	5	4	4	9	31	8	17	30	320	140	152	49	238	72	51	28	61	50	10	0	10	14	34	20	12	35	15	56	13	10	20	10	24	25	4	13	7	5	22
25	0	0	0	4	4	0	1	8	36	3	17	20	294	151	190	79	233	89	66	66	64	61	24	11	0	25	42	32	26	78	12	87	19	14	13	30	50	31	3	26	19	7	45
26	0	0	0	0	8	7	8	15	84	6	29	50	506	241	291	80	318	138	146	161	153	103	29	16	15	0	66	44	29	122	29	272	50	44	26	48	79	81	6	65	39	27	111
27	0	0	0	0	0	1	5	16	49	6	19	37	373	190	365	110	299	97	93	128	122	115	42	45	56	77	0	23	10	95	26	218	58	35	34	36	68	56	3	52	43	21	110
28	0	0	0	0	0	0	3	5	48	8	19	30	311	152	192	116	355	81	82	75	124	119	37	25	31	41	23	0	5	55	28	171	45	37	30	62	115	53	4	48	30	9	84
29	0	0	0	0	0	0	0	5	24	2	5	9	163	86	89	61	204	56	34	43	62	56	36	15	27	30	9	4	0	18	19	81	34	26	23	37	63	30	4	23	15	10	38
30	0	4	48	4	6	5	4	12	63	16	23	55	369	196	189	72	278	151	113	124	155	124	83	37	78	123	69	43	27	0	29	142	60	72	36	69	186	117	5	112	55	25	167
31	0	0	12	1	2	3	1	2	11	1	4	8	87	48	43	27	68	24	20	23	27	42	19	11	13	27	21	19	19	34	0	42	12	16	11	20	28	26	2	25	12	11	36
32	0	0	0	12	7	10	9	16	101	7	76	67	602	350	339	86	261	154	160	164	161	160	145	54	77	308	213	144	74	150	41	0	124	148	149	117	198	205	11	214	116	77	388
33	0	0	0	0	1	1	2	5	21	1	12	12	164	87	82	33	85	36	44	49	27	52	30	11	22	49	75	43	40	47	11	118	0	10	30	17	30	25	4	36	17	14	64
34	0	0	0	0	0	3	1	2	10	4	2	15	99	59	70	20	66	33	38	57	45	44	25	13	14	66	54	37	22	80	21	183	19	0	11	28	29	28	1	28	16	15	52
35	0	0	0	0	0	0	1	1	8	0	2	4	46	39	44	21	57	21	17	23	22	29	17	14	15	24	38	25	26	45	8	153	33	9	0	7	12	18	3	36	13	10	29
36	0	0	0	0	0	0	0	1	17	7	11	9	114	49	114	30	107	52	47	55	47	57	32	16	28	65	50	57	37	83	23	132	13	31	6	0	2	29	2	88	53	75	160
37	0	2	34	0	3	1	0	5	47	3	25	21	253	110	151	76	153	59	72	46	55	74	53	24	50	114	75	97	59	204	36	224	24	47	22	7	0	51	5	116	56	99	256
38	0	0	19	0	4	1	1	3	21	4	13	20	222	82	159	60	168	43	36	53	41	92	44	35	35	80	59	49	31	121	34	206	26	26	19	27	46	0	8	86	49	37	172
39	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	6	2	6	2	6	3	4	2	5	7	4	3	3	6	2	3	4	5	3	7	5	5	2	0	5	6	0	3	0	5	6
40	0	0	0	0	1	0	2	4	9	2	13	20	169	59	133	48	102	37	53	48	43	83	39	22	39	71	57	49	24	135	37	219	40	28	40	82	100	99	2	0	2	15	97
41	0	0	0	0	0	1	2	5	25	0	24	13	129	63	87	42	109	56	46	92	68	58	24	13	17	53	56	43	17	83	21	136	25	24	19	50	73	69	1	5	0	9	21
42	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	3	41	30	17	17	41	22	21	20	26	37	7	11	8	39	23	10	8	25	8	76	12	17	15	64	134	39	3	21	5	0	15
43	0	0	0	0	0	0	0	5	50	2	24	26	361	182	242	116	257	101	84	92	76	140	63	20	40	143	120	75	44	193	34	382	56	48	38	138	251	163	10	133	30	19	0



Şekil 3.2 Biniş ve İniş Verileri Bulunan Yolculukların Yüzey Grafiği (6 Ocak 2020)

3.1.2 İniş İstasyonları Bilinmeyen Yolcuların Verileri Kullanılarak O-D Matrisi Üretimi

Bir önceki biniş istasyonları bilinmesine rağmen, inişte geri ödeme için akıllı kartını cihaza okutmayan yolcuların iniş istasyonları bilinmediği için, bu yolcular O-D matrisinin üretiminde dikkate alınmamıştı. O-D matrisine daha fazla yolcuyu dahil ederek zenginleştirmenin yararlı olacağı düşüncesiyle, bu yolcuların iniş istasyonlarının belirlenmesi için bazı kabullere dayalı olarak bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız kabuller aşağıda gösterilmiştir.

Kabul 1: İlgili günde Marmaray hattını iki defa kullanan yolcular için ilk yolculukta indiği istasyon, ikinci yolculukta bindiği istasyondur ve ikinci yolculukta indiği istasyon, birinci yolculukta bindiği istasyondur.

Bu kabule göre, Tablo 3.1'deki 1 ID numaralı kart sahibinin aynı gün kartını ikinci kez okuttuğu istasyon Ayrılık Çeşmesi olarak belirlenmiş, ilk yolculuğunu bu istasyona yaptığı çıkarımı yapılmıştır. Gün içerisinde yaptığı son yolculukta, iniş istasyonunun, akıllı kartını ilk okuttuğu Yenikapı istasyonu olduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle, akşam bindiği istasyonun sabah indiği istasyon ve akşam indiği istasyonun sabah bindiği istasyon olduğu varsayılmıştır.

Kabul 2: İlgili günde bir kart ID'si kısa süre içinde aynı istasyonda birden fazla kez biniş için kullanıldıysa, bu kart birden fazla kişinin beraber yolculuğu için kullanılmıştır ve bu kişiler aynı istasyonda inmişlerdir.

Kabul 2'ye göre, Tablo 3.1'deki 2 ID numaralı kart için, iki kişinin aynı kartı kullanarak beraber yolculuk yaptıkları ve bu kişilerin aynı istasyona gittikleri çıkarımı yapılmıştır. Kabul 1 ve Kabul 2'ye göre iade almayan yolcuların iniş istasyonları tahmin edilmiş ve Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

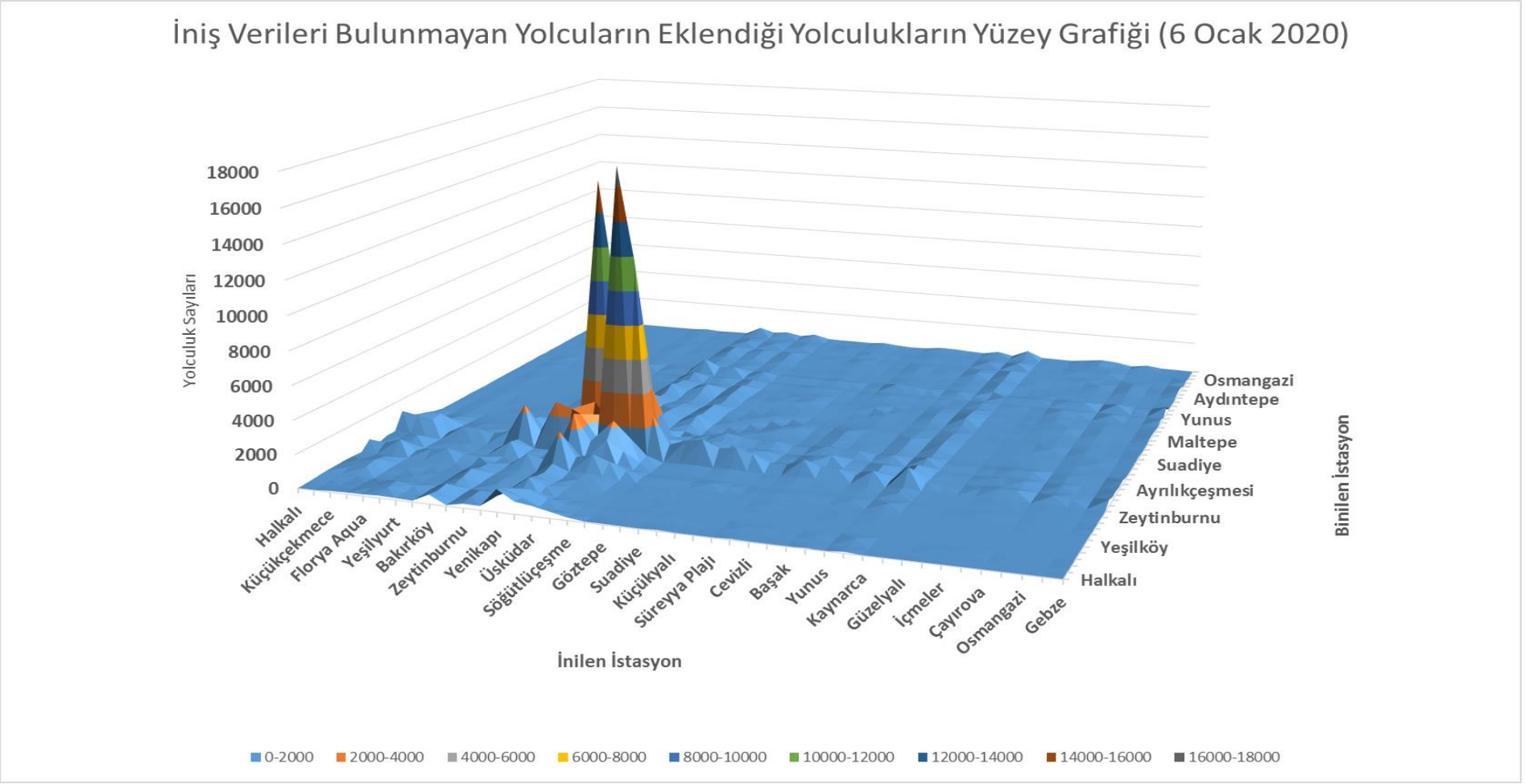
Tablo 3.3 İniş istasyonları tamamlanmış yolculuklar

	Geçiş Tarihi	Saat	Kart ID	Biniş İstasyonu	İniş İstasyonu
1	06.01.2020	07:45:17	1	Yenikapı	Ayrılık Çeşmesi
2	06.01.2020	17:33:39	1	Ayrılık Çeşmesi	Yenikapı
3	06.01.2020	11:29:03	2	Kazlıçeşme	Sirkeci
4	06.01.2020	11:29:09	2	Kazlıçeşme	Sirkeci
5	06.01.2020	16:50:16	2	Sirkeci	Kazlıçeşme
6	06.01.2020	16:50:22	2	Sirkeci	Kazlıçeşme

6 Ocak 2020 Pazartesi gününe ait oluşturulan, Kabul 1 ve Kabul 2 ile iniş istasyonları belirlenen yolcuların eklendiği başlangıç-son (O-D) matrisi Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Örneğin kabullü O-D matrisi oluşturulurken, Tablo 3.3'teki tüm veriler (hem biniş hem iniş istasyonları bilindiği için) kullanılmıştır. Kabul 1 ve Kabul 2'ye rağmen iniş istasyonu tahmin edilemeyen yolcuların ilgili verileri kabullü O-D matrisi oluşturulurken kullanılmamıştır. 6 Ocak 2020 Pazartesi günü için oluşturulan O-D matrisi değerleri (yolcu sayıları) yapılan kabuller ile beraber kabulsüz matris değerlerinden daha fazla ya da eşit olmuştur. Örneğin, Tablo 3.4'te mavi renkle boyanmış olan satırda ve turuncu renkle boyanmış olan sütunda bulunan hücre değerlerinin Tablo 3.2'deki değerlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Tablo 3.2'de oluşturulan matrise göre, 13 numaralı Yenikapı istasyonundan binen ve 15 numaralı Üsküdar istasyonunda inen yolcu sayısı 12849 iken, Tablo 3.4'te kabuller göz önüne alınarak oluşturulan matriste bu değer 17234 olmuştur. Bu hücre Tablo 3.4'te sarı ile boyanmıştır. Şekil 3.3'te ise 6 Ocak Pazartesi gününe ait iniş verileri bulunmayan yolcular eklenilerek oluşturulan için oluşturulan O-D matrisinin yüzey grafik gösterimi verilmiştir.

Tablo 3.4 İniş verileri bulunmayan yolcuların eklendiği Halkalı-Gebze yönü başlangıç-son (O-D) matrisi (6 Ocak 2020)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	0	13	76	98	99	143	114	76	546	52	249	235	1325	721	592	383	172	47	50	37	29	61	28	9	16	53	32	28	8	47	6	86	14	14	6	19	12	16	1	8	12	1	20
2	15	0	32	50	192	311	107	64	457	37	336	193	1066	646	200	133	60	11	17	16	9	20	17	5	2	12	8	2	1	7	1	30	5	5	1	5	6	6	0	3	0	0	6
3	61	29	0	51	206	386	252	77	556	73	380	172	807	796	361	204	111	62	55	48	47	63	37	18	20	57	53	26	9	49	10	117	18	10	14	33	41	32	1	21	11	5	47
4	108	56	67	0	16	47	44	48	222	48	64	40	202	102	72	58	26	4	7	11	17	19	10	1	5	8	6	3	4	8	2	11	2	0	1	0	1	2	0	2	1	0	4
5	111	213	302	9	0	68	22	35	359	28	143	79	773	359	166	97	42	14	20	16	26	13	17	5	8	13	6	2	0	5	3	8	3	3	1	4	5	6	0	2	0	0	6
6	132	318	419	47	58	0	31	44	534	65	155	80	553	233	150	121	44	26	27	14	20	22	10	2	3	13	4	4	1	12	1	16	1	3	1	3	2	3	2	2	1	0	1
7	119	122	311	41	36	36	0	31	290	45	99	54	476	152	261	207	52	36	59	55	37	42	26	18	9	38	20	9	0	17	4	21	8	3	4	2	1	3	1	3	3	3	3
8	75	70	93	47	33	45	31	0	239	32	126	64	669	284	322	214	76	48	43	33	33	36	22	9	12	25	15	13	8	14	3	36	8	3	1	3	2	10	0	10	7	1	10
9	593	497	804	215	424	564	305	227	0	70	739	523	2320	880	1151	818	378	127	134	128	110	173	95	37	63	85	86	52	32	75	8	148	38	17	14	30	53	35	3	23	20	4	54
10	53	40	100	48	38	68	50	41	83	0	87	113	950	413	246	189	100	29	27	28	23	29	18	11	3	10	7	7	6	14	2	17	2	1	1	2	5	4	0	3	0	0	3
11	243	339	478	72	153	158	103	115	719	94	0	110	2839	1261	1412	869	249	49	54	58	42	65	48	24	26	61	28	34	9	41	9	116	20	6	6	15	29	24	0	13	18	1	20
12	240	217	198	40	89	104	59	57	556	123	108	0	2523	1134	2322	1379	401	82	119	127	80	114	81	35	47	93	75	43	21	73	10	140	17	18	13	19	38	34	1	24	13	5	43
13	1252	1083	928	211	681	612	448	706	2443	913	2814	2481	0	2335	17234	11688	2582	895	1241	1411	1001	1119	856	402	421	842	535	492	213	586	116	1032	228	149	91	204	325	317	15	246	153	39	374
14	746	658	1028	122	290	280	150	273	1208	481	1263	1226	2752	0	9181	5132	821	284	550	586	408	513	354	172	175	367	197	200	98	268	57	529	136	75	55	95	144	124	6	90	96	38	195
15	514	189	415	84	179	138	137	286	1122	229	1192	2228	15962	9053	0	3984	737	564	610	724	622	475	434	196	249	488	608	253	160	340	61	567	137	107	84	167	168	213	10	190	86	28	233
16	357	128	237	48	103	118	129	200	811	184	718	1300	11472	5120	4188	0	381	284	318	354	262	196	184	88	98	144	155	160	87	98	28	136	62	29	22	45	84	84	1	73	57	22	154
17	163	52	105	25	44	53	36	68	373	80	260	374	2403	874	723	397	0	258	468	667	503	422	451	268	257	453	404	408	229	338	78	399	111	84	73	128	208	218	7	124	86	37	239
18	48	10	41	4	12	13	24	40	136	24	40	76	791	278	511	232	189	0	64	115	94	130	122	76	98	185	99	90	51	133	27	185	38	30	25	39	67	47	3	44	50	21	91
19	36	8	42	10	9	21	27	33	109	14	33	95	1001	469	581	263	394	64	0	111	150	144	106	56	80	181	99	109	56	156	21	195	48	39	20	42	60	44	3	65	33	18	72
20	37	14	52	18	15	12	38	35	122	24	41	103	1181	563	666	308	645	113	90	0	90	202	134	37	75	204	134	91	66	173	29	257	46	38	33	50	51	51	2	64	88	18	71
21	24	11	33	11	21	17	20	24	120	21	37	66	871	388	582	249	490	66	134	102	0	154	186	80	86	239	138	121	74	215	37	242	44	41	26	45	68	45	5	51	63	22	76
22	43	10	34	13	14	18	15	35	173	26	71	116	990	503	483	191	531	154	156	196	142	0	93	70	81	162	183	140	113	139	51	198	59	47	38	62	58	118	2	108	60	39	119
23	18	6	35	9	14	7	8	28	93	15	44	71	839	372	404	171	547	175	97	133	157	95	0	22	22	48	67	49	28	100	23	167	26	13	24	39	62	66	5	68	24	10	67
24	4	2	16	4	5	4	7	11	40	11	28	37	438	184	207	71	302	84	62	36	77	75	25	0	11	22	41	25	17	41	17	62	15	14	21	10	31	44	4	23	11	5	25
25	19	5	24	4	6	1	3	12	56	4	22	28	412	183	261	102	300	107	88	78	77	80	33	12	0	35	63	39	31	95	14	124	26	22	18	37	57	51	4	56	22	9	63
26	24	7	30	5	13	10	11	19	106	11	42	84	739	317	421	126	452	194	179	189	185	129	46	24	25	0	100	57	42	168	43	349	64	60	31	66	110	125	7	98	57	30	148
27	16	4	39	4	6	4	9	20	75	10	31	63	548	235	629	171	447	118	118	155	147	181	58	53	74	111	0	38	20	146	38	320	88	55	40	50	89	91	4	75	53	30	154
28	20	1	18	4	3	2	6	6	65	8	27	55	464	206	277	159	480	101	106	88	142	149	53	28	37	56	42	0	13	87	29	236	58	43	31	75	142	66	6	72	34	11	107
29	3	0	4	2	2	0	0	5	31	3	6	15	224	122	136	85	268	73	49	58	73	75	40	19	33	45	17	9	0	29	22	111	46	31	29	43	81	44	4	30	18	10	47
30	24	6	60	6	14	6	5	18	79	16	32	75	508	250	280	100	349	179	144	153	192	162	101	44	93	162	118	71	41	0	41	189	71	83	50	79	231	159	5	215	76	30	217
31	7	1	17	2	2	4	1	3	14	1	5	11	115	62	65	35	89	31	27	30	32	49	23	13	17	35	32	19	23	42	0	60	14	20	12	25	37	38	2	34	13	13	49
32	34	16	64	15	12	15	12	23	153	11	93	111	901	447	524	131	386	206	197	216	197	224	183	59	114	380	309	213	102	203	65	0	167	199	217	157	259	298	12	359	148	96	502
33	3	1	17	0	1	3	5	10	36	3	21	20	225	120	121	49	124	47	52	54	35	65	32	13	29	59	102	57	50	57	12	160	0	10	45	19	37	37	4	55	21	15	79
34	13	8	9	0	2	3	1	3	16	4	7	26	154	76	124	27	90	44	49	63	53	51	29	14	20	82	69	46	28	96	24	229	20	0	13	35	37	35	1	42	17	18	64
35	3	0	11	0	1	0	4	1	16	0	6	9	92	48	69	32	73	27	18	25	25	43	24	17	18	31	44	27	32	58	9	226	50	14	0	8	18	25	4	52	14	12	36
36	9	4	18	0	3	3	3	3	32	8	15	15	208	93	168	45	157	65	54	61	53	66	39	18	35	82	61	69	43	97	27	169	16	35	6	0	6	39	3	132	62	81	184
37	13	2	47	1	5	1	0	6	61	4	31	30	353	149	227	100	215	84	81	60	62	96	66	32	56	143	92	127	78	250	40	285	33	56	27	9	0	71	5	143	67	106	290
38	16	6	24	0	6	2	1	8	44	6	22	40	317	108	252	98	226	55	46	60	52	135	60	49	51	120	88	58	47	157	41	293	36	32	24	36	63	0	8	118	57	44	203
39	1	0	2	0	0	1	0	0	5	0	0	1	9	3	15	3	7	3	4	2	5	7	4	3	4	6	2	5	4	5	3	10	5	5	2	1	6	7	0	3	0	5	8
40	10	3	21	2	3	0	3	7	24	5	16	30	233	78	213	89	160	55	65	61	54	131	71	30	67	99	77	70	31	226	47	343	56	36	55	120	126	139	2	0	3	21	123
41	12	0	10	1	0	2	2	8	35	0	28	22	171	80	128	63	135	69	52	98	74	72	27	15	21	70	66	49	20	103	22	154	29	26	22	57	82	78	1	5	0	10	25
42	0	0	3	0	0	0	0	3	5	0	4	4	54	40	27	28	56	23	22	21	30	44	9	11	9	43	27	16	8	31	10	89	12	20	17	70	136	44	3	26	6	0	21
43	16	7	39	3	6	1	2	13	79	6	41	50	527	261	354	177	360	127	98	104	95	171	75	22	57	177	155	95	53	236	40	476	69	58	47	159	275	193	11	155	35	25	0



Şekil 3.3 İniş Verileri Bulunmayan Yolcuların Eklendiği Yolculukların Yüzey Grafiği (6 Ocak 2020)

Tablo 3. 5 O-D matrislerindeki yüzdesel değişimler

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	0	63	36	24	14	29	41	19	26	30	11	35	23	26	39	42	48	24	22	16	16	49	47	29	78	29	23	40	33	52	50	34	27	27	50	58	0	0	0	0	0	0	0
2	150	0	45	25	25	16	13	23	32	16	24	27	21	23	33	27	46	57	21	23	13	11	42	0	0	20	14	100	0	17	0	36	150	67	0	25	0	0	0	0	0	0	0
3	49	21	0	21	11	17	26	13	24	22	9	32	20	23	36	32	31	17	6	7	15	19	37	13	54	39	61	63	29	17	67	39	29	67	56	43	46	78	0	0	0	0	0
4	38	19	12	0	78	12	13	9	21	23	19	38	25	28	36	41	13	33	75	10	42	58	25	0	25	60	20	200	33	0	100	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	25	27	14	13	0	17	47	17	20	56	25	34	64	109	42	45	68	17	33	33	24	30	42	0	33	30	50	100	0	0	0	60	0	0	0	100	67	20	0	100	0	0	0
6	29	17	15	21	23	0	63	16	37	41	35	38	27	30	39	25	38	30	17	17	54	83	11	0	200	30	33	33	0	50	0	23	0	0	0	50	100	0	100	0	0	0	0
7	45	11	18	24	20	29	0	19	30	29	22	26	21	35	20	20	18	9	13	28	19	11	0	29	29	15	11	50	0	6	0	24	60	50	100	100	0	0	0	50	50	50	0
8	21	30	16	12	18	15	29	0	31	39	27	36	30	23	33	31	46	33	26	43	10	33	57	13	33	14	50	18	33	40	50	16	60	50	0	200	0	0	0	0	0	0	0
9	32	32	21	23	19	34	22	38	0	112	36	48	37	37	43	43	48	44	28	25	34	28	32	37	70	29	65	49	28	23	100	59	81	55	56	88	47	0	0	0	0	0	0
10	47	21	15	14	19	31	35	17	69	0	26	31	32	26	32	35	37	45	29	27	15	38	29	22	50	67	40	0	20	27	0	31	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
11	19	26	11	20	20	33	18	28	35	27	0	34	32	18	32	30	47	44	17	26	40	23	30	41	24	30	47	21	13	28	13	32	82	200	50	50	81	140	0	0	0	0	0
12	36	29	39	29	22	33	18	36	45	26	44	0	38	30	40	38	46	39	20	30	43	56	40	52	21	55	47	54	75	40	100	40	70	157	117	73	90	750	0	200	0	0	0
13	33	27	21	28	38	25	23	27	38	33	33	43	0	55	34	40	42	31	22	25	27	36	35	39	34	37	47	46	42	30	26	39	32	55	107	82	72	114	36	118	113	0	0
14	31	29	22	39	70	27	29	29	26	20	20	28	36	0	29	36	49	31	24	36	28	44	33	30	19	31	30	38	78	27	27	39	40	34	41	98	125	65	100	64	63	46	0
15	55	55	37	40	34	29	41	36	46	40	39	48	41	31	0	44	50	27	34	25	31	33	42	37	36	42	81	52	47	49	79	54	51	73	68	62	0	0	0	0	0	0	0
16	60	52	38	41	27	31	30	32	40	42	39	48	42	37	41	0	49	32	35	48	22	45	40	40	29	47	48	39	32	48	75	62	51	32	57	61	68	0	0	0	0	0	0
17	60	86	38	32	42	33	16	45	49	40	36	49	42	41	45	52	0	15	21	29	26	46	32	26	32	41	48	37	33	34	28	49	54	53	30	45	35	38	0	0	0	0	0
18	41	100	28	33	20	0	14	60	37	100	90	46	43	43	33	44	27	0	31	21	21	35	30	25	24	48	29	41	55	33	35	32	41	76	25	56	49	62	0	0	0	0	0
19	33	60	11	67	29	17	23	43	31	56	22	34	30	31	38	35	28	25	0	54	27	26	38	27	38	24	22	28	37	27	31	26	37	44	5	20	18	38	0	30	0	0	0
20	23	75	16	0	36	9	31	25	36	26	41	30	32	31	29	52	32	30	61	0	53	45	34	28	21	21	22	21	32	18	16	24	18	27	6	16	46	28	0	42	5	0	0
21	50	0	18	57	50	89	54	26	28	5	48	50	40	39	33	33	29	65	34	48	0	34	23	36	21	16	24	26	28	24	28	22	33	24	13	29	15	41	25	34	15	29	0
22	0	0	0	0	0	0	0	40	47	44	61	90	66	57	38	53	35	23	26	40	48	0	79	49	40	29	71	32	18	64	55	68	34	52	73	59	0	0	0	0	0	0	0
23	0	50	40	50	27	17	0	33	24	36	22	48	36	28	43	53	26	18	28	34	25	51	0	120	69	55	34	36	17	25	35	26	30	18	33	22	41	43	25	127	33	67	37
24	0	0	23	0	0	0	75	22	29	38	65	23	37	31	36	45	27	17	22	29	26	50	150	0	10	57	21	25	42	17	13	11	15	40	5	0	29	76	0	77	57	0	14
25	0	0	0	0	50	0	200	50	56	33	29	40	40	21	37	29	29	20	33	18	20	31	38	9	0	40	50	22	19	22	17	43	37	57	38	23	14	65	33	115	16	29	40
26	0	0	0	0	63	43	38	27	26	83	45	68	46	32	45	58	42	41	23	17	21	25	59	50	67	0	52	30	45	38	48	28	28	36	19	38	39	54	17	51	46	11	33
27	0	0	0	0	0	300	80	25	53	67	63	70	47	24	72	55	49	22	27	21	20	57	38	18	32	44	0	65	100	54	46	47	52	57	18	39	31	63	33	44	23	43	40
28	0	0	0	0	0	0	100	20	35	0	42	83	49	36	44	37	35	25	29	17	15	25	43	12	19	37	83	0	160	58	4	38	29	16	3	21	23	25	50	50	13	22	27
29	0	0	0	0	0	0	0	0	29	50	20	67	37	42	53	39	31	30	44	35	18	34	11	27	22	50	89	125	0	61	16	37	35	19	26	16	29	47	0	30	20	0	24
30	0	50	25	50	133	20	25	50	25	0	39	36	38	28	48	39	26	19	27	23	24	31	22	19	19	32	71	65	52	0	41	33	18	15	39	14	24	36	0	92	38	20	30
31	0	0	42	100	0	33	0	50	27	0	25	38	32	29	51	30	31	29	35	30	19	17	21	18	31	30	52	0	21	24	0	43	17	25	9	25	32	46	0	36	8	18	36
32	0	0	0	25	71	50	33	44	51	57	22	66	50	28	55	52	48	34	23	32	22	40	26	9	48	23	45	48	38	35	59	0	35	34	46	34	31	45	9	68	28	25	29
33	0	0	0	0	0	200	150	100	71	200	75	67	37	38	48	48	46	31	18	10	30	25	7	18	32	20	36	33	25	21	9	36	0	0	50	12	23	48	0	53	24	7	23
34	0	0	0	0	0	0	0	50	60	0	250	73	56	29	77	35	36	33	29	11	18	16	16	8	43	24	28	24	27	20	14	25	5	0	18	25	28	25	0	50	6	20	23
35	0	0	0	0	0	0	300	0	100	0	200	125	100	23	57	52	28	29	6	9	14	48	41	21	20	29	16	8	23	29	13	48	52	56	0	14	50	39	33	44	8	20	24
36	0	0	0	0	0	0	0	200	88	14	36	67	82	90	47	50	47	25	15	11	13	16	22	13	25	26	22	21	16	17	17	28	23	13	0	0	200	34	50	50	17	8	15
37	0	0	38	0	67	0	0	20	30	33	24	43	40	35	50	32	41	42	13	30	13	30	25	33	12	25	23	31	32	23	11	27	38	19	23	29	0	39	0	23	20	7	13
38	0	0	26	0	50	100	0	167	110	50	69	100	43	32	58	63	35	28	28	13	27	47	36	40	46	50	49	18	52	30	21	42	38	23	26	33	37	0	0	37	16	19	18
39	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	50	50	150	50	17	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	67	0	0	0	43	0	0	0	0	20	17	0	0	0	0	33
40	0	0	0	0	200	0	50	75	167	150	23	50	38	32	60	85	57	49	23	27	26	58	82	36	72	39	35	43	29	67	27	57	40	29	38	46	26	40	0	0	50	40	27
41	0	0	0	0	0	100	0	60	40	0	17	69	33	27	47	50	24	23	13	7	9	24	13	15	24	32	18	14	18	24	5	13	16	8	16	14	12	13	0	0	0	11	19
42	0	0	0	0	0	0	0	50	150	0	0	33	32	33	59	65	37	5	5	5	15	19	29	0	13	10	17	60	0	24	25	17	0	18	13	9	1	13	0	24	20	0	40
43	0	0	0	0	0	0	0	160	58	200	71	92	46	43	46	53	40	26	17	13	25	22	19	10	43	24	29	27	20	22	18	25	23	21	24	15	10	18	10	17	17	32	0

Yukarıda görülen Tablo 3.5'te ise oluşturulan kabullü ve kabulsüz matrislerin hücre değerleri arasındaki farklar yüzdesel olarak gösterilmiştir. Tablo 3.2'de gösterilen kabuller yapılmadan oluşturulan matris için 6 Ocak 2020 Pazartesi günü 2 numara ile gösterilen istasyondan binip 1 numaralı istasyonda inen yolcu sayısının 6 olduğu görülmektedir. Aynı gün ve aynı istasyonlar arası yolculuk sayısı Tablo 3.4'te gösterilen kabullere dayalı matriste 15 olmuştur. Aradaki bu artışın Şekil 3.4'te ilgili hücrede %150 olduğu hesaplanmıştır.

3.2 Başlangıç-Son (O-D) Matrislerinin Benzerliği (Ki-kare Testi)

İki ya da daha fazla grup veya değişken arasında fark veya bağ olup olmadığını, gruplar arası homojenliğin sağlanıp sağlanmadığını belirlemek için ki-kare testi kullanılır. Ki-kare testi gözlenen değerler ile beklenen değerler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı sonucunu ortaya koymaktadır. Yapılan kabuller sonucu oluşturulan O-D matrislerinin çalışmanın devamında kullanılabilmesi için ki-kare testi ile istatistiksel olarak geçerliliğinin ortaya koyulması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle, kabullere dayanarak üretildiği için daha çok veri içeren O-D matrisinin, iniş verisi olmadığı için kapsam dışında tutulan yolcular nedeni ile daha az veri içeren matris ile uyumlu olup olmadığının saptanması gerekmektedir. Yani, matrislerin arasında benzerlik bulunduğunun kabul edildiği "sıfır hipotezinin" test edilmesi gerekmektedir. Örnek olarak Tablo 3.2 ve Tablo 3.4'teki matrisler için ki-kare testi uygulanmıştır. Matrisler aynı sayıda veriden oluşmadığı için ve kabuller sonucu oluşturduğumuz matrisin hücre değerleri, kabulsüz matris hücre değerlerinden büyük veya eşit olduğundan matrisler normalize edilmiştir. Karşılaştırma için tabloların hücre değerlerini aynı mertebeye getiren normalizasyon işlemi yapılmalıdır. Matrislerde bulunan hücre değerleri (yolcu sayıları)

$$Min - Max\ Normalizasyonu = \frac{(ilgili\ değer - minimum\ değer)}{(maksimum\ değer - minimum\ değer)} \qquad (3.1)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada, "minimum değer" ve "maksimum değer", ilgili matrislerdeki en küçük ve en büyük yolcu sayılarıdır. Tablo 3.5'teki kabulsüz

matris ve Tablo 3.6'daki kabuller sonucu oluşturulan matris, 6 Ocak 2020 Pazartesi gününe ait normalize edilmiş değerlerden oluşmaktadır. Örneğin, Tablo 3.5'te sarı ile boyalı olan hücre için $\frac{(12849-0)}{(12849-0)}=1$ değeri ve Tablo 3.6'da sarı ile boyalı olan hücre için $\frac{(17234-0)}{(17234-0)}=1$ değeri bulunmuştur. Matrislerde bulunan değerler virgülden sonra 3 basamak olacak şekilde yazılmış olup, 1. ve 15. sütunda normalize edilen değerler, hesaplamalarda daha iyi görülebilmesi için virgülden sonra 6 hane olacak şekilde gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Normalize edilen Tablo 3.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	0,000000	0,001	0,004	0,006	0,007	0,009	0,006	0,005	0,034	0,003	0,017	0,014	0,084	0,044	0,033077	0,021	0,009	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,005	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000467	0,000	0,002	0,003	0,012	0,021	0,007	0,004	0,027	0,002	0,021	0,012	0,069	0,041	0,011674	0,008	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,003191	0,002	0,000	0,003	0,014	0,026	0,016	0,005	0,035	0,005	0,027	0,010	0,052	0,051	0,020624	0,012	0,007	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,003	0,000	0,007	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,006071	0,004	0,005	0,000	0,001	0,003	0,003	0,003	0,014	0,003	0,004	0,002	0,013	0,006	0,004125	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,006927	0,013	0,021	0,001	0,000	0,005	0,001	0,002	0,023	0,001	0,009	0,005	0,037	0,013	0,009106	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,007938	0,021	0,028	0,003	0,004	0,000	0,001	0,003	0,030	0,004	0,009	0,005	0,034	0,014	0,008405	0,008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,006382	0,009	0,021	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,017	0,003	0,006	0,003	0,031	0,009	0,016966	0,013	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,004825	0,004	0,006	0,003	0,002	0,003	0,002	0,000	0,014	0,002	0,008	0,004	0,040	0,018	0,018834	0,013	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,035022	0,029	0,052	0,014	0,028	0,033	0,020	0,013	0,000	0,003	0,042	0,028	0,132	0,050	0,062729	0,045	0,020	0,007	0,008	0,008	0,006	0,011	0,006	0,002	0,003	0,005	0,004	0,003	0,002	0,005	0,000	0,007	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,002802	0,003	0,007	0,003	0,002	0,004	0,003	0,003	0,004	0,000	0,005	0,007	0,056	0,026	0,014554	0,011	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,015955	0,021	0,034	0,005	0,010	0,009	0,007	0,007	0,041	0,006	0,000	0,006	0,167	0,083	0,083431	0,052	0,013	0,003	0,004	0,004	0,002	0,004	0,003	0,001	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,007	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,013775	0,013	0,011	0,002	0,006	0,006	0,004	0,003	0,030	0,008	0,006	0,000	0,142	0,068	0,128959	0,078	0,021	0,005	0,008	0,008	0,004	0,006	0,005	0,002	0,003	0,005	0,004	0,002	0,001	0,004	0,000	0,008	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
13	0,073469	0,066	0,059	0,013	0,039	0,038	0,028	0,043	0,138	0,054	0,165	0,135	0,000	0,117	1,000000	0,650	0,141	0,053	0,079	0,088	0,061	0,064	0,049	0,023	0,025	0,048	0,028	0,026	0,012	0,035	0,007	0,058	0,013	0,007	0,003	0,009	0,015	0,012	0,001	0,009	0,006	0,000	0,000
14	0,044361	0,040	0,066	0,007	0,013	0,017	0,009	0,016	0,074	0,031	0,082	0,075	0,157	0,000	0,553117	0,294	0,043	0,017	0,035	0,034	0,025	0,028	0,021	0,010	0,011	0,022	0,012	0,011	0,004	0,016	0,004	0,030	0,008	0,004	0,003	0,004	0,005	0,006	0,000	0,004	0,005	0,002	0,000
15	0,025839	0,009	0,024	0,005	0,010	0,008	0,008	0,016	0,060	0,013	0,067	0,118	0,881	0,537	0,000000	0,215	0,038	0,035	0,035	0,045	0,037	0,028	0,024	0,011	0,014	0,027	0,026	0,013	0,008	0,018	0,003	0,029	0,007	0,005	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,017355	0,007	0,013	0,003	0,006	0,007	0,008	0,012	0,045	0,010	0,040	0,068	0,628	0,291	0,230368	0,000	0,020	0,017	0,018	0,019	0,017	0,011	0,010	0,005	0,006	0,008	0,008	0,009	0,005	0,005	0,001	0,007	0,003	0,002	0,001	0,002	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,007938	0,002	0,006	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,019	0,004	0,015	0,020	0,132	0,048	0,038836	0,020	0,000	0,018	0,030	0,040	0,031	0,022	0,027	0,016	0,015	0,025	0,021	0,023	0,013	0,020	0,005	0,021	0,006	0,004	0,004	0,007	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,002646	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,008	0,001	0,002	0,004	0,043	0,015	0,029808	0,013	0,012	0,000	0,004	0,007	0,006	0,007	0,007	0,005	0,006	0,010	0,006	0,005	0,003	0,008	0,002	0,011	0,002	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,002101	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,006	0,001	0,002	0,006	0,060	0,028	0,032843	0,015	0,024	0,004	0,000	0,006	0,009	0,009	0,006	0,003	0,005	0,011	0,006	0,007	0,003	0,010	0,001	0,012	0,003	0,002	0,001	0,003	0,004	0,002	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000
20	0,002335	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,007	0,001	0,002	0,006	0,069	0,033	0,040314	0,016	0,038	0,007	0,004	0,000	0,005	0,011	0,008	0,002	0,005	0,013	0,009	0,006	0,004	0,011	0,002	0,016	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,000	0,004	0,007	0,000	0,000
21	0,001245	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,002	0,002	0,003	0,048	0,022	0,034010	0,015	0,029	0,003	0,008	0,005	0,000	0,009	0,012	0,005	0,006	0,016	0,009	0,007	0,005	0,013	0,002	0,015	0,003	0,003	0,002	0,003	0,005	0,002	0,000	0,003	0,004	0,001	0,000
22	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,009	0,001	0,003	0,005	0,046	0,025	0,027239	0,010	0,031	0,010	0,010	0,011	0,007	0,000	0,004	0,004	0,005	0,010	0,008	0,008	0,007	0,007	0,003	0,009	0,003	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,000000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,006	0,001	0,003	0,004	0,048	0,023	0,022025	0,009	0,034	0,012	0,006	0,008	0,010	0,005	0,000	0,001	0,001	0,002	0,004	0,003	0,002	0,006	0,001	0,010	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,000	0,002	0,001	0,000	0,004
24	0,000000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,025	0,011	0,011830	0,004	0,019	0,006	0,004	0,002	0,005	0,004	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,004	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002
25	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,002	0,023	0,012	0,014787	0,006	0,018	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,002	0,001	0,000	0,002	0,003	0,002	0,002	0,006	0,001	0,007	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004
26	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,000	0,002	0,004	0,039	0,019	0,022648	0,006	0,025	0,011	0,011	0,013	0,012	0,008	0,002	0,001	0,001	0,000	0,005	0,003	0,002	0,009	0,002	0,021	0,004	0,003	0,002	0,004	0,006	0,006	0,000	0,005	0,003	0,002	0,009
27	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,001	0,003	0,029	0,015	0,028407	0,009	0,023	0,008	0,007	0,010	0,009	0,009	0,003	0,004	0,004	0,006	0,000	0,002	0,001	0,007	0,002	0,017	0,005	0,003	0,003	0,003	0,005	0,004	0,000	0,004	0,003	0,002	0,009
28	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001	0,002	0,024	0,012	0,014943	0,009	0,028	0,006	0,006	0,006	0,010	0,009	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,004	0,002	0,013	0,004	0,003	0,002	0,005	0,009	0,004	0,000	0,004	0,002	0,001	0,007
29	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,013	0,007	0,006927	0,005	0,016	0,004	0,003	0,003	0,005	0,004	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,006	0,003	0,002	0,002	0,003	0,005	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003
30	0,000000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,001	0,002	0,004	0,029	0,015	0,014709	0,006	0,022	0,012	0,009	0,010	0,012	0,010	0,006	0,003	0,006	0,010	0,005	0,003	0,002	0,000	0,002	0,011	0,005	0,006	0,003	0,005	0,014	0,009	0,000	0,009	0,004	0,002	0,013
31	0,000000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,007	0,004	0,003347	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003
32	0,000000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008	0,001	0,006	0,005	0,047	0,027	0,026383	0,007	0,020	0,012	0,012	0,013	0,013	0,012	0,011	0,004	0,006	0,024	0,017	0,011	0,006	0,012	0,003	0,000	0,010	0,012	0,012	0,009	0,015	0,016	0,001	0,017	0,009	0,006	0,030
33	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,013	0,007	0,006382	0,003	0,007	0,003	0,003	0,004	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,001	0,009	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,003	0,001	0,001	0,005
34	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,008	0,005	0,005448	0,002	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,005	0,004	0,003	0,002	0,006	0,002	0,014	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004
35	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,003424	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,004	0,001	0,012	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,003	0,001	0,001	0,002
36	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,009	0,004	0,008872	0,002	0,008	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,002	0,001	0,002	0,005	0,004	0,004	0,003	0,006	0,002	0,010	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,007	0,004	0,006	0,012
37	0,000000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,002	0,020	0,009	0,011752	0,006	0,012	0,005	0,006	0,004	0,004	0,006	0,004	0,002	0,004	0,009	0,006	0,008	0,005	0,016	0,003	0,017	0,002	0,004	0,002	0,001	0,000	0,004	0,000	0,009	0,004	0,008	0,020
38	0,000000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,002	0,017	0,006	0,012375	0,005	0,013	0,003	0,003	0,004	0,003	0,007	0,003	0,003	0,003	0,006	0,005	0,004	0,002	0,009	0,003	0,016	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,000	0,001	0,007	0,004	0,003	0,013
39	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000467	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
40	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,013	0,005	0,010351	0,004	0,008	0,003	0,004	0,004	0,003	0,006	0,003	0,002	0,003	0,006	0,004	0,004	0,002	0,011	0,003	0,017	0,003	0,002	0,003	0,006	0,008	0,008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008
41	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,010	0,005	0,006771	0,003	0,008	0,004	0,004	0,007	0,005	0,005	0,002	0,001	0,001	0,004	0,004	0,003	0,001	0,006	0,002	0,011	0,002	0,002	0,001	0,004	0,006	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
42	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001323	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,006	0,001	0,001	0,001	0,005	0,010	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001
43	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,002	0,028	0,014	0,018834	0,009	0,020	0,008	0,007	0,007	0,006	0,011	0,005	0,002	0,003	0,011	0,009	0,006	0,003	0,015	0,003	0,030	0,004	0,004	0,003	0,011	0,020	0,013	0,001	0,010	0,002	0,001	0,000

Tablo 3.7 Normalize edilen Tablo 3.4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	0,000000	0,001	0,004	0,006	0,006	0,008	0,007	0,004	0,032	0,003	0,014	0,014	0,077	0,042	0,034351	0,022	0,010	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002	0,000	0,003	0,000	0,005	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
2	0,000870	0,000	0,002	0,003	0,011	0,018	0,006	0,004	0,027	0,002	0,019	0,011	0,062	0,037	0,011605	0,008	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,003540	0,002	0,000	0,003	0,012	0,022	0,015	0,004	0,032	0,004	0,022	0,010	0,047	0,046	0,020947	0,012	0,006	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,007	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003
4	0,006267	0,003	0,004	0,000	0,001	0,003	0,003	0,003	0,013	0,003	0,004	0,002	0,012	0,006	0,004178	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,006441	0,012	0,018	0,001	0,000	0,004	0,001	0,002	0,021	0,002	0,008	0,005	0,045	0,021	0,009632	0,006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,007659	0,018	0,024	0,003	0,003	0,000	0,002	0,003	0,031	0,004	0,009	0,005	0,032	0,014	0,008704	0,007	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,006905	0,007	0,018	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,017	0,003	0,006	0,003	0,028	0,009	0,015144	0,012	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,004352	0,004	0,005	0,003	0,002	0,003	0,002	0,000	0,014	0,002	0,007	0,004	0,039	0,016	0,018684	0,012	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
9	0,034409	0,029	0,047	0,012	0,025	0,033	0,018	0,013	0,000	0,004	0,043	0,030	0,135	0,051	0,066787	0,047	0,022	0,007	0,008	0,007	0,006	0,010	0,006	0,002	0,004	0,005	0,005	0,003	0,002	0,004	0,000	0,009	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003
10	0,003075	0,002	0,006	0,003	0,002	0,004	0,003	0,002	0,005	0,000	0,005	0,007	0,055	0,024	0,014274	0,011	0,006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,014100	0,020	0,028	0,004	0,009	0,009	0,006	0,007	0,042	0,005	0,000	0,006	0,165	0,073	0,081931	0,050	0,014	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,007	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
12	0,013926	0,013	0,011	0,002	0,005	0,006	0,003	0,003	0,032	0,007	0,006	0,000	0,146	0,066	0,134734	0,080	0,023	0,005	0,007	0,007	0,005	0,007	0,005	0,002	0,003	0,005	0,004	0,002	0,001	0,004	0,001	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002
13	0,072647	0,063	0,054	0,012	0,040	0,036	0,026	0,041	0,142	0,053	0,163	0,144	0,000	0,135	1,000000	0,678	0,150	0,052	0,072	0,082	0,058	0,065	0,050	0,023	0,024	0,049	0,031	0,029	0,012	0,034	0,007	0,060	0,013	0,009	0,005	0,012	0,019	0,018	0,001	0,014	0,009	0,002	0,022
14	0,043287	0,038	0,060	0,007	0,017	0,016	0,009	0,016	0,070	0,028	0,073	0,071	0,160	0,000	0,532726	0,298	0,048	0,016	0,032	0,034	0,024	0,030	0,021	0,010	0,010	0,021	0,011	0,012	0,006	0,016	0,003	0,031	0,008	0,004	0,003	0,006	0,008	0,007	0,000	0,005	0,006	0,002	0,011
15	0,029825	0,011	0,024	0,005	0,010	0,008	0,008	0,017	0,065	0,013	0,069	0,129	0,926	0,525	0,000000	0,231	0,043	0,033	0,035	0,042	0,036	0,028	0,025	0,011	0,014	0,028	0,035	0,015	0,009	0,020	0,004	0,033	0,008	0,006	0,005	0,010	0,010	0,012	0,001	0,011	0,005	0,002	0,014
16	0,020715	0,007	0,014	0,003	0,006	0,007	0,007	0,012	0,047	0,011	0,042	0,075	0,666	0,297	0,243008	0,000	0,022	0,016	0,018	0,021	0,015	0,011	0,011	0,005	0,006	0,008	0,009	0,009	0,005	0,006	0,002	0,008	0,004	0,002	0,001	0,003	0,005	0,005	0,000	0,004	0,003	0,001	0,009
17	0,009458	0,003	0,006	0,001	0,003	0,003	0,002	0,004	0,022	0,005	0,015	0,022	0,139	0,051	0,041952	0,023	0,000	0,015	0,027	0,039	0,029	0,024	0,026	0,016	0,015	0,026	0,023	0,024	0,013	0,020	0,005	0,023	0,006	0,005	0,004	0,007	0,012	0,013	0,000	0,007	0,005	0,002	0,014
18	0,002785	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,008	0,001	0,002	0,004	0,046	0,016	0,029651	0,013	0,011	0,000	0,004	0,007	0,005	0,008	0,007	0,004	0,006	0,011	0,006	0,005	0,003	0,008	0,002	0,011	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,003	0,000	0,003	0,003	0,001	0,005
19	0,002089	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,006	0,001	0,002	0,006	0,058	0,027	0,033712	0,015	0,023	0,004	0,000	0,006	0,009	0,008	0,006	0,003	0,005	0,011	0,006	0,006	0,003	0,009	0,001	0,011	0,003	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,000	0,004	0,002	0,001	0,004
20	0,002147	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,007	0,001	0,002	0,006	0,069	0,033	0,038645	0,018	0,037	0,007	0,005	0,000	0,005	0,012	0,008	0,002	0,004	0,012	0,008	0,005	0,004	0,010	0,002	0,015	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,000	0,004	0,005	0,001	0,004
21	0,001393	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001	0,002	0,004	0,051	0,023	0,033770	0,014	0,028	0,004	0,008	0,006	0,000	0,009	0,011	0,005	0,005	0,014	0,008	0,007	0,004	0,012	0,002	0,014	0,003	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,000	0,003	0,004	0,001	0,004
22	0,002495	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,010	0,002	0,004	0,007	0,057	0,029	0,028026	0,011	0,031	0,009	0,009	0,011	0,008	0,000	0,005	0,004	0,005	0,009	0,011	0,008	0,007	0,008	0,003	0,011	0,003	0,003	0,002	0,004	0,003	0,007	0,000	0,006	0,003	0,002	0,007
23	0,001044	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,005	0,001	0,003	0,004	0,049	0,022	0,023442	0,010	0,032	0,010	0,006	0,008	0,009	0,006	0,000	0,001	0,001	0,003	0,004	0,003	0,002	0,006	0,001	0,010	0,002	0,001	0,001	0,002	0,004	0,004	0,000	0,004	0,001	0,001	0,004
24	0,000232	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,025	0,011	0,012011	0,004	0,018	0,005	0,004	0,002	0,004	0,004	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
25	0,001102	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,002	0,024	0,011	0,015144	0,006	0,017	0,006	0,005	0,005	0,004	0,005	0,002	0,001	0,000	0,002	0,004	0,002	0,002	0,006	0,001	0,007	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,000	0,003	0,001	0,001	0,004
26	0,001393	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	0,001	0,002	0,005	0,043	0,018	0,024428	0,007	0,026	0,011	0,010	0,011	0,011	0,007	0,003	0,001	0,001	0,000	0,006	0,003	0,002	0,010	0,002	0,020	0,004	0,003	0,002	0,004	0,006	0,007	0,000	0,006	0,003	0,002	0,009
27	0,000928	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004	0,001	0,002	0,004	0,032	0,014	0,036498	0,010	0,026	0,007	0,007	0,009	0,009	0,011	0,003	0,003	0,004	0,006	0,000	0,002	0,001	0,008	0,002	0,019	0,005	0,003	0,002	0,003	0,005	0,005	0,000	0,004	0,003	0,002	0,009
28	0,001160	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,003	0,027	0,012	0,016073	0,009	0,028	0,006	0,006	0,005	0,008	0,009	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,001	0,005	0,002	0,014	0,003	0,002	0,002	0,004	0,008	0,004	0,000	0,004	0,002	0,001	0,006
29	0,000174	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,013	0,007	0,007891	0,005	0,016	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,002	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,006	0,003	0,002	0,002	0,002	0,005	0,003	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003
30	0,001393	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,005	0,001	0,002	0,004	0,029	0,015	0,016247	0,006	0,020	0,010	0,008	0,009	0,011	0,009	0,006	0,003	0,005	0,009	0,007	0,004	0,002	0,000	0,002	0,011	0,004	0,005	0,003	0,005	0,013	0,009	0,000	0,012	0,004	0,002	0,013
31	0,000406	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,007	0,004	0,003772	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003
32	0,001973	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,009	0,001	0,005	0,006	0,052	0,026	0,030405	0,008	0,022	0,012	0,011	0,013	0,011	0,013	0,011	0,003	0,007	0,022	0,018	0,012	0,006	0,012	0,004	0,000	0,010	0,012	0,013	0,009	0,015	0,017	0,001	0,021	0,009	0,006	0,029
33	0,000174	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,013	0,007	0,007021	0,003	0,007	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,003	0,006	0,003	0,003	0,003	0,001	0,009	0,000	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002	0,000	0,003	0,001	0,001	0,005
34	0,000754	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,009	0,004	0,007195	0,002	0,005	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,005	0,004	0,003	0,002	0,006	0,001	0,013	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004
35	0,000174	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,005	0,003	0,004004	0,002	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,013	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003	0,001	0,001	0,002
36	0,000522	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,012	0,005	0,009748	0,003	0,009	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,002	0,001	0,002	0,005	0,004	0,004	0,002	0,006	0,002	0,010	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,008	0,004	0,005	0,011
37	0,000754	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,002	0,020	0,009	0,013172	0,006	0,012	0,005	0,005	0,003	0,004	0,006	0,004	0,002	0,003	0,008	0,005	0,007	0,005	0,015	0,002	0,017	0,002	0,003	0,002	0,001	0,000	0,004	0,000	0,008	0,004	0,006	0,017
38	0,000928	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,002	0,018	0,006	0,014622	0,006	0,013	0,003	0,003	0,003	0,003	0,008	0,003	0,003	0,003	0,007	0,005	0,003	0,003	0,009	0,002	0,017	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,000	0,000	0,007	0,003	0,003	0,012
39	0,000058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000870	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
40	0,000580	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,014	0,005	0,012359	0,005	0,009	0,003	0,004	0,004	0,003	0,008	0,004	0,002	0,004	0,006	0,004	0,004	0,002	0,013	0,003	0,020	0,003	0,002	0,003	0,007	0,007	0,008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007
41	0,000696	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,010	0,005	0,007427	0,004	0,008	0,004	0,003	0,006	0,004	0,004	0,002	0,001	0,001	0,004	0,004	0,003	0,001	0,006	0,001	0,009	0,002	0,002	0,001	0,003	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
42	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001567	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,004	0,008	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001
43	0,000928	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,002	0,003	0,031	0,015	0,020541	0,010	0,021	0,007	0,006	0,006	0,006	0,010	0,004	0,001	0,003	0,010	0,009	0,006	0,003	0,014	0,002	0,028	0,004	0,003	0,003	0,009	0,016	0,011	0,001	0,009	0,002	0,001	0,000

6 Ocak 2020 Pazartesi günü için Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'daki normalize edilen matrislerin istatistiksel olarak uyumlu olup olmadığını belirlemek için, i matristeki satır numarası, j matristeki sütun numarası olmak üzere ki-kare test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Güngör ve Bulut, 2008).

$$\sum_{i=1}^{43}\sum_{j=1}^{43} X_{ij}^{2} = \sum_{i=1}^{43}\sum_{j=1}^{43} \frac{(\text{gözlenen değer-beklenen değer})^2}{\text{beklenen değer}} = \sum_{i=1}^{43}\sum_{j=1}^{43} \frac{(o_{ij}-e_{ij})^2}{e_{ij}} \qquad (3.2)$$

Elde edilen toplam ki-kare değeri, belirlenen anlamlılık düzeyi ve serbestlik derecesinden elde edilen kritik ki-kare değerinden (tablo değeri) küçük ise ele alınan grupların birbirleri ile uyum içinde olduğu sonucuna varılmaktadır. Yani, "sıfır hipotezi" kabul edilmektedir. Formülde yer alan "gözlenen değerler", Tablo 3.5'te normalizasyonu yapılmış, kabul yapmadan oluşturulan O-D matrisi değerleridir. Formüldeki "beklenen değerler" ise, Tablo 3.6'da normalize edilmiş, kabullere göre oluşturulan O-D matrisi değerleridir. Değerlerin uyumlu olup olmadığı, binişler (satırlar), inişler (sütunlar) ve tüm matris için incelenmiştir.

Örneğin, Tablo 3.5 ve 3.6'da mavi ile boyanmış satırlar için, 13 numaralı Yenikapı istasyonundan binişler için toplam ki-kare değeri

$$\sum x^2 = \frac{(0{,}073469-0{,}072647)^2}{0{,}072647} + \frac{(0{,}066153-0{,}062841)^2}{0{,}062841} + \frac{(0{,}059460-0{,}053847)^2}{0{,}053847} + \cdots = 0{,}04$$

olarak hesaplanmıştır. %5 anlamlılık düzeyinde (α=0,05) ve serbestlik derecesi (f)=42 (43-1) için ki-kare tablo değeri 58,12 olarak okunmaktadır. Bu hesap Microsoft Excel ile "=KİKARE.TERS.SAĞK(α;f)" formülü kullanılarak yapılmıştır. Toplam ki-kare değeri, kritik değerden çok küçük olduğu için (0,04 < 58,12), hipotez reddedilmemiştir. p-değeri yaklaşık 1 olmaktadır. Bu durum matrisler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı, yani yapılan kabullerin geçersiz olduğunu söylemek için yeterli kanıt bulunmadığı anlamına gelmektedir.

Örneğin, turuncu ile boyanmış sütun için, 15 numaralı Üsküdar istasyonunda yapılan inişler için toplam ki-kare değeri

$$\sum x^2 = \frac{(0{,}033077-0{,}034351)^2}{0{,}034351} + \frac{(0{,}011674-0{,}011605)^2}{0{,}011605} + \frac{(0{,}02064-0{,}020947)^2}{0{,}020947} + \ldots = 0{,}007$$

olarak hesaplanmıştır. Toplam ki-kare değeri, kritik değerden çok küçük olduğu için, (0,007 < 58,12), hipotez reddedilmemiştir. p-değeri yaklaşık 1 olmaktadır. Bu durum

matrisler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı, yani yapılan kabullerin geçersiz olduğunu söylemek için yeterli kanıt bulunmadığı anlamına gelmektedir.

6 Ocak 2020 Pazartesi günü için kabulsüz ve kabullü matrislerin istatistiksel olarak incelenmesi örnek olarak gösterilmiş olup, bu inceleme çalışmamızın temelini oluşturan Ocak ayından seçtiğimiz bir haftanın (6 Ocak Pazartesi-12 Ocak Pazar) tüm günleri için yapılmıştır. Yaptığımız kabullerin bütün bir hafta boyunca (tüm binişler, tüm inişler ve tüm iniş-binişler için) istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü yaptığımız kabuller ile ki-kare testine göre O-D matrisi istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaşmamıştır. Bu nedenle, kabuller yapılarak üretilen matrisler, gün boyunca yapılan yolculukların başlangın-son (O-D) ilişkilerini anlamlı biçimde temsil etmektedir.

4
ZAMANSAL VE MEKÂNSAL YOLCULUK ANALİZLERİ

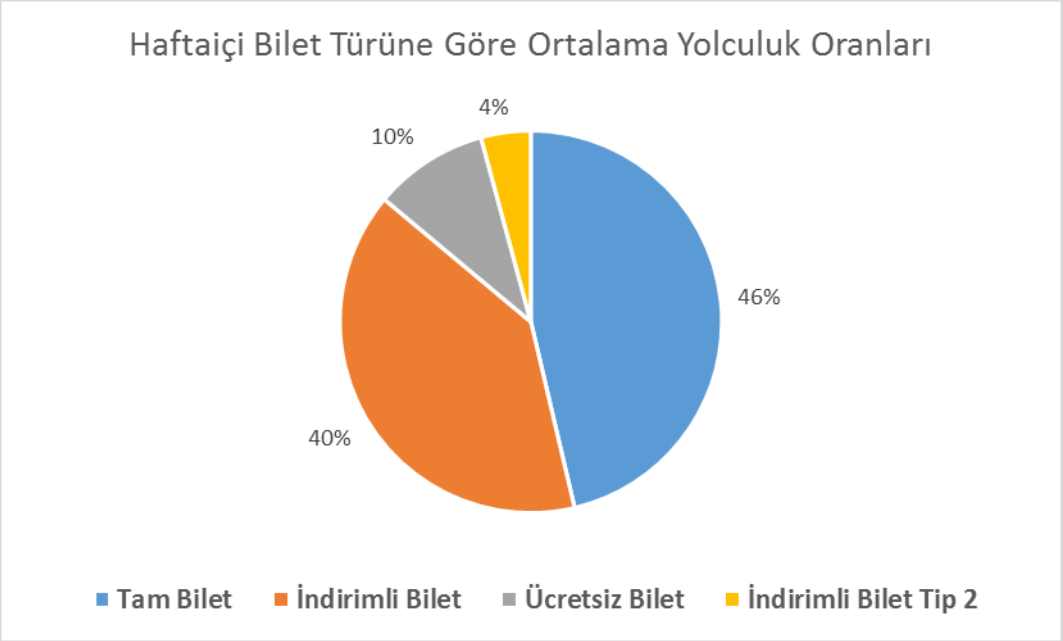
Bu bölümde 2020 yılı Ocak ayı İstanbulkart verilerinden seçtiğimiz bir haftanın (6 Ocak Pazartesi-12 Ocak Pazar) analiz ve grafiklerine yer verilmiştir. Seçtiğimiz hafta makro ve mikro ölçekte analizler içermektedir. Bölüm 3'te açıklanan yönteme dayanarak seçilen haftanın tüm günleri için başlangıç-son (O-D) yolculuk matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisler yardımıyla yolculukların sayısal, zamansal ve mekansal özellikleri incelenmiştir. Buna göre, yolculukların günler ve hat genelindeki dağılımları, sabah ve akşam zirve saat ve zirve dışı saat ayrımlarına göre, ayrıca hafta içi ve hafta sonu ayrımlarına göre incelenmiştir. Bunların yanında, seyahat uzunlukları, hattın en yüklü yolcu kesimleri ve bu kesimlerdeki yolcu yükleri ortaya koyulmuştur. Bunun yanı sıra hat genelindeki talep yüksek istasyonlar belirlenmiştir. Veri setinden elde ettiğimiz okumalar ile bilet kategorilerine göre yolculuk oranları da yapılan analizler arasındadır.

4.1 Bilet Türlerine Göre Analizler

Veri setinden elde ettiğimiz kart okumaları bize yolculukların zamansal ve mekansal özellikleri yanında kart tipleri hakkında da bilgiler vermektedir. İstanbulkart bilet tipleri, yolcuların yaş ve özel durumlarına göre farklılık göstermektedir. Herhangi bir abonmanlık işlemi yapılmadan, kullanıcısı tanımsız olan kartlar anonim kart olup, bu kartlar için turnike okumalarında tam bilet ücretlendirilmesi yapılmaktadır. Öğretmen, öğrenci ve 60 yaş indirimli kart sahipleri ise bilet okumalarında indirimli bilet türü 1 ve türü 2 ücretlendirmesine tabi tutulmaktadır. Çeşitli kamu personeli, şehit ve gazi yakınları, engelli vatandaşlar ve milli sporcuların turnikelerdeki kart okumaları ücretsiz olup, ücretsiz bilet türü olarak kaydedilmektedirler. Çalışmamızda Marmaray hattını kullanan yolcu sayılarının bilet türlerine göre oranları seçtiğimiz bir hafta için ele

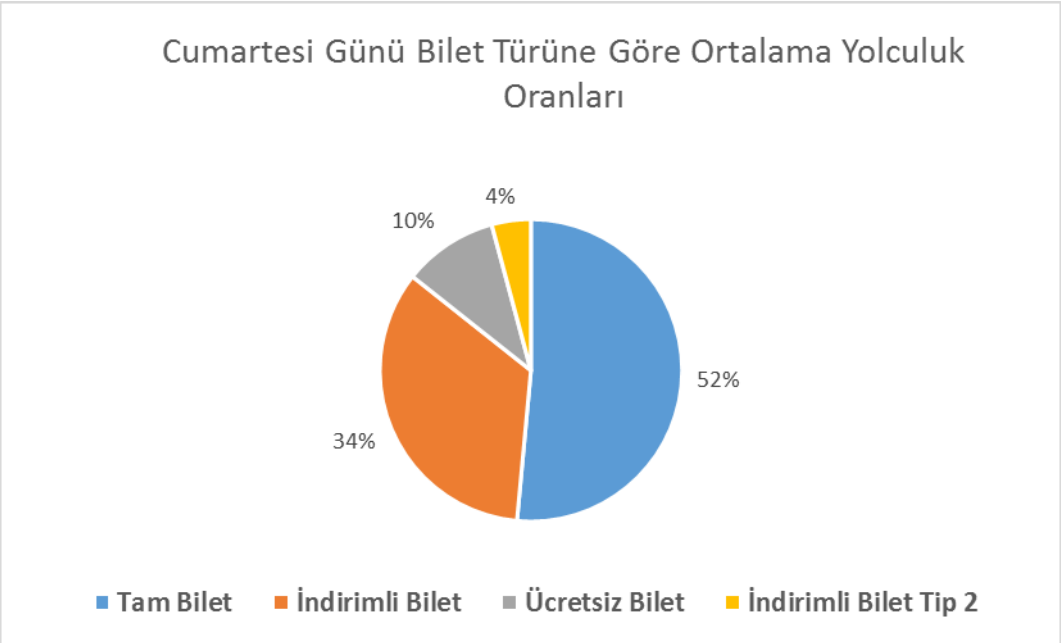
alınmış olup, hafta içi günler ortalamalar şeklinde, cumartesi ve pazar günleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Şekil 4.1'de hafta içi (6-10 Ocak 2020) bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları gösterilmiştir. Hafta içinde Marmaray hattını kullanan yolcuların %46'sı turnikelerde tam bilet okutması yaparken, indirimli kartlara sahip yolcuların toplam oranı %44 olmuştur. Hafta içi günlerde hattı indirimli olarak kullanan yolcuların yüzdesi, Şekil 4.2 ve 4.3'te gösterilen cumartesi ve pazar günlerindeki indirimli kart yüzdelerinden daha fazladır. Bunun sebebinin, hafta içinde yapılan yolculukların düzenli okul ve iş seyahatleri olması ve bu yolculuklarda indirimli tarife kullanılması olduğu düşünülmektedir. Hafta içinde Marmaray hattını kullanan yolcuların %10'u ise ücretsiz bilet türüne sahiptir.



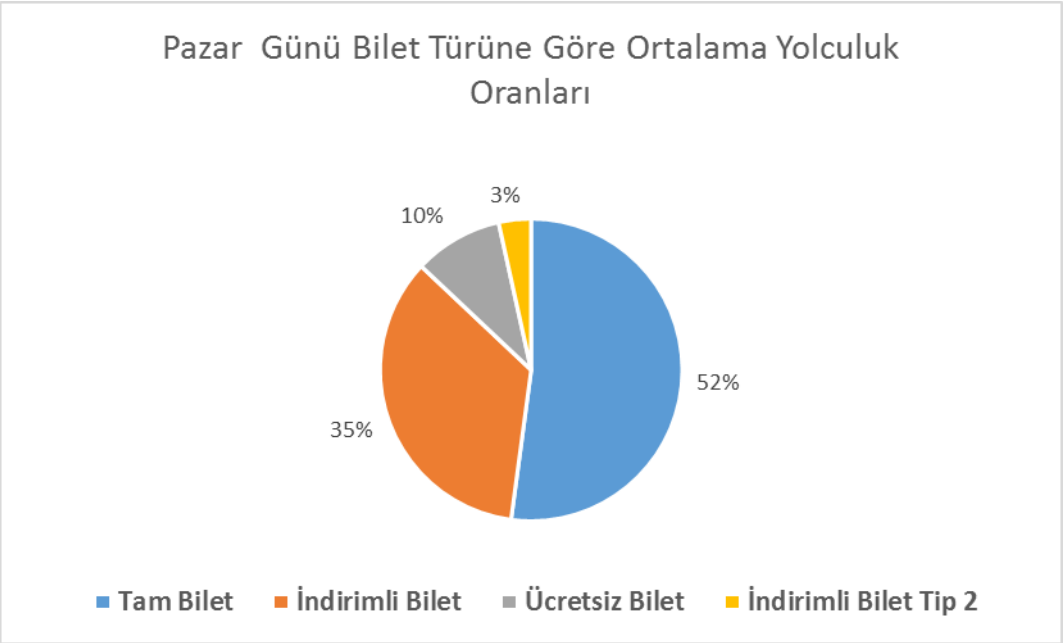
Şekil 4.1 Hafta içinde bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları

Şekil 4.2'de 11 Ocak 2020 Cumartesi günü bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları gösterilmiştir. Cumartesi günü Marmaray hattını kullanan yolcuların %52'si turnikelerde tam bilet okutması yaparken, indirimli kartlara sahip olan yolcuların toplam oranı %38 olmuştur. Cumartesi günü hattı kullanan yolcuların %10'u ise ücretsiz bilet türüne sahiptir.



Şekil 4.2 Cumartesi günü bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları

Şekil 4.3'te 12 Ocak 2020 Pazar günü bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları gösterilmiştir. Pazar günü Marmaray hattını kullanan yolcuların cumartesi gününde olduğu gibi %52'si turnikelerde tam bilet okuması yaparken, indirimli kartlara sahip yolcuların toplam oranı cumartesi günkü ile aynı olup, bu oran %38 olmuştur. Pazar günü hattı kullanan yolcuların %10'u ise ücretsiz bilet türüne sahiptir.



Şekil 4.3 Pazar günü bilet türlerine göre ortalama yolculuk oranları

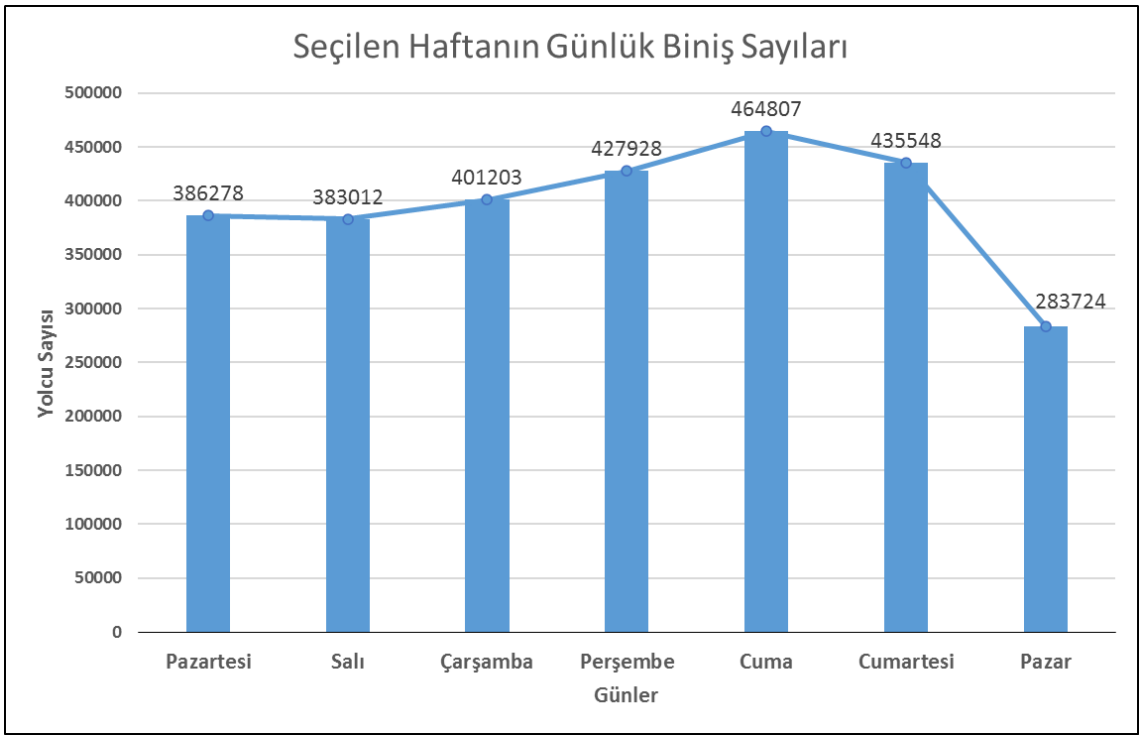
4.2 Zamana ve Mekâna Göre Toplu Yolculuk Analizleri

3. Bölümde yapılan kabuller ile beraber istatistiksel geçerliliği ortaya koyularak oluşturulan başlangıç-son (O-D) matrislerinden elde edilen yolculuk değerleri, 2020 Ocak ayından seçilen hafta için çeşitli analizler yapma imkanı tanımaktadır. O-D matrislerinden elde edilen verilerden yararlanarak ilgili haftaya ilişkin şu analizler yapılmıştır: Gün ve istasyon bazında kart okutmaları (biniş sayıları), sabah ve akşam için belirlenen zirve saat aralıklarında hattı kullanan yolcu sayıları, zirve saat ve zirve dışı saatlerde hattı kullanan yolcu sayılarının karşılaştırılması, talep yüksek istasyonların tespiti ve bu istasyonlarda yapılan kart okutmalarının toplu sayıları.

4.2.1 Seçilen Haftada Günlük Biniş Sayıları

Şekil 4.4'te ilgili haftada Marmaray hattını kullanan yolcuların günlere göre sayıları verilmiştir. Bu sayılar hattın tüm gün için işletme süresi içinde

ölçülmüştür. Grafiğe bakıldığında, Marmaray hattının en çok kullanıldığı gün 464807 yolcu ile Cuma günü olmuştur. Pazar günü yolcu sayısında ciddi bir düşüş gözlenmekte olup, hattı kullanan yolcu sayısı 283724'tür.



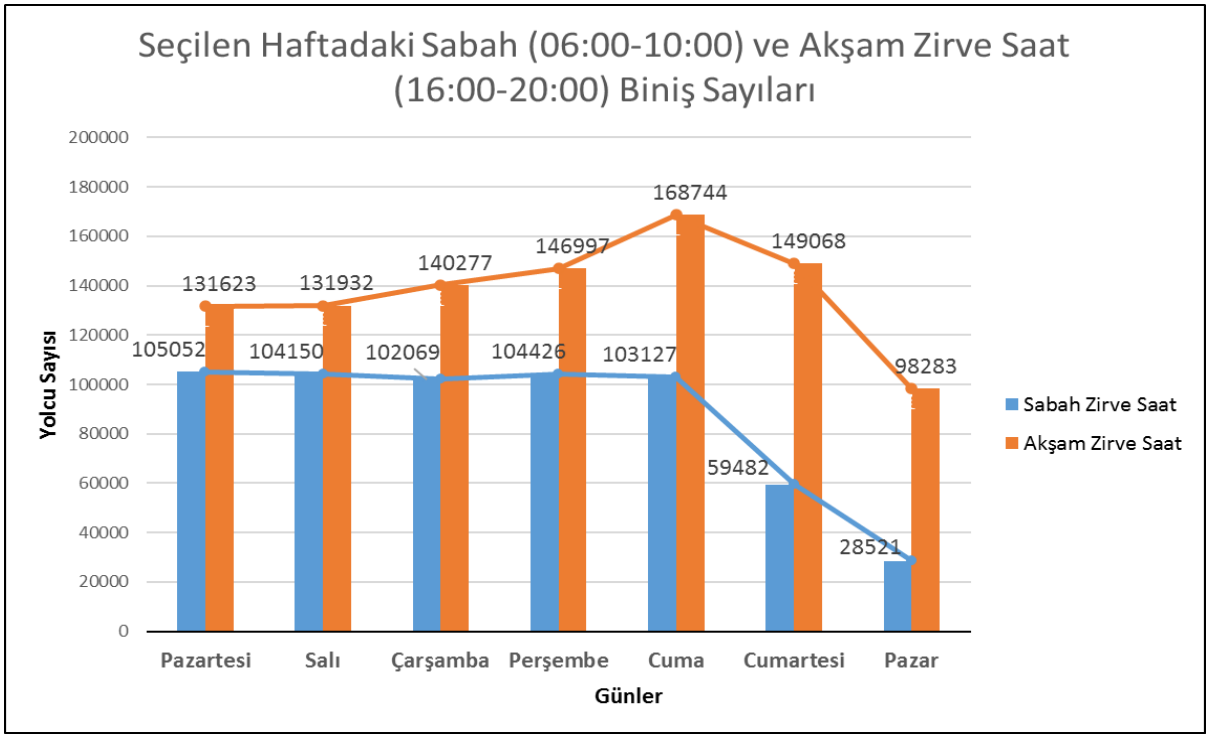
Şekil 4.4 Seçilen haftanın günlük biniş sayıları

4.2.2 Seçilen Haftada Sabah ve Akşam Zirve Saat Biniş Sayıları

Ulaştıma sektörü için zirve saat incelemeleri önemli bir faaliyet olup, çoğu hat inceleme ve geliştirme çalışmaları bu saat dilimlerindeki yolcu sayılarına göre yapılmaktadır. Gün içerisinde hattın en büyük yolcu yükünü, zirve saat olarak belirlenen bu zaman dilimleri karşılamaktadır. Zirve saat olarak ele alınan zaman dilimleri genellikle çalışan kesim için işe gidiş ve dönüş, öğrenciler için ise okula gidiş ve dönüş saatleri olmaktadır.

Çalışmamızda seçilen hafta için zamana bağlı olarak yaptığımız incelemeler sonrası sabah zirve saatinin 06:00 ve 10:00 periyodu içinde, akşam zirve saatinin ise 16:00 ve 20:00 periyodu içinde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Şekil 4.5'te ilgili

haftada Marmaray hattını kullanan yolcuların, belirlenen zirve saatlere göre sayıları verilmiştir. Grafik incelendiğinde, haftanın bütün günleri için, akşam zirvesinin sabah zirvesinden daha yoğun olduğu görülmektedir. Bu fark hafta sonu için daha belirgin olmaktadır. Cuma günü, akşam için belirlenen zirve saat diliminde 168744 yolcu ile en yüksek yolcu sayısına sahip olmuştur. Hafta içi günlerde sabah zirve yolculuklarının sayısı neredeyse aynı düzeydeyken, akşam yolculukları haftanın sonuna doğru artma eğilimi göstermektedir.

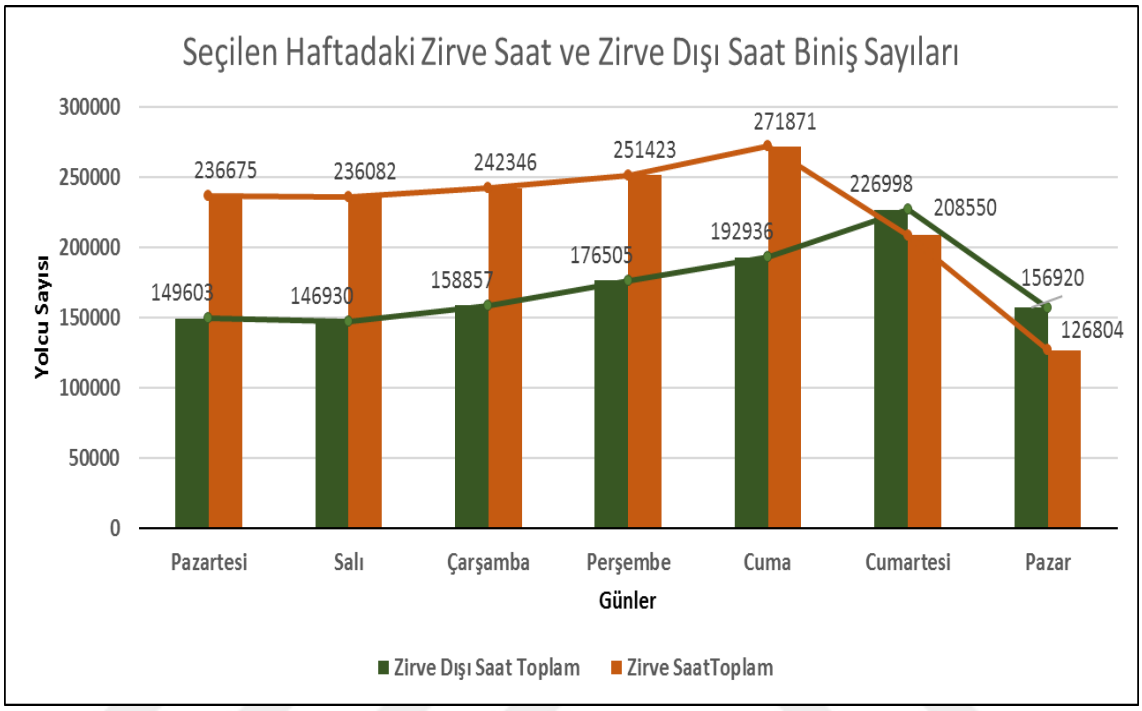


Şekil 4.5 Seçilen haftada sabah ve akşam zirve saat biniş sayıları

4.2.3 Seçilen Haftada Zirve Saat ve Zirve Dışı Saat Biniş Sayıları

Şekil 4.6, seçilen haftadaki zirve saat ve zirve dışı saat biniş sayılarını vermektedir. Zirve saat biniş sayıları toplamı Şekil 4.5'te gösterilen sabah ve akşam zirve saat biniş sayıları toplanarak elde edilmiştir. Zirve dışı saat biniş toplamları sabah 06:00-10:00 ve akşam 16:00-20:00 saatleri dışında kalan zamanlarda gerçekleştirilmiş yolculuk sayılarıdır. Grafiğe bakıldığında hafta içi günlerin tamamı için zirve saatlerde gerçekleştirilen biniş sayıları, zirve dışı saatlerde gerçekleştirilen biniş sayılarına göre daha fazladır. Cumartesi ve pazar günlerinde ise bunun aksi gözlenmekte olup, zirve dışı saatlerde gerçekleştirilen biniş sayıları,

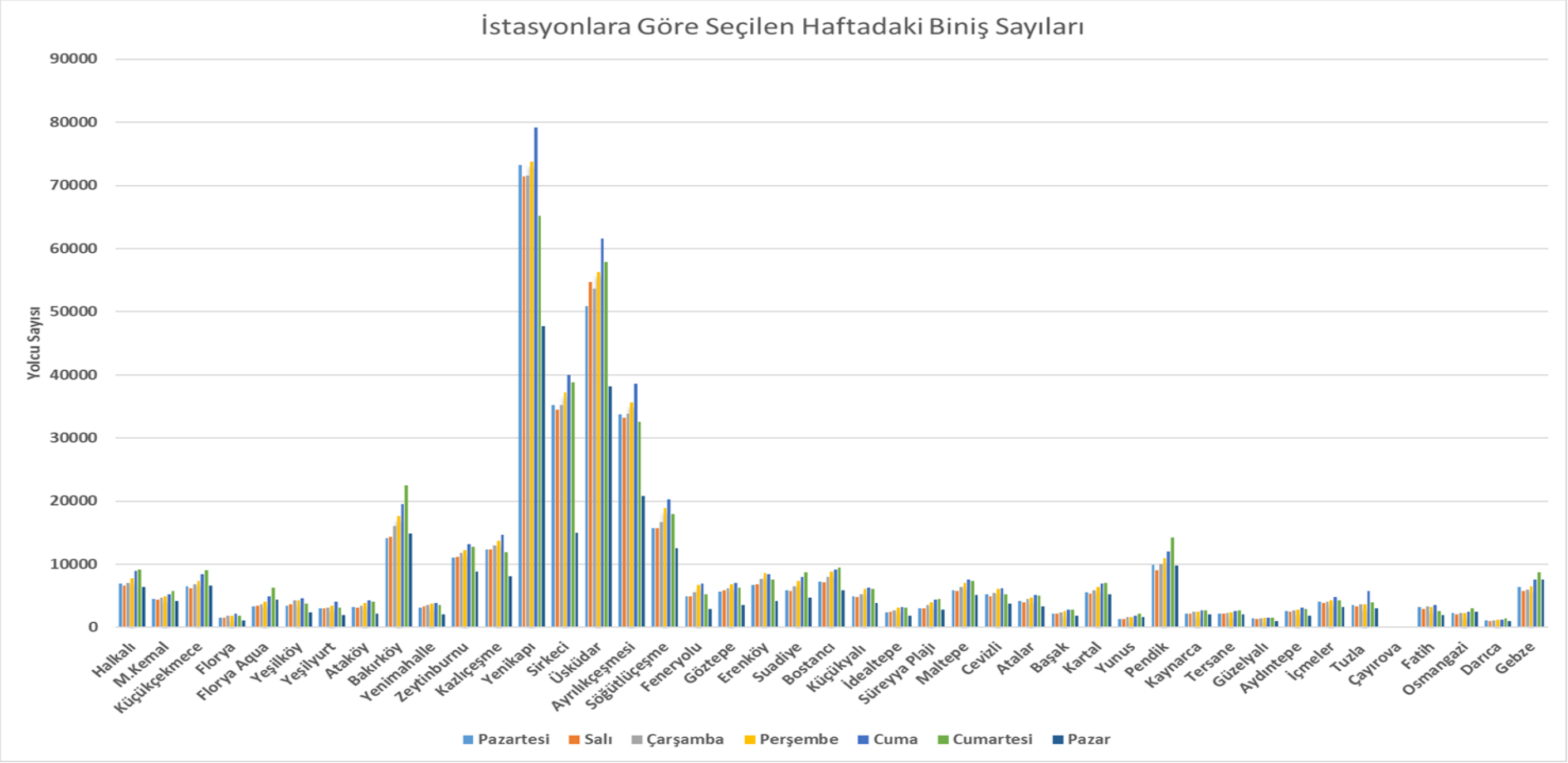
zirve saatler toplamına göre daha fazla olmuştur. Bu inceleme bize, haftasonları hattı kullanan yolcu sayılarının zamana (günün saatlerine) göre düzenli bir şekilde dağıldığını göstermektedir.



Şekil 4.6 Seçilen haftadaki zirve saat ve zirve dışı saat biniş sayıları

4.2.4 Seçilen Haftada İstasyonlara Göre Biniş Sayıları

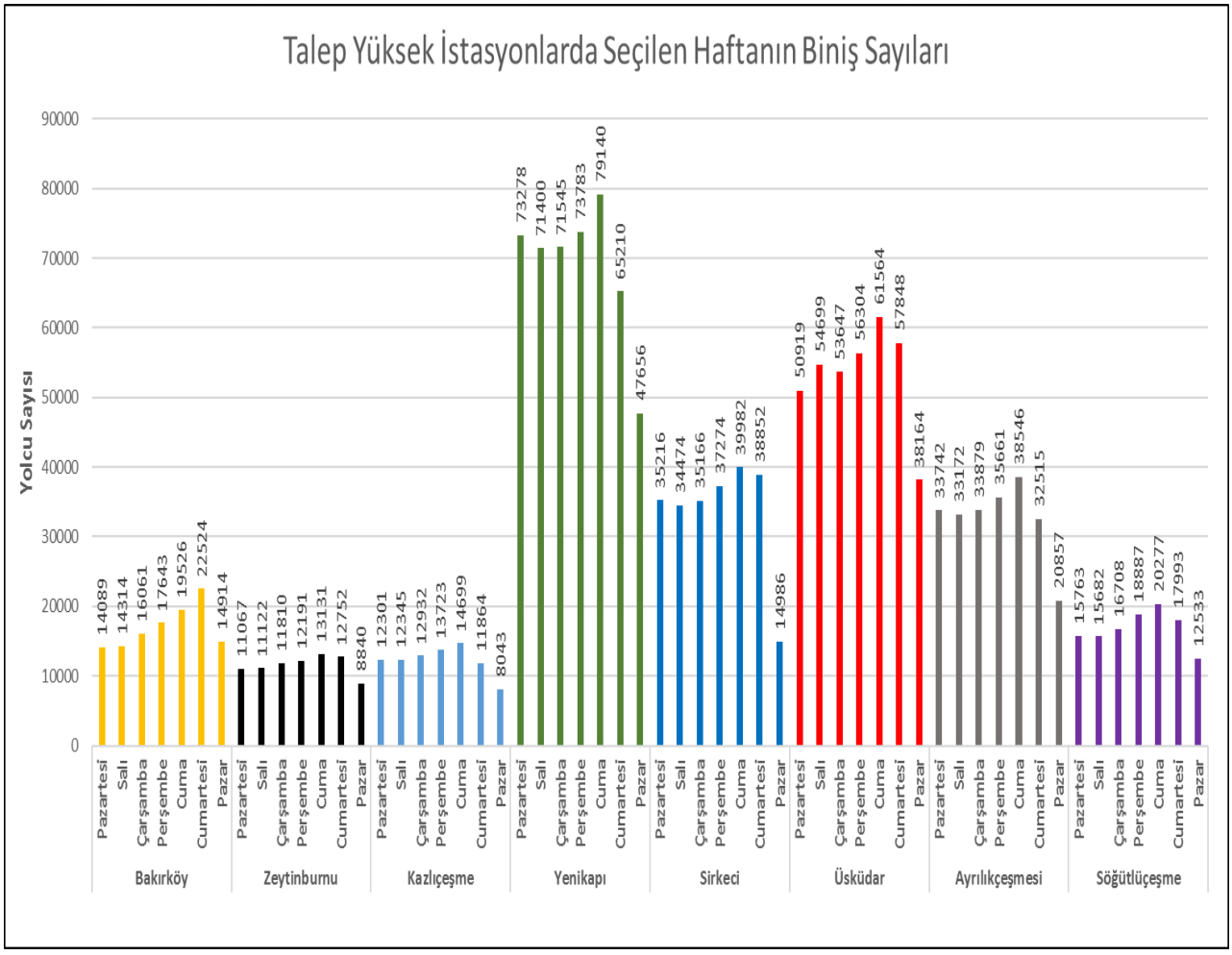
Şekil 4.7'de ilgili haftada Marmaray hattında bulunan 43 istasyondan gerçekleştirilen biniş sayıları gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında hattın ilk etabı olarak hizmete giren ve boğaz geçişini sağlayan istasyonların daha yoğun olduğu gözlemlenebilir. Yenikapı İstasyonu, birçok başka hatla entegre olduğu için, haftanın bütün günlerinde en yoğun yolcu yüküne sahiptir.



Şekil 4.7 İstasyonlara göre seçilen haftadaki biniş sayıları

4.2.5 Seçilen Haftada Talep Yüksek İstasyonlardaki Biniş Sayıları

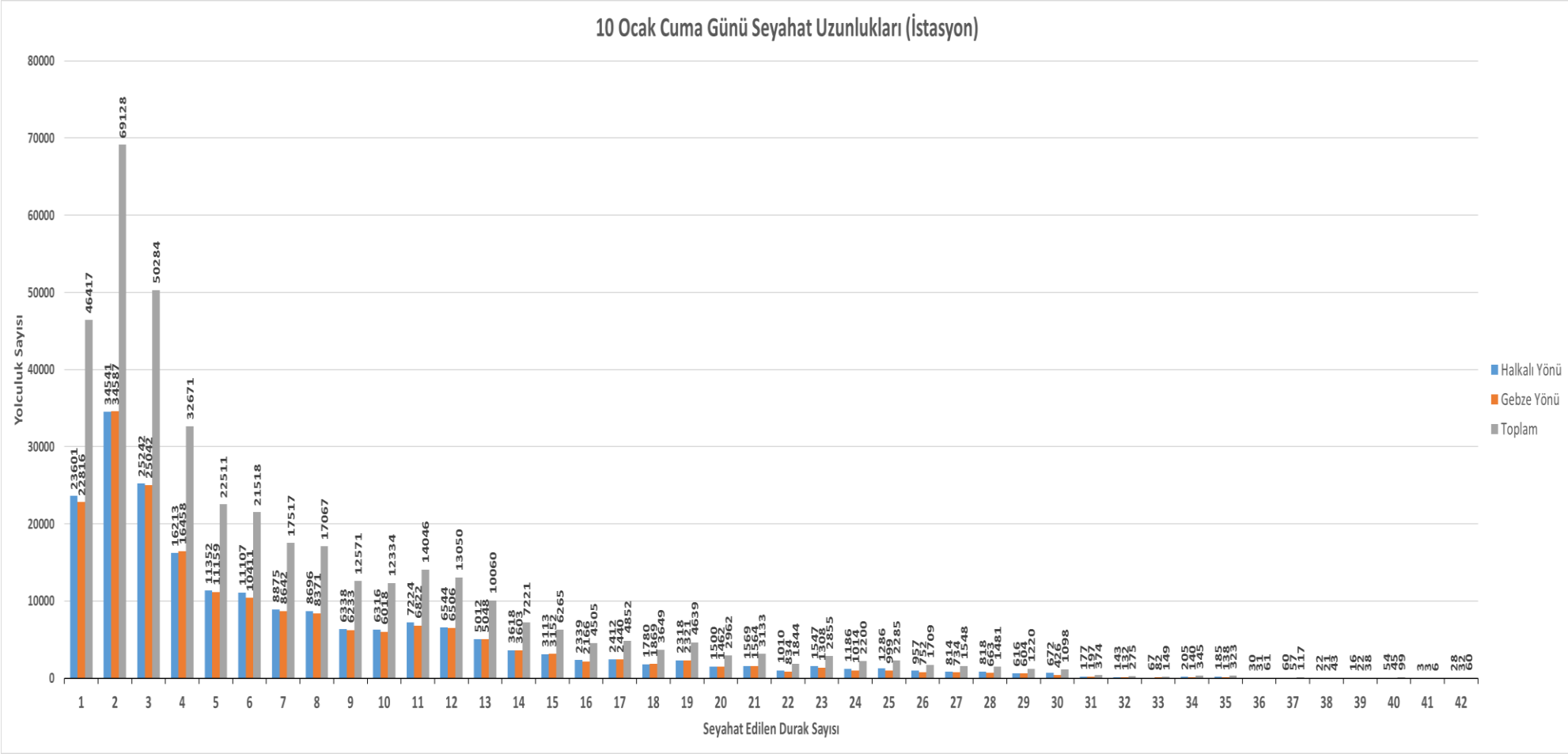
Şekil 4.7'deki grafikten 43 istasyon arasından 8 talep yüksek istasyon seçilerek Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Seçilen Marmaray istasyonları diğer bazı raylı sistem hatlarına, lastik tekerlekli otobüs hatlarına ve deniz hatlarına aktarma yapma imkanı sağladıklarından dolayı, diğer istasyonlara oranla daha fazla yolcunun kullanmasına olanak sağlamaktadır. Bunun yanında aralarından birkaçı yüksek hızlı tren entegrasyonuna da sahiptir. Belirlenen istasyonlardan Sirkeci ve Üsküdar istasyonları boğaz geçişini sağladığı için yoğun talep görmektedir. Yenikapı İstasyonu, talep yüksek istasyonlar arasında en fazla yolcu yüküne sahip istasyondur.



Şekil 4.8 Talep yüksek istasyonlarda seçilen haftanın biniş sayıları

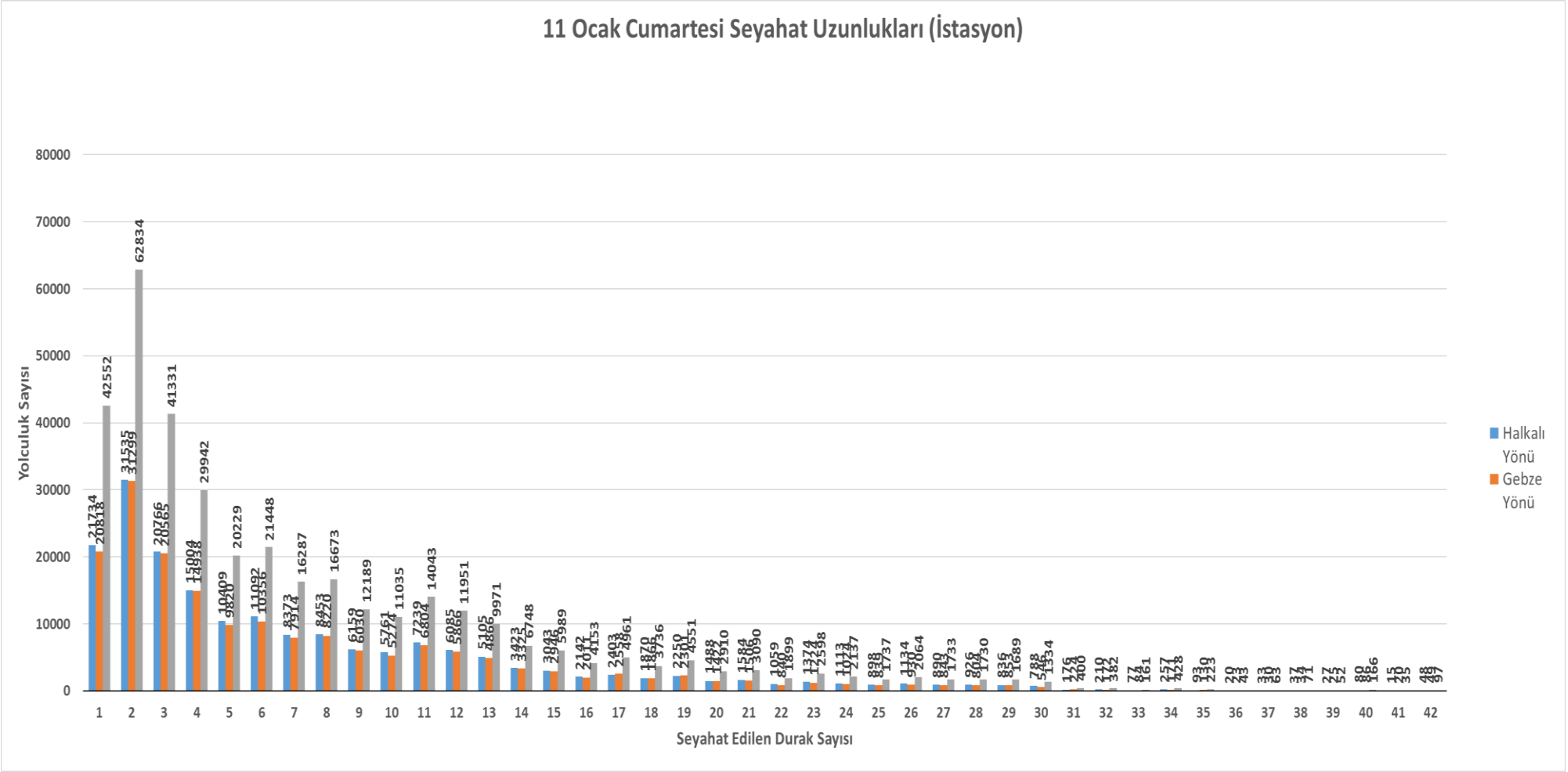
4.3 Seyahat Uzunluklarına Göre Analizler

3. Bölümde yapılan kabuller ile beraber istatistiksel geçerliliği ortaya koyularak oluşturulan başlangıç-son (O-D) matrisleri, verilerin toplu olarak incelenmesi yanında, hattı kullanan yolcuların istasyon bazında seyahat uzunluklarını analiz imkanı da sağlamıştır. Analizler hattın hem Halkalı yönü hem de Gebze yönü için yapılmıştır. Hafta içinden seçilen bir gün, cumartesi ve pazar günü için incelemeler yapılmıştır. İlgili haftanın (6 Ocak 2020 Pazartesi-12 Ocak 2020 Pazar) hafta içi günlerinden 10 Ocak Cuma gününün istasyon bazında seyahat uzunluklarına ait grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafiğin yatay ekseni yolcuların Marmaray ile geçtikleri istasyon sayılarını vermektedir. Grafiğe bakıldığında gün içinde Marmaray'ı kullanan yolcuların büyük çoğunluğunun her iki yön için de 1, 2 ve 3 istasyon uzunluğuna sahip yolculuklar yaptıkları görülmektedir. Grafiğin sütunları sağa doğru azalma eğilimi göstermektedir. Bu da yolculuk sayılarının, kat edilen istasyon sayısı arttıkça azaldığı sonucunu işaret etmektedir. 10 Ocak Cuma günü hattı kullanan yolcular, en çok 2 istasyon mesafesinde yolculuklar yapmış olup, yolculuk sayısı her iki yön için toplam 69128 olarak belirlenmiştir. İlgili gün için, yolcuların mesafe seçimlerinin, her iki yön için de birbirlerine çok yakın yolculuk sayılarına karşılık geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9 10 Ocak Cuma günü için seyahat uzunlukları (kat edilen durak sayısı)

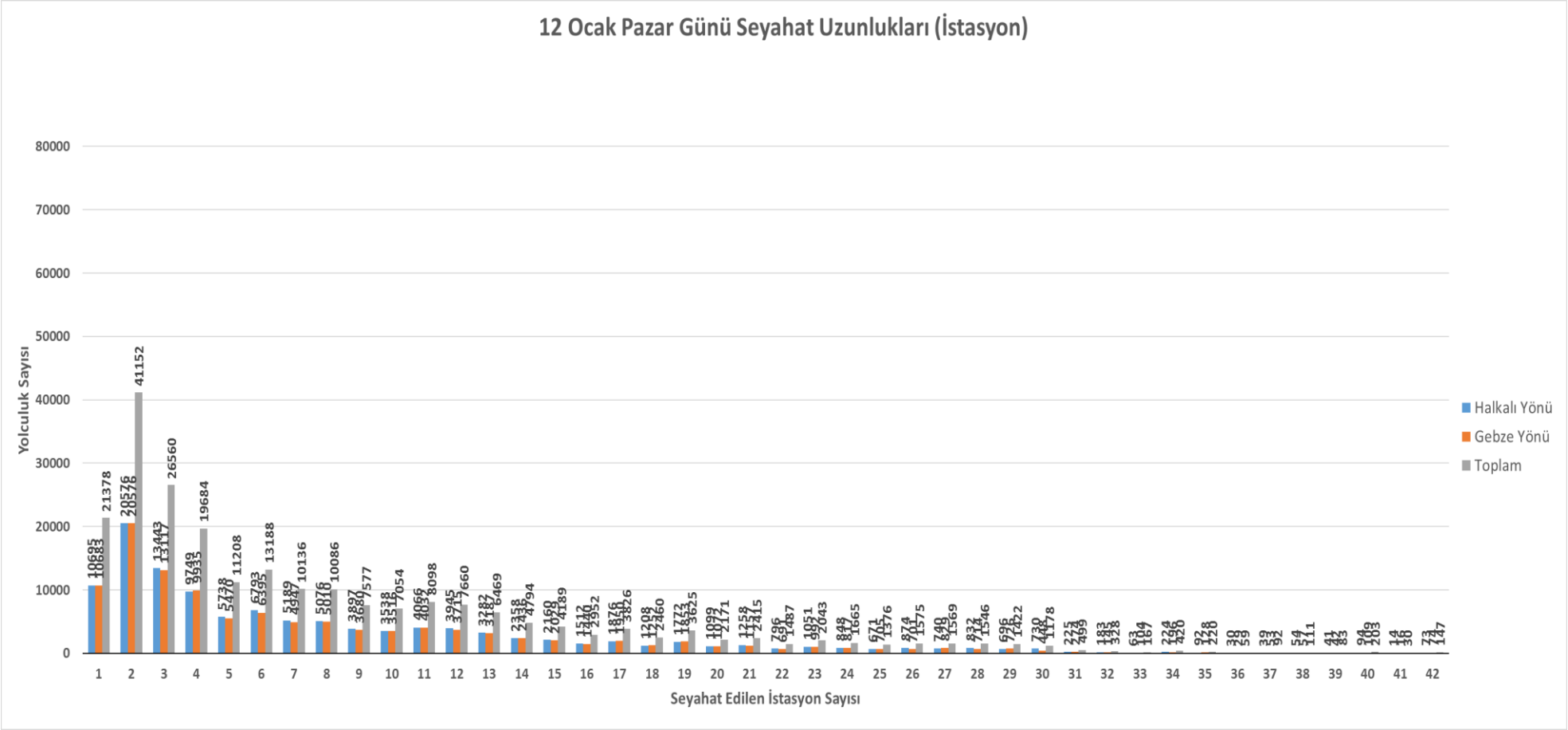
Şekil 4.10'da, 11 Ocak Cumartesi gününe ait istasyon bazında seyahat uzunlukarı grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında, Cumartesi günü Marmaray hattını kullanan yolcuların geçtikleri istasyon sayılarına göre dağılımlarının Şekil 4.9'da verilen 10 Ocak Cuma günü ile benzerlik gösterdiği söylenebilir. Cumartesi günü içinde Marmaray'ı kullanan yolcuların gerçekleştirdiği yolculukların büyük bir çoğunluğu, her iki yön için de 1, 2 ve 3 istasyon sayısını kapsamaktadır. 11 Ocak Cumartesi günü hattı kullanan yolcular, en çok 2 istasyon mesafesinde yolculuklar yapmış olup, yolculuk sayısı her iki yön için toplam 62384 olarak belirlenmiştir. İlgili gün için, yolcuların mesafe seçimlerinin, her iki yön için de birbirlerine çok yakın yolculuk sayılarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yolcular cumartesi günü için de, Cuma gününde olduğu gibi kısa mesafeli yolculukları tercih etmektedirler. Yolculuk sayıları, istasyon bazında mesafe ile ters yönde bir ilişki içerisindedir.



Şekil 4.10 11 Ocak Cumartesi günü için seyahat uzunlukları (kat edilen durak sayısı)

Şekil 4.11'de 12 Ocak Pazar gününe ait istasyon bazında seyahat uzunlukları grafiği verilmiştir. Pazar günü hattı kullanan yolcular, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'daki gibi hattı kısa mesafeli yolculuklar için daha fazla tercih etmişlerdir. Grafiğe bakıldığında gün içinde Marmaray'ı kullanan yolcuların gerçekleştirdiği yolculukların büyük bir çoğunluğu diğer iki grafikte de olduğu gibi, her iki yön için de 1, 2 ve 3 istasyon sayısı kadar yolculuk yapacak şekilde gerçekleşmiştir. Yolcular Pazar günü içinde en fazla 2 istasyon geçerek yapılan yolcukları tercih etmişlerdir. Pazar günü diğer günlere göre Marmaray hattını daha az yolcu kullanmakla beraber, 2 istasyon geçerek yapılan yolculuk sayısı 41152 olmuştur.

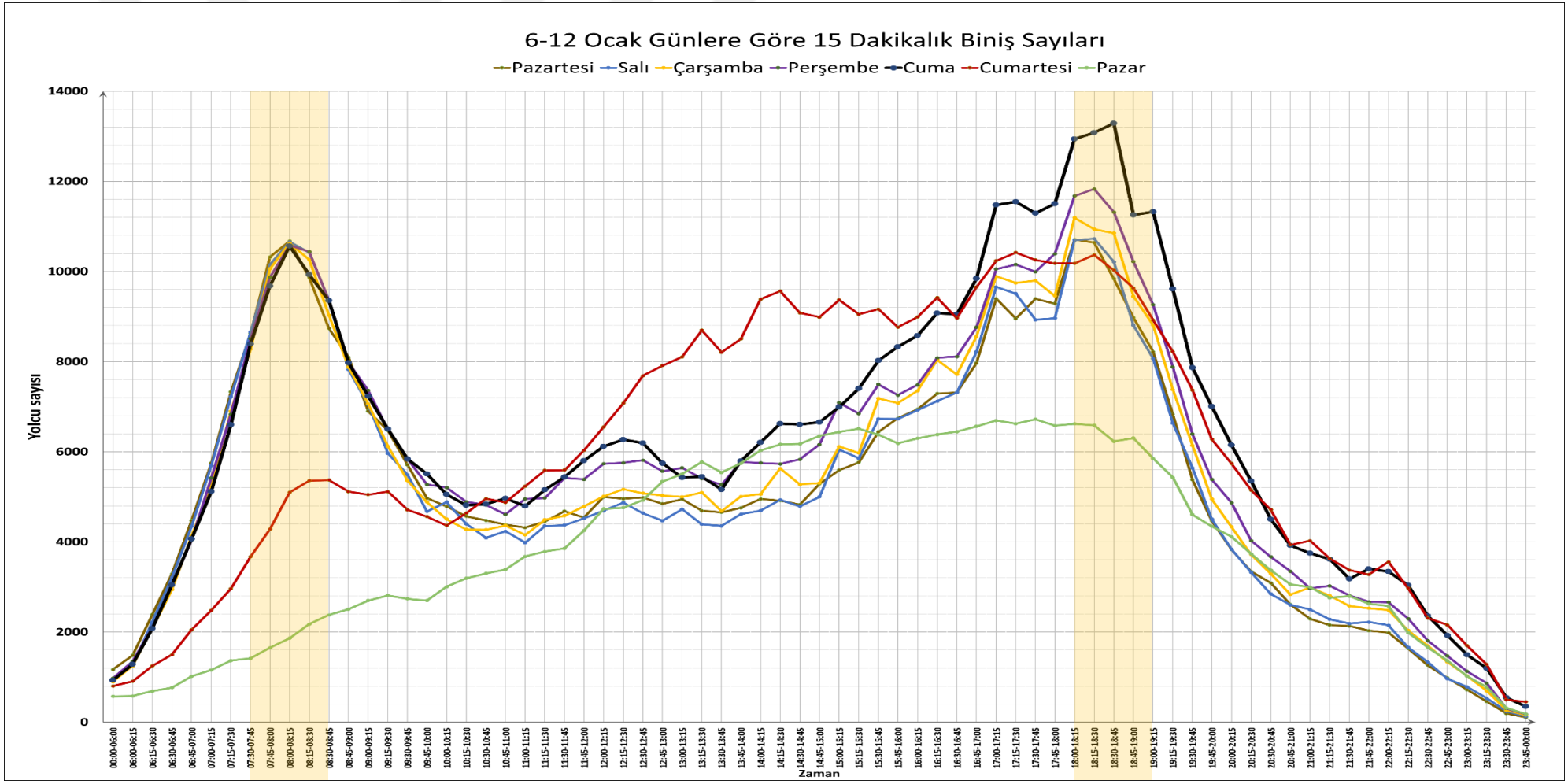
3 farklı gün için incelenen istasyon bazında seyahat uzunlukları grafiklerinden görüldüğü gibi, yolcular Marmaray'ı kısa mesafeli yolculuklar için daha fazla tercih etmişlerdir. Bu bulgu, Marmaray hattının çoğunlukla aktarmalı yolculuklar için uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.11 12 Ocak pazar günü için seyahat uzunlukları (kat edilen durak sayısı)

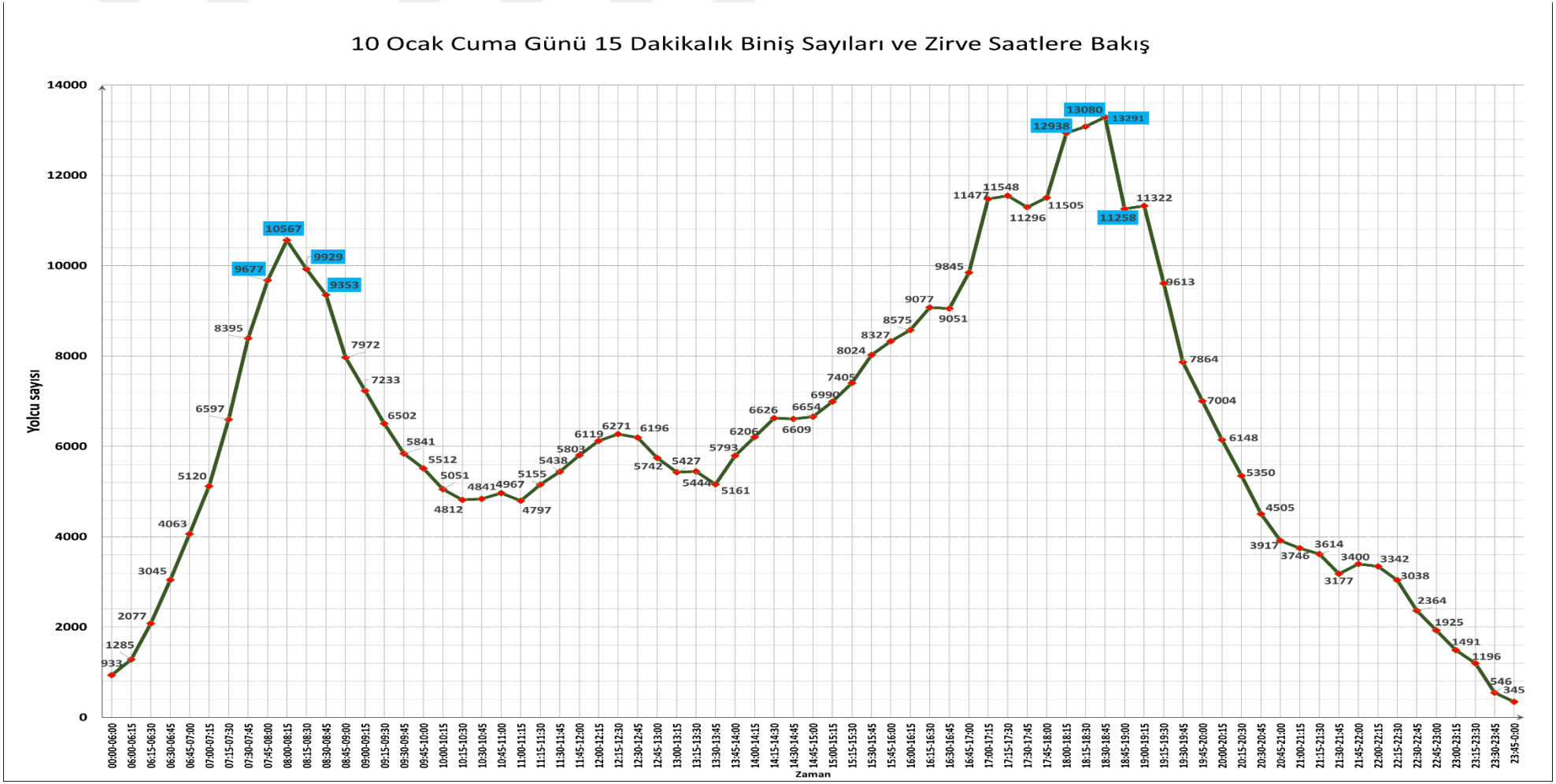
4.4 Yolculuk Sayılarının Gün İçinde Değişiminin İncelenmesi

Bu bölümde Marmaray verileri zamana göre incelenmiştir. Hattın tüm işletme süresi (yaklaşık 18 saat) 15'er dakikalık zaman dilimlerine bölünmüştür. Bu sayede bir gün için gerçekleşen toplam biniş sayılarından 15'er dakikada gerçekleşen biniş sayıları elde edilmiştir. Bu sayılar, Bölüm 3'te açıklanan yönteme dayanarak, seçilen haftanın tüm günleri için 15'er dakikalık zaman dilimini kapsayan başlangıç-son (O-D) matrislerinin oluşturulması ile elde edilmiştir. 00:00-06:00 zaman diliminde gerçekleşen binişler az sayıda olduğu için, bu 6 saatlik dilim 15'er dakikaya bölünmeyip, bir bütün olarak ele alınmıştır. 2020 yılı Ocak ayından seçtiğimiz haftanın (6 Ocak Pazartesi-12 Ocak Pazar) 15'er dakikalık biniş sayılarını gösteren grafik Şekil 4.12'de verilmiştir. Grafiğin yatay ekseni zaman dilimlerini gösterirken, düşey eksen bu zaman dilimlerinde gerçekleşen yolculuk sayılarını vermektedir. İlgili haftanın her günü için farklı bir renk kullanılmıştır. Bölüm 4.2.2'de toplu analizler için belirlenen sabah (06:00-10:00) ve akşam (16:00-20:00) için zirve saatler, Şekil 4.12'de daha ayrıntılı olarak görülmektedir. Grafiğe daha ayrıntılı bakıldığında hafta içi günleri için, sabah 07:30 ve 08:30 saatleri arası, akşam 18:00 ve 19:00 saatleri arası en yoğun saatler olarak tespit edilmiştir. Bu zaman dilimleri grafikte gölgelendirilmiştir. Şekil 4.5'te verilen sabah ve akşam zirve saat biniş grafiğinde haftanın bütün günleri için akşam zirvesinin, sabah zirvesinden daha yoğun olduğu gözlemlenmişti. Şekil 4.12'ye bakıldığında, akşam zirvesinde meydana gelen tepenin sabah zirvesinde meydana gelen tepeden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12 6-12 Ocak günlerinde 15 dakikalık biniş sayıları

Şekil 4.6'da verilen seçilen haftadaki zirve saat ve zirve dışı saat biniş sayıları grafiğine göre, hafta içi günlerde zirve saatlerde gerçekleşen toplam biniş sayıları, zirve dışı saatlere göre daha fazla iken, cumartesi ve pazar günleri için tersi bir durumun söz konusu olduğu gözlemlenmişti. Şekil 4.12'ye de bakıldığında, hafta içi günler için zirve saatlerde tepe noktaları keskin bir şekilde görülürken, kırmızı renge sahip cumartesi ve yeşil renge sahip pazar gününde grafik tüm gün için daha üniform olarak yayılmıştır. Siyah renk ile gösterilen cuma gününün, özellikle akşam zirvesi için diğer günlere göre daha yoğun yolcu sayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.13'de 10 Ocak Cuma günü 15 dakikalık biniş sayıları ayrıntılı olarak verilmiştir. Grafiğe bakıldığında Şekil 4.12'de tespit edilen sabah (07:30-08:30) ve akşam (18:00-19:00) zirve saatler için en yoğun zaman dilimlerindeki biniş sayıları mavi renk ile vurgulanmıştır. 07:30-07:45 saatleri arası 9677 yolcu, 07:45-08:00 saatleri arası 10567 yolcu, 08:00-08:15 saatleri arası 9929 yolcu, 08:15-08:30 saatleri arası 9353 yolcu ve toplamda 1 saatlik sabah zirvesinde 39526 yolcu, 10 Ocak Cuma günü hattı kullanmıştır. 18:00-18:15 saatleri arası 12938 yolcu, 18:15-18:30 saatleri arası 13080 yolcu, 18:30-18:45 saatleri arası 13291, 18:45-19:00 saatleri arası 11258 yolcu ve toplamda 1 saatlik akşam zirvesinde 50567 yolcu, 10 Ocak Cuma günü hattı kullanmıştır.

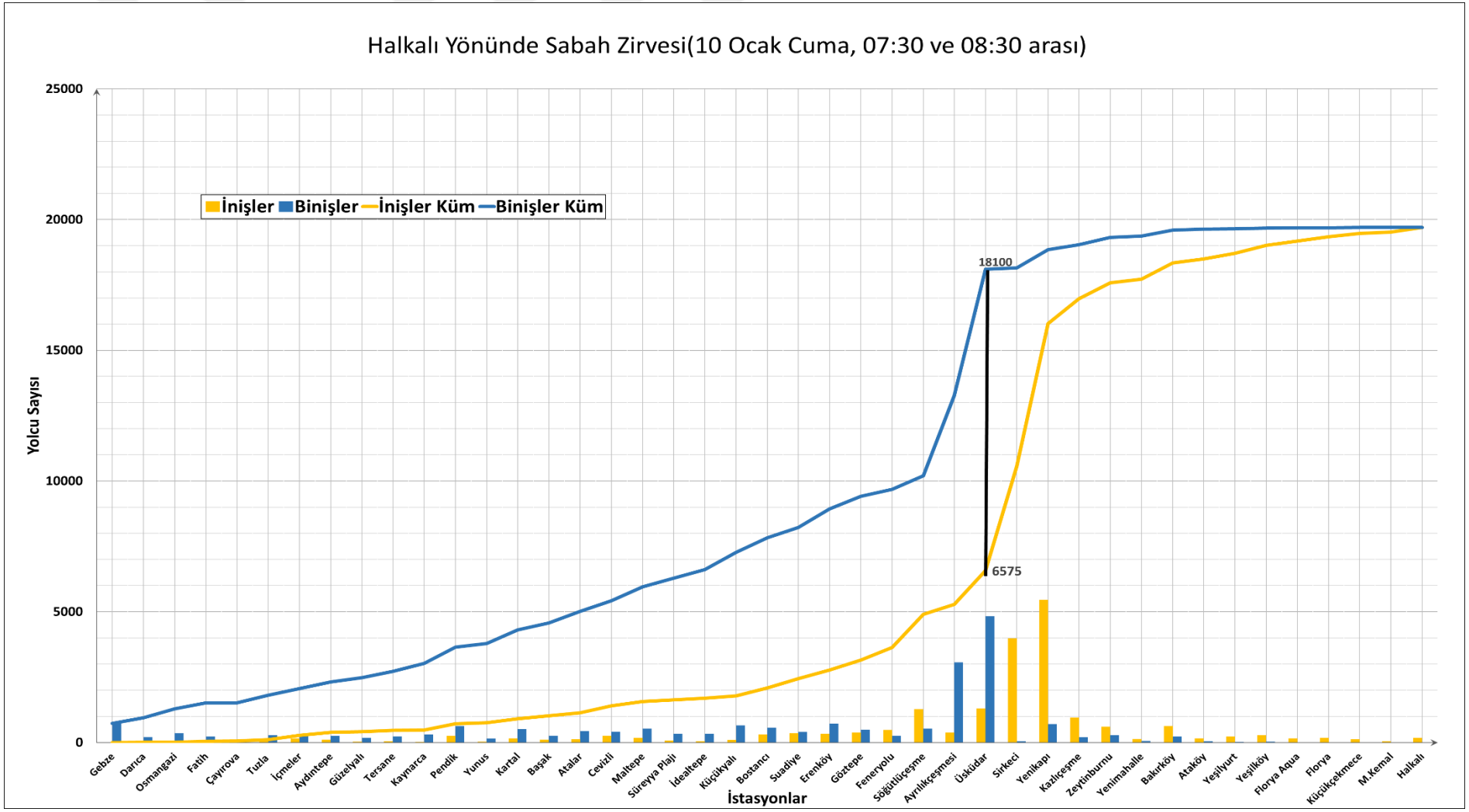


Şekil 4.13 10 Ocak Cuma günü 15 dakikalık biniş sayıları ve zirve saat yolculukları

4.5 Kümülatif Yolculuk Sayısı Analizleri ve Hattın En Yüklü Kesiminin Tespiti

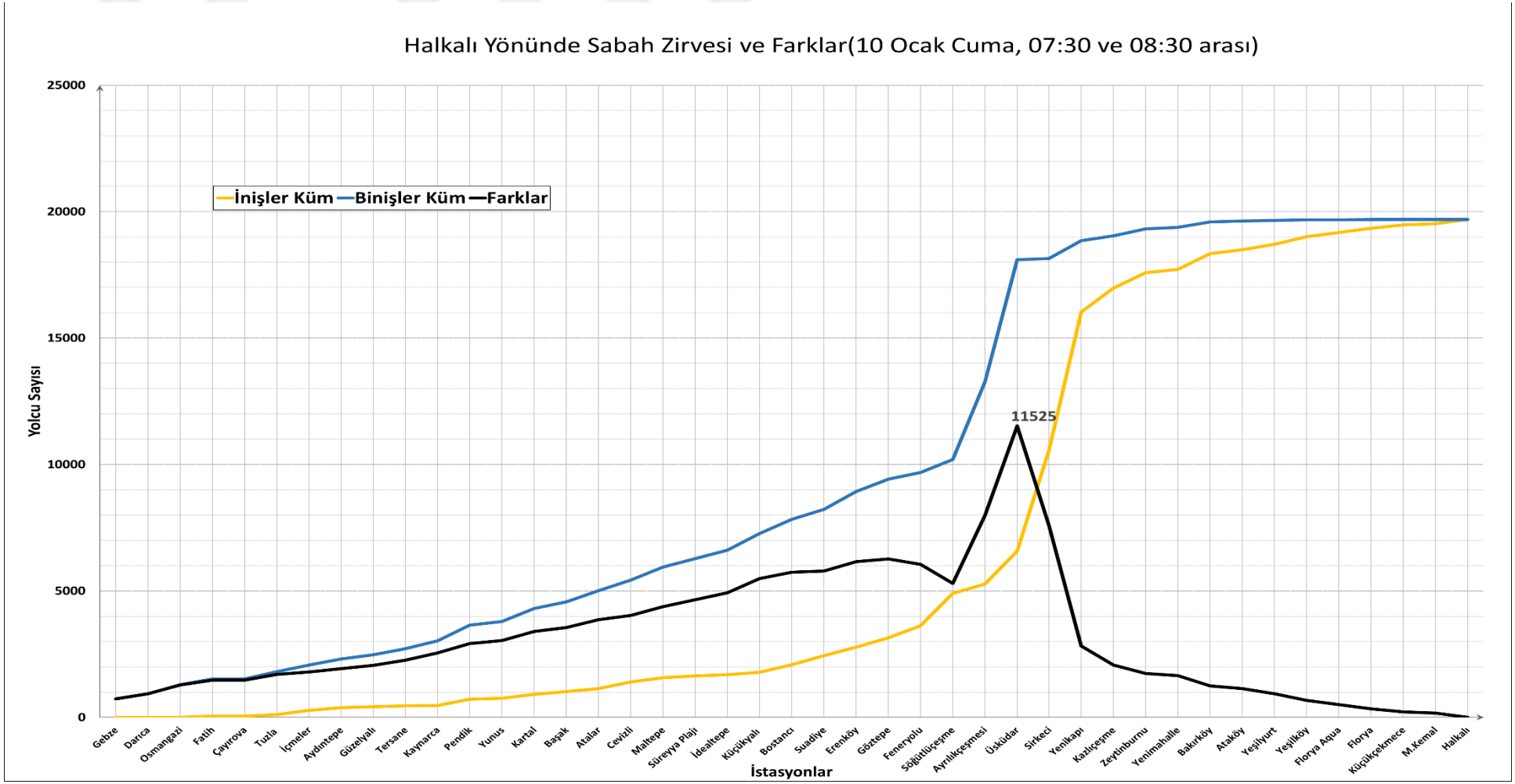
Ulaştırma sektöründeki uzman kişiler için, incelenen toplu taşıma hatlarındaki en fazla yolcunun bulunduğu zamanlar (zirve saat), hattın en yoğun kesimi ve bu kesimdeki yolcu sayısı, önemli inceleme konuları arasındadır. Ulaştırma uzmanları, inceledikleri hat için çeşitli analizleri bu zamansal ve mekansal tespitler ışığında gerçekleştirirler ve hattın kısa, orta ve uzun vadede planlamalarını bu tespitlere göre yaparlar.

Bölüm 4.4'te verilen hattın 24 saatlik işletim süresi boyunca 15'er dakikalık biniş sayıları verileri ele aldığımız haftanın tüm günlerinde bizlere sabah ve akşam zirvesi için 1 saatlik dilimleri tespit etme imkanı sağlamıştır. Daha önce toplu analizler kısmında gözlemleyip, daha sonra da Şekil 4.12'de verilen ve Şekil 4.13'te ayrıntılı olarak görebildiğimiz 10 Ocak Cuma günü, ilgili haftanın (6 Ocak Pazartesi-12 Ocak Pazar) en yoğun günü olmuştur. Bu bölüm için yapacağımız incelemeler 10 Ocak Cuma günü üzerinden ele alınmıştır. İlgili günde Marmaray hattının hem Halkalı yönü, hem de Gebze yönü için incelemeler yapılmıştır. Grafiklerde verilen saat dilimleri, bölüm 4.4'te tespiti yapılan zirve saatler olmuştur. Sabah için 07:30 ve 08:30 saatleri arasındaki 1 saatlik dilim zirve saat olarak belirlenmiştir. Akşam için ise 18:00 ve 19:00 saatleri arasındaki 1 saatlik dilim zirve saat olarak belirlenmiştir. Her iki yön için de, hatta bulunan istasyonlardaki inişler ve binişler bu saat dilimleri için ele alınmıştır. İniş ve biniş verilerinin toplanması ile hat boyunca istasyonlardaki kümülatif iniş ve kümülatif biniş değerleri elde edilmiştir. Bu değerler arasındaki farkın en büyük olduğu istasyon aralığı hattın en yüklü (darboğaz) kesimi olmuştur. Şekil 4.14'te 10 Ocak Cuma günü Halkalı yönünde gerçekleşen sabah zirvesi (07:30-08:30) grafiği verilmiştir.



Şekil 4.14 Halkalı yönünde sabah zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 07:30-08:30)

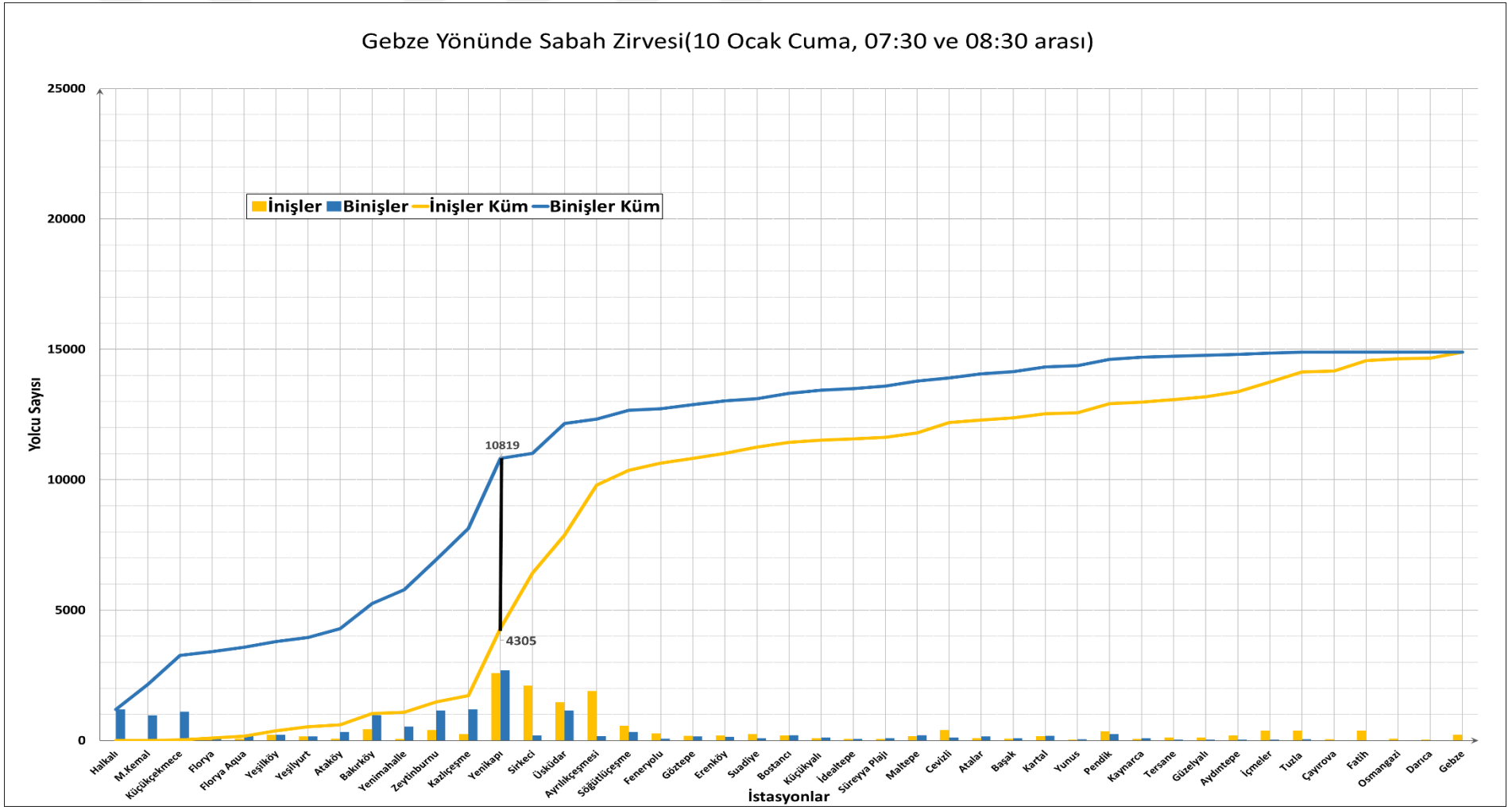
Şekil 4.14'te, 10 0cak Cuma günü sabah zirvesinde (07:30-08:30) Halkalı yönünde 43 istasyondaki biniş ve iniş sayıları ile birlikte kümülatif biniş ve kümülatif iniş grafikleri de gösterilmiştir. Grafik hem çizgi hem de sütun grafik stillerinden oluşmaktadır. İstasyonların üzerinde bulunan sarı renkli sütunlar, istasyonlardaki iniş değerleri olup, mavi renkli sütunlar ise istasyonlardaki biniş değerleridir. Grafikte bulunan sarı renkli çizgi, Halkalı yönüne doğru istasyonlardaki inişlerin toplanması sonucu elde edilen kümülatif inişleri göstermektedir. Mavi renkli çizgi ise, yine aynı yönde meydana gelen binişlerin toplanması sonucu elde edilen kümülatif binişleri göstermektedir ve bu değerler düşey eksenden okunabilmektedir. Grafik sabah zirvesinde Halkalı yönü için incelemeyi içerdiğinden dolayı, Marmaray hattının Anadolu yakasında bulunan istasyonlarında gerçekleşen yolcu biniş sayılarının, iniş sayılarından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum Anadolu yakasında bulunan istasyonlar arasında sadece Söğütlüçeşme İstasyonun'da tersi bir durumda olmuştur. Söğütlüçeşme İstasyonun'da gerçekleşen yolcu iniş sayılarının, biniş sayılarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ilgili istasyonun metrobüs hattı ile entegre konumda bulunması ve istasyonun Kadıköy'ün merkezine olan yakınlığıdır. Halkalı yönünde sabah zirvesinde Marmaray hattının Avrupa yakasında bulunan istasyonlarında gerçekleşen yolcu biniş sayıları ise iniş sayılarından daha az olmaktadır. Grafiğe dikkatli bakıldığında Halkalı yönünde Anadolu yakası için son 2 istasyon konumunda bulunan Ayrılık Çeşmesi ve Üsküdar istasyonlarında gerçekleşen yolcu biniş sayıları, diğer istasyonlardaki biniş sayılarına göre gözle görülebilir bir şekilde daha fazladır. Sirkeci ve Yenikapı istasyonları ise bu yön için Avrupa yakasındaki ilk 2 istasyon konumunda olup, yolcu iniş değerleri diğer istasyonlara göre fazla olan 2 istasyondur. Bu da hattın Halkalı yönü için sabah zirvesinde en çok boğaz geçişini sağlamak için tercih edildiğini göstermektedir. Şekil 4.15'te kümülatif biniş ve kümülatif iniş grafikleri ile birlikte bunların arasındaki farklardan elde edilen grafik de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Halkalı yönünde sabah zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 07:30-08:30)

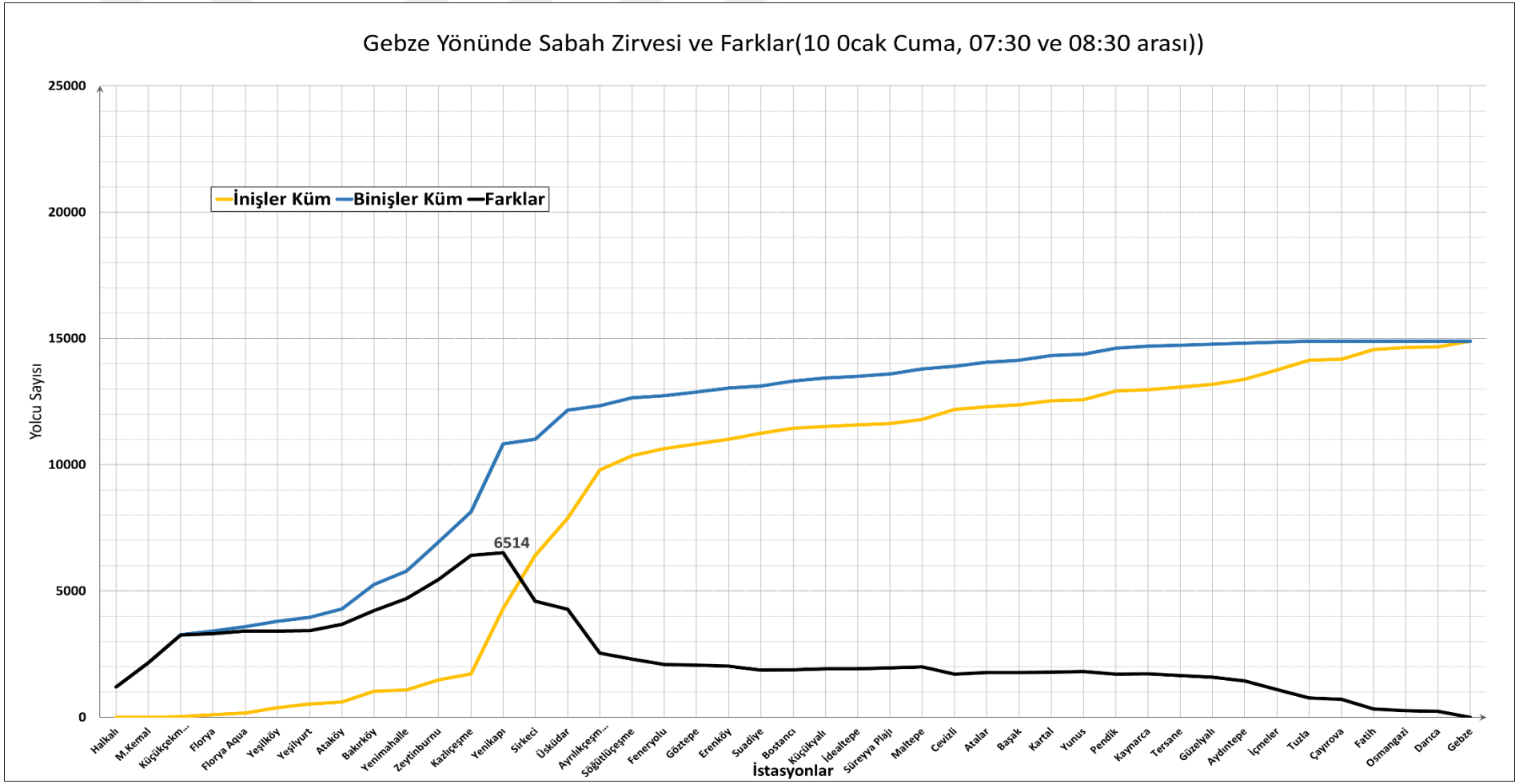
Şekil 4.14'te anlatılan kümülatif biniş ve kümülatif iniş değerlerinin farkları ile elde edilen farklar grafiği Şekil 4.15'e eklenmiştir. Şekil 4.14'te bulunan grafikte, Halkalı yönü için sabah zirvesinde meydana gelen en yoğun yolcu biniş ve inişlerinin boğaz geçişini sağlamaya yakın olan istasyonlarda olduğu gözlemlenmişti. Aynı grafiğe dikkatli bakıldığında, Halkalı yönüne doğru sabah zirvesinde Üsküdar İstasyonun'da kümülatif biniş değerinin 18100 olduğu görülmektedir. Aynı yönde ve aynı istasyon için kümülatif iniş değeri ise 6575 olmuştur. Bu iki değer arasındaki fark 11525 yolcu ile hat için en büyük fark olmuştur ve Şekil 4.15'teki farklar grafiğinde gösterilmiştir. Bu da bize, Halkalı yönünde sabah zirvesi için kümülatif biniş ve iniş değerleri arasındaki en büyük farkın, hattın boğaz geçişini doğrudan sağlayan Üsküdar ve Sirkeci istasyonları arasında olduğunu ve bu kesimin ilgili yön ve zaman diliminde hattın en büyük yolcu yüküne sahip kesimi olduğunu ortaya koymaktadır.

Yukarıda Halkalı yönünde sabah zirvesi için yapılan incelemeler, aynı gün ve aynı zirve saat dilimi için, hattı Gebze yönünde kullanan yolcular için de yapılmıştır. Şekil 4.16'da görülen grafik, 10 0cak Cuma günü sabah zirvesinde (07:30-08:30) Gebze yönündeki kümülatif incelemeleri içermektedir. Grafiğin yatay ekseni Marmaray hattında bulunan 43 istasyonu göstermektedir. Grafik hem çizgi hem de sütun grafik stillerinden oluşmaktadır. İstasyonların üzerinde bulunan sarı renkli sütunlar, istasyonlardaki iniş değerleri olup, mavi renkli sütunlar ise istasyonlardaki seçilen zaman dilimindeki biniş değerleridir. Grafikte bulunan sarı renkli çizgi Gebze yönüne doğru istasyonlardaki inişlerin toplanması sonucu elde edilen kümülatif iniş değerlerini göstermektedir. Mavi renkli çizgi ise yine aynı yönde meydana gelen binişlerin toplanması sonucu elde edilen kümülatif biniş değerlerini göstermektedir ve bu değerler düşey eksenden okunabilmektedir. Grafik sabah zirvesinde Gebze yönü için incelemeleri içerdiğinden dolayı, Marmaray hattının Avrupa yakasında bulunan istasyonlarında gerçekleşen yolcu biniş sayılarının, iniş sayılarından daha fazla olduğu görülmektedir. Gebze yönünde sabah zirvesinde Marmaray hattının Anadolu yakasında bulunan istasyonlarında gerçekleşen yolcu biniş sayıları ise iniş sayılarından daha az olmaktadır.



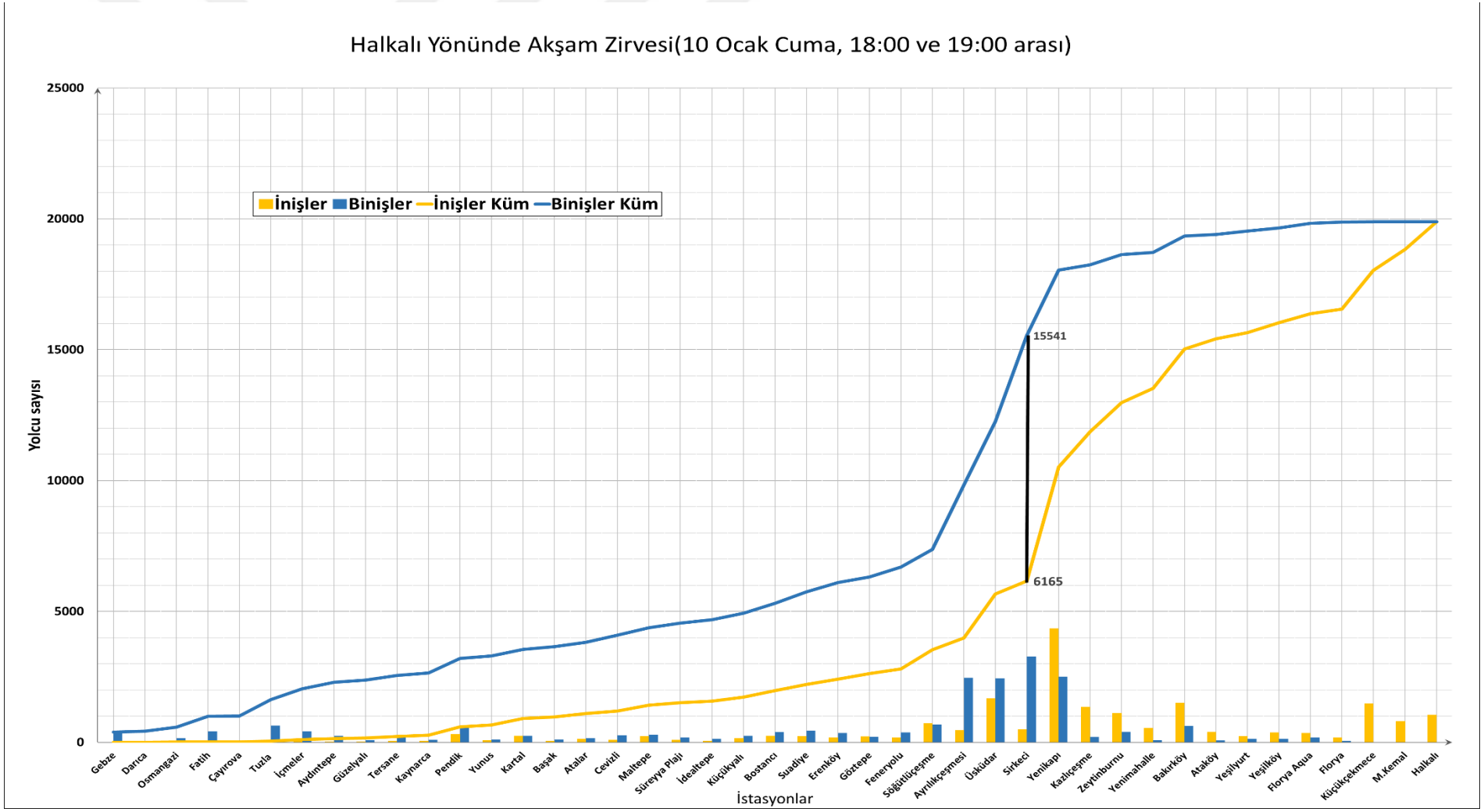
Şekil 4.16 Gebze yönünde sabah zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 07:30-08:30)

Gebze yönünde sabah zirvesinde meydana gelen toplam yolcu biniş ve iniş sayıları, Halkalı yönüne göre daha az olmakla beraber, bu sayıların istasyon bazında dağılımları da daha düzenli olmaktadır. Bu sebeple kümülatif biniş ve iniş grafiklerinde kırılmalar daha az gözlemlenmektedir. Grafiğe dikkatli bakıldığında, sabah zirvesi için Gebze yönünde de, Halkalı yönünde olduğu gibi boğaz geçişine yakın olan istasyonlardaki yolcu biniş ve iniş sayıları diğer istasyonlara göre daha fazladır. Bu da hattın Gebze yönü için sabah zirvesinde en çok boğaz geçişini sağlamak için tercih edildiğini göstermektedir. Boğaz geçişine yakın istasyonların dışında, hattın bu yönü için başlangıç istasyonları konumunda bulunan Halkalı, Mustafa Kemal ve Küçükçekmece istasyonlarında da yoğun binişleri gözlemlemek mümkündür. Şekil 4.16'da bulunan kümülatif biniş ve iniş değerlerinin farklarına dikkatli bir şekilde bakıldığında, Gebze yönüne doğru gerçekleşen sabah zirvesinde Yenikapı İstasyonun'da kümülatif biniş değerinin 10819 olduğu görülmektedir. Aynı yön ve aynı istasyon için kümülatif iniş değeri ise 4305 olmuştur. Bu iki değer arasındaki fark 6514 yolcu ile hat için en büyük fark olmuştur ve Şekil 4.17'deki farklar grafiğinde gösterilmiştir. Bu da bize, Gebze yönünde sabah zirvesi için kümülatif biniş ve iniş değerleri arasındaki en büyük farkın, Yenikapı ve Sirkeci arasında olduğunu ve bu kesimin ilgili yön ve zaman diliminde hattın en yüklü kesimi olduğunu ortaya koymaktadır. Halkalı yönü için sabah zirvesinde en yüklü kesim boğaz geçişini doğrudan sağlayan Üsküdar ve Sirkeci istasyonları arasındaki kesim olarak tespit edilmişti. Gebze yönü için ise bu kesim, Marmaray hattının Avrupa yakasında bulunan iki istasyonu arasında gerçekleşmiştir.



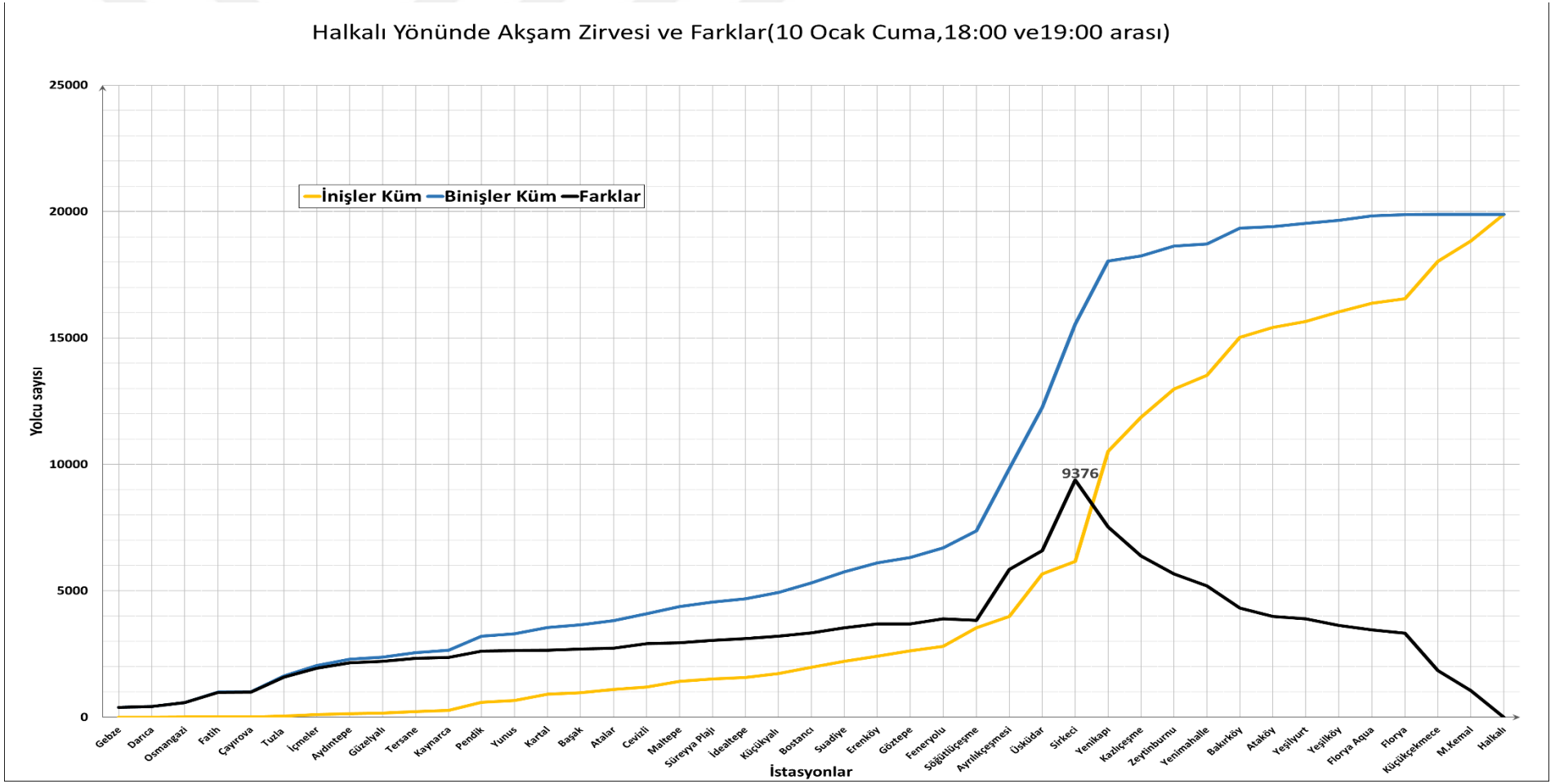
Şekil 4.17 Gebze yönünde sabah zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 07:30-08:30)

Marmaray hattının her iki yönü için 10 Ocak Cuma günü sabah zirvesinde (07:30-08:30) yapılan kümülatif analizler ve hattın en yüklü kesimlerinin tespiti, her iki yön için akşam zirvesinde (18:00-19:00) de yapılmıştır. Şekil 4.13'de verilen 10 Ocak Cuma gününe ait 15'er dakikalık binişler ve zirve saat ayrımları grafiğinden de gözlemlediğimiz gibi ilgili gün için akşam zirvesinde Marmaray hattının kullanımı, sabah zirvesine oranla daha fazla olmuştur. Şekil 4.18'de verilen grafik, 10 0cak Cuma günü akşam zirvesinde (18:00-19:00) Halkalı yönündeki kümülatif incelemeleri içermektedir. Grafik formatı sabah zirve saatler için oluşturulan grafikler ile aynıdır. Grafiğin yatay ekseni Marmaray hattında bulunan 43 istasyonu içermektedir. Grafik hem çizgi hem de sütun grafik stillerinden oluşmaktadır. İstasyonların üzerinde bulunan sarı renkli sütunlar, istasyonlardaki iniş değerleri olup, mavi renkli sütunlar ise biniş değerleridir. Grafikte bulunan sarı renkli çizgi akşam zirvesi için Halkalı yönüne doğru istasyonlarda meydana gelen inişlerin toplanması sonucu elde edilen kümülatif iniş değerlerini göstermektedir. Mavi renkli çizgi ise yine aynı yön ve aynı zaman diliminde meydana gelen binişlerin toplanması sonucu elde edilen kümülatif biniş değerlerini göstermektedir ve bu değerler düşey eksenden okunabilmektedir. Halkalı yönünde sabah zirvesi için ortaya çıkan kümülatif biniş ve iniş eğrileri, akşam zirvesi ile benzerlik göstermektedir. Grafiğe dikkatli bakıldığında, Halkalı yönünde sabah zirvesindeki gibi, akşam zirvesinde de Anadolu yakasında bulunan istasyonlarda yolcu biniş sayıları fazla iken, hattın Avrupa yakasında bulunan istasyonlarında iniş sayıları daha fazla olmuştur. Akşam zirvesinde de hattın boğaz geçişine yakın istasyonlarındaki yoğunluk diğer istasyonlara oranla daha fazla olmuştur. Bu istasyonlar (Ayrılık Çeşmesi, Üsküdar, Sirkeci, Yenikapı, Kazlıçeşme) aynı zamanda Marmaray hattının 2013 yılında hizmete giren ilk etap istasyonlarıdır.



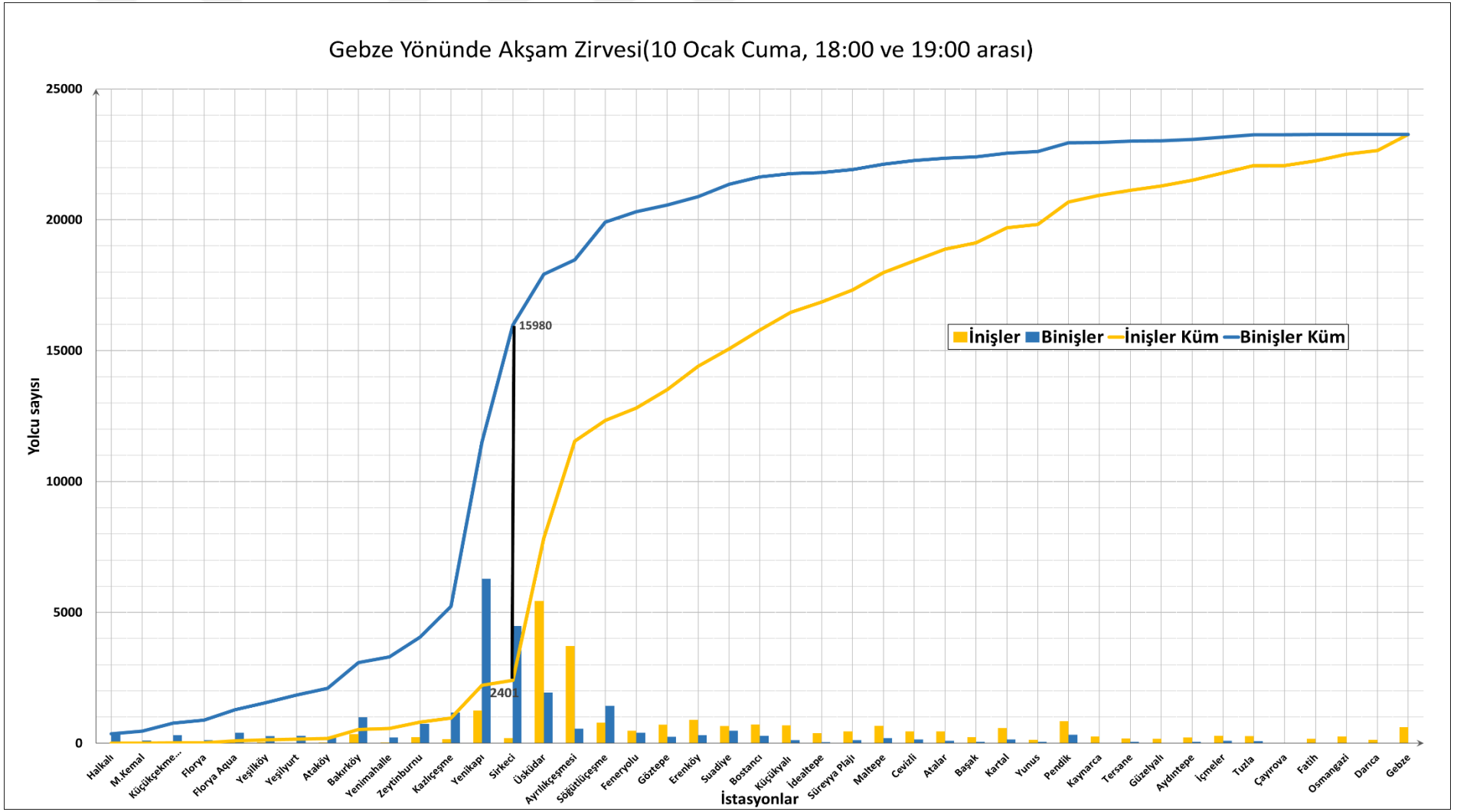
Şekil 4.18 Halkalı yönünde akşam zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 18:00-19:00)

Şekil 4.18'de bulunan kümülatif biniş ve kümülatif iniş değerlerinin farklarına dikkatli bir şekilde bakıldığında, Halkalı yönüne doğru gerçekleşen akşam zirvesinde Sirkeci İstasyonun'da kümülatif biniş değerinin 15541 olduğu görülmektedir. Aynı yönde ve aynı istasyon için kümülatif iniş değeri ise 6165 olmuştur. Bu iki değer arasındaki fark 9376 yolcu ile hat için en büyük fark olmuştur ve Şekil 4.19'daki farklar grafiğinde gösterilmiştir. Bu da bize, Halkalı yönünde akşam zirvesi için kümülatif biniş ve iniş değerleri arasındaki en büyük farkın, Sirkeci ve Yenikapı istasyonları arasında olduğunu ve bu kesimin ilgili yön ve zaman diliminde hattın en yüklü kesimi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu da bize Halkalı yönü için sabah ve akşam zirve saatlerde hattın en yüklü kesiminin aynı olmadığını göstermektedir. Halkalı yönü için sabah zirvesinde en yoğun kesim boğaz geçişini doğrudan sağlayan Üsküdar ve Sirkeci istasyonları arasındaki kesim olarak bulunurken, akşam zirvesindeki en yoğun kesim Halkalı yönüne doğru, Marmaray hattının Avrupa yakasında bulunan ilk iki istasyon aralığı olmuştur. Akşam zirvesinde hattı kullanan yolcu sayısı, sabah zirvesinde hattı kullanan yolcu sayısına oranla daha fazla olmasına rağmen, hattın en büyük yolcu yükü Halkalı yönünde sabah zirvesinde 11525 yolcu ile daha fazla olmuştur (bkz. Şekil 4.15).



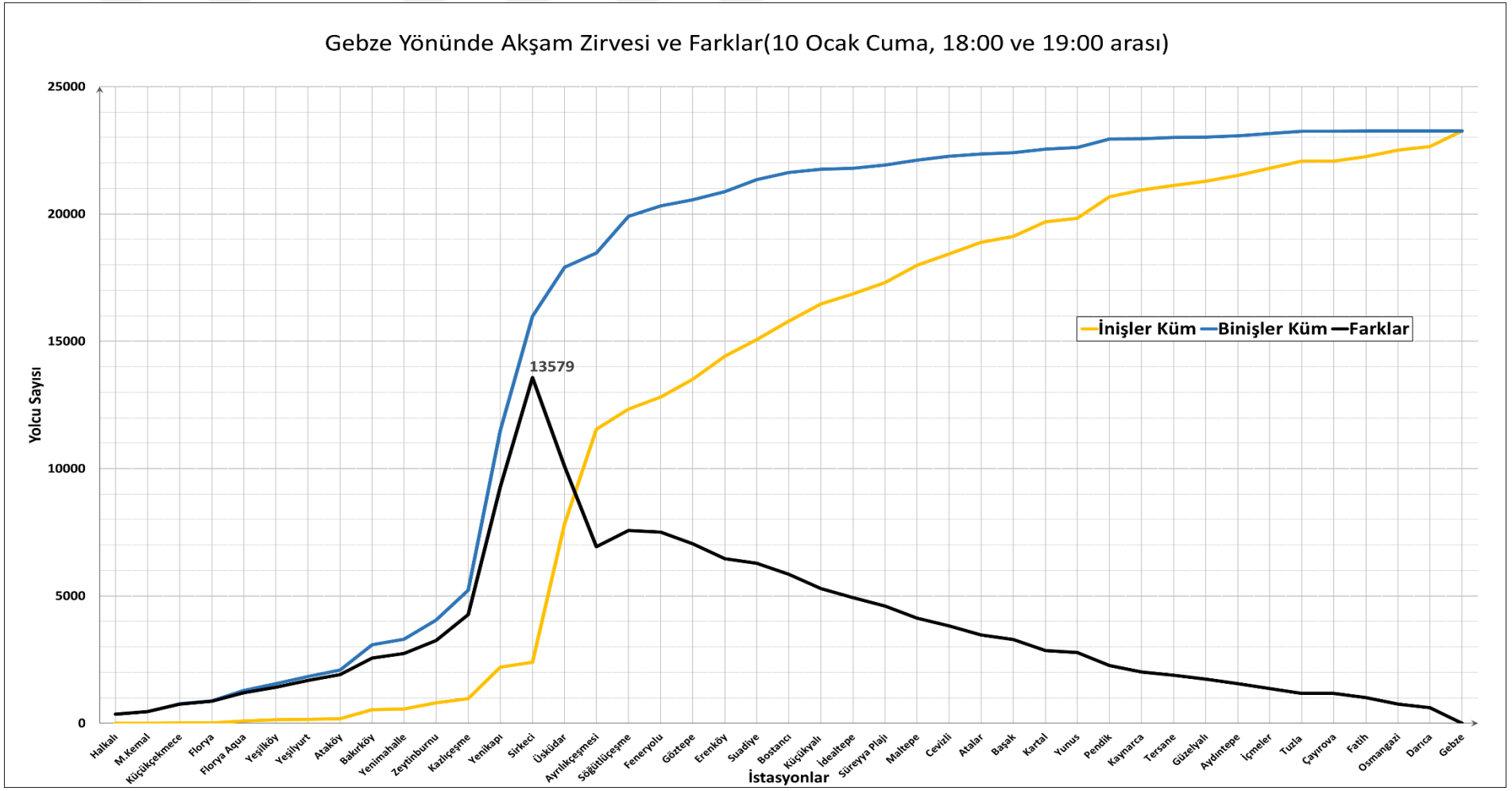
Şekil 4.19 Halkalı yönünde akşam zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 18:00-19:00)

Yukarıda Halkalı yönünde akşam zirvesi için yapılan incelemeler, aynı gün ve aynı zirve saat dilimi için, hattı Gebze yönünde kullanan yolcular için de yapılmıştır. Şekil 4.16'da Gebze yönünde sabah zirvesi için yapılan kümülatif incelemelerde, hattı kullanan yolcuların istasyonlara göre iniş ve biniş sayılarının daha dengeli dağıldığı gözlemlenmişti. Akşam zirvesinde ise bu sayıların, özellikle boğaz geçişine yakın istasyonlarda, diğer istasyonlara oranla keskin değişiklikler içerdiği Şekil 4.20'de görülmektedir. Grafiğe dikkatli bakıldığında, Gebze yönünde sabah zirvesindeki gibi, akşam zirvesinde de Avrupa yakasında bulunan istasyonlarda yolcu biniş sayıları fazla iken, hattın Anadolu yakasında bulunan istasyonlarında iniş sayıları daha fazla olmuştur. Marmaray hattını akşam zirvesinde Gebze yönünde kullanan yolcu sayısı, sabah zirvesinde aynı yön için kullanan yolcu sayısından ciddi şekilde fazladır. Bu da bize, Anadolu yakasının konut bölgesi ve iş hacminin Avrupa yakasında daha fazla olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Şekil 4.20'de verilen grafiğe dikkatli bakıldığında boğaz geçişine yakın istasyonlarda gerçekleşen yolcu iniş ve biniş sayılarının diğer istasyonlara oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum hattın her iki yönü ve her iki zirve saat dilimi içinde değişiklik göstermemektedir. Gebze yönü için akşam zirvesinde Yenikapı ve Sirkeci istasyonlarında gerçekleşen biniş sayıları gözle görülür bir şekilde diğer istasyonlara göre fazla olmuştur. İnen yolcu sayılarında ise Üsküdar ve Ayrılık Çeşmesi istasyonları tepede bulunmaktadır.



Şekil 4.20 Gebze yönünde akşam zirvesindeki kümülatif incelemeler (10 0cak Cuma, 07:30-08:30)

Şekil 4.20'de bulunan kümülatif biniş ve iniş değerlerinin farklarına dikkatli bir şekilde bakıldığında, Gebze yönüne doğru gerçekleşen akşam zirvesinde Sirkeci İstasyonun'da kümülatif biniş değerinin 15980 olduğu görülmektedir. Bu değer, Halkalı yönünde aynı zaman dilimi için gerçekleşen en büyük kümülatif biniş değerinden daha fazladır (bkz. Şekil 4.18). Gebze yönüne doğru gerçekleşen akşam zirvesinde Sirkeci İstasyonu için kümülatif iniş değeri ise 2401 olmuştur. Bu iki değer arasındaki fark 13579 yolcu ile hat için en büyük fark olmuştur ve Şekil 4.21'deki farklar grafiğinde gösterilmiştir. Grafiğe dikkatli bakıldığında bu 13579 yolcunun ilgili zaman diliminde Sirkeci İstasyonun'dan, Üsküdar İstasyonu'na doğru taşındığı gözlemlenmektedir. Bu da bize, Gebze yönünde akşam zirvesi için kümülatif biniş ve iniş değerleri arasındaki en büyük farkın, Sirkeci ve Üsküdar istasyonları arasında olduğunu ve bu kesimin ilgili yön ve zaman diliminde hattın en yüklü kesimi olduğunu ortaya koymaktadır. Gebze yönüne doğru gerçekleşen sabah zirvesinde en yüklü kesimin Yenikapı ve Sirkeci istasyonları arasında olduğu tespit edilmişti (bkz. Şekil 4.17). Gebze yönünde gerçekleşen akşam zirvesinde ise bu kesim boğaz geçişini doğrudan sağlayan Sirkeci ve Üsküdar istasyonları arasında olmuştur ve Halkalı yönüne doğru gerçekleşen sabah zirvesi ile aynı sonuç ortaya çıkmıştır (bkz. Şekil 4.15).



Şekil 4.21 Gebze yönünde akşam zirvesindeki kümülatif yolcu sayıları ve farklar grafiği (10 0cak Cuma, 18:00-19:00)

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçmiş dönemlerde sektörler bilgi edinebilme ve iş geliştirebilme amacı ile ihtiyaçlarına yarayan verileri geleneksel yöntemler ile elde edebilmişlerdir. Geleneksel yöntemlerin uygulama zorluğu ile artan nüfus ve her geçen gün gelişen teknolojiye ayak uydurma zorunluluğu, sektörlerin ihtiyaç duydukları verileri otomatik bir şekilde toplama ihtiyacını açığa çıkarmıştır. Otomatik veri toplama sistemleri, günden güne şehirlerde artan nüfusla birlikte ulaştırma sektörü içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan metropol kentlerde her gün milyonlarca yolcu kentin ulaşım ağının bir parçası haline gelmiştir. Ulaştırma hizmetlerinden faydalanan yolcular, kentlerin ulaşım ağlarında bulunan taşıtları kullanabilmek için genellikle otomatik veri toplama sistemlerinden biri olan akıllı kartları kullanmaktadırlar.

Bu çalışmada, önemli metropol kentlerden biri olan İstanbul'un ulaşım ağında kullanılan İstanbulKart verileri ele alınmıştır. Çalışmada İstanbul'un ulaşım ağının önemli bir bileşeni olan ve iki yaka arası geçişi sağlayan Marmaray hattı yakından incelenmiştir. Marmaray hattını kullanan yolcular, istasyonlarda bulunan turnike geçiş sistemlerine İstanbulkartlarını okutarak hattı kullanabilmektedirler. Aynı zamanda istasyonlarda bulunan iade cihazlarından da yine aynı kartlarını okutarak faydalanabilmektedirler. İncelemelerde 2020 yılı Ocak ayından seçtiğimiz bir haftanın İstanbulkart kayıtları kullanılmıştır. Elde ettiğimiz verilerde her kart okuması için anonim kart ID (kart no), ödeme türü, tarih, saat, istasyon vb. bilgiler bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında yolculukların sayısal, zamansal ve mekansal özellikleri incelenmiştir. Yaptığımız kabuller ışığında geliştirdiğimiz algoritma ile yolculukların başlangıç ve son matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan matrislerden elde ettiğimiz değerler sonucunda, yolculukların günlere göre dağılımları, hafta içi ve hafta sonu ayrımları, sabah ve akşam zirve saat incelemeleri, zirve saat ve zirve dışı saat incelemeleri yapılmıştır. Bunun yanında yolculukların hatta bulunan istasyonlara göre dağılımları ve talebin yüksek olduğu istasyonlar tespit edilmiştir. Hattı kullanan yolcuların seyahat uzunluklarına göre incelemeleri yapılıp, hattın mesafe yönünden hangi yolculuklar için

tercih edildiği sonucuna varılmıştır. Bu incelemelerin yanında hattın en yüklü kesimleri ve bu kesimlerdeki yolcu yükleri tespit edilebilmiştir. Veri setinden okuyabildiğimiz ödeme türü bilgileri doğrultusunda, hattı kullanan yolcuların ödeme türlerine göre de ayrımı yapılmıştır.

Veri setinden elde ettiğimiz bilgiler doğrultusunda, yolcuların İstanbulKartları'nı seyahatlerinin başındaki durağa erişip, turnike sistemlerinde okuttuklarında biniş istasyonları kayıtları okunabilmiştir. Seyahatlerinin sonunda bu kez akıllı kartlarını iade cihazlarında okuttuklarında, iniş istasyonu kayıtlarına da ulaşılabilmektedir. Yolcu akıllı kartını iade cihazında okutmadıysa iniş istasyon verisi boş olarak karşımıza çıkmaktadır. Hem biniş hem de iniş bilgisi verileri kaydedilen yolcular ışığında başlangıç-son (O-D) matrisleri oluşturulabilir. Bununla birlikte, seyahatlerinin sonunda akıllı kart okutması yapmadıkları için iniş istasyonları bilinmeyen yolcuların son istasyonları, uygun kabuller yapılarak tahmin edilebilir. Böylece, tüm yolcular için başlangıç-son (O-D) matrisleri oluşturulabilir. İlgili haftadan seçilen örnek bir gün için (6 Ocak 2020), hem kabul yapılmadan, hem de kabuller doğrultusunda oluşturulan başlangıç-son matrisleri Bölüm 3'te verilmiştir. İniş istasyonu bilgisi bulunmayan yolcuların, iniş istasyonu tahminleri Bölüm 3'te anlatılan 2 kabul doğrultusunda yapılmıştır. Oluşturulan matrisler ki-kare uyumluluk testi ile sınanmış olup, yapılan kabullerin geçerliliği istatistiksel olarak gösterilmiştir.

Bölüm 4.1'de, ilgili haftada gerçekleşen yolculukların bilet türlerine göre analizine yer verilmiştir. Yolculukların bilet tiplerine göre hafta içi, cumartesi ve pazar günü dağılımları gösterilmiştir. Hattı kullanan yolcular turnikelerde tam bilet, indirimli bilet ve ücretsiz bilet olarak okutmalarını gerçekleştirmiştir. Hafta içi, hattı kullanan yolcuların %46'sı tam bilet okuması yaparken, indirimli karta sahip yolcuların toplam oranı %44 olmuştur. Hafta içi, cumartesi ve pazar günü %10 oranında ücretsiz geçiş sağlanmıştır. Cumartesi ve pazar günü tam bilet okutma oranı %52 olurken, indirimli karta sahip yolcu oranı cumartesi ve pazar günü sırası ile %34 ve %35 olmuştur. Hafta içi günlerde hattı kullanan yolcular genellikle sabah ve akşam zirve saatlerde iş ve okul seyahat zorunluluklarını yerine getirdiklerinden abonman, öğrenci kart vb. kartlar ile yolculuk yapmış olup, bu kartlar indirimli geçiş olanağı sağlamaktadır. Bunun

sonucunda, hafta içi günlerde hafta sonu günlere göre indirimli bilet oranı daha fazla olmuştur.

Bölüm 4.2'de, zamana ve mekâna göre toplu yolculuk analizlerine yer verilmiştir. Şekil 4.4'te gösterilen ilgili haftanın günlük toplam yolcu biniş sayılarına göre, hattın en yoğun günü 464.807 yolcu ile Cuma günü olarak tespit edilmiştir. Pazar günü ise, diğer günlere göre yolcu sayısında ciddi bir düşüş gözlenmekte olup, hattı kullanan yolcu sayısı 283.724 olmuştur. Şekil 4.5'te, seçilen haftada sabah (06:00-10:00) ve akşam (16:00-20:00) zirve saatlerde gerçekleşen biniş sayıları gösterilmiştir. Haftanın bütün günleri için akşam zirve saatlerde gerçekleşen yolculuk sayılarının, sabah zirve saatlerde gerçekleşen yolculuk sayılarına göre daha fazla olduğu sonucu çıkarılmıştır. Bu fark hafta sonu günleri için daha belirgin olmuştur. Cuma günü, akşam için belirlenen zirve saat diliminde 168.744 yolcu ile en yüksek yolcu sayısına sahip olmuştur. Hafta içi günlerde sabah zirve yolculuklarının sayısı neredeyse aynı seviyede kalırken, akşam yolculukları haftanın sonuna doğru artış eğilimi göstermiştir. Şekil 4.6'da, ilgili haftada zirve saat ve zirve dışı saatlerde gerçekleşen biniş sayıları verilmiştir. Hafta içi günlerin tamamı için zirve saatlerde gerçekleştirilen biniş sayıları, zirve dışı saatlerde gerçekleştirilen biniş sayılarına göre daha fazla olmuştur. Cumartesi ve pazar günlerinde ise bunun aksi gözlenmekte olup, zirve dışı saatlerde gerçekleştirilen biniş sayıları, zirve saatler toplamına göre daha fazladır. Bu inceleme bize, haftasonları hattı kullanan yolcu sayılarının zamana (günün saatlerine) göre düzenli bir şekilde dağıldığı sonucunu vermiştir. Şekil 4.7'de, ilgili hafta için Marmaray hattında gerçekleşen yolculukların 43 istasyona göre dağılımı verilmiştir. Gözlemlediğimiz değerler sonucunda Yenikapı İstasyonu'nun, diğer birçok başka hatla entegrasyon halinde olması sebebi ile, haftanın bütün günleri için en yoğun istasyon olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında hattın ilk etabı olarak hizmete giren, kentin merkezinde bulunan ve deniz geçişini sağlayan Kazlıçeşme ve Ayrılık Çeşmesi istasyonları arasının daha yoğun olduğu sonucu çıkarılmıştır. İlk etabın dışında kalan bazı istasyonlarda (Bakırköy, Söğütlüçeşme, Pendik) diğer bazı raylı sistem hatlarına, lastik tekerlekli otobüs hatlarına ve deniz hatlarına aktarma yapma imkanı sağladıklarından dolayı, diğer istasyonlara oranla daha fazla yolcunun kullanmasına olanak sağlamıştır.

Bölüm 4.3'te seyahat uzunluklarına göre analizler verilmiştir. Şekil 4.9'a bakıldığı zaman 10 Ocak Cuma günü Marmaray hattını kullanan yolcuların büyük çoğunluğunun, hattın her iki yönü (Halkalı, Gebze) için de 1, 2 ve 3 istasyon geçerek seyahat ettikleri görülmüştür. Bu durum Şekil 4.10 ve 4.11'de verilen 11 Ocak Cumartesi ve 12 Ocak Pazar günleri için de geçerli olmuştur. 3 grafiğe de dikkatli bakıldığında yolculuk sayılarının, kat edilen istasyon sayısı arttıkça azalma eğilimi gösterdiği sonucunu işaret etmektedir. Hattın genelindeki yolculukların görece kısa yolculuklar olup, Marmaray hattının aktarmalı seyahatler için uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Bölüm 4.4'te sabah ve akşam zirve saatlerin mikro ölçekte analizi ile yolculuk sayılarının gün içinde değişimi verilmiştir. İncelemelerde Marmaray hattının bir gün için işletim süresi, ilgili haftanın tüm günleri için 15 dakikalık zaman dilimlerine ayrılmıştır ve hattı kullanan yolculuk sayılarına mikro ölçekte bakılabilmiştir. Şekil 4.12'ye bakıldığında, ilgili haftadaki yolculuk sayılarının grafikleri sabah ve akşam belirli zaman dilimlerinde zirve yapmıştır. Bu zirveler, sabah 07:30-08:30 saatleri arası ve akşam 18:00-19:00 saatleri arasında meydana gelmiştir. Bunun sonucu olarak hattın her iki yönü için en yoğun zaman dilimleri, sabah zirvesinde 07:30- 08:30 ve akşam zirvesinde 18:00-19:00 saatleri arası olarak belirlenmiştir.

Bölüm 4.5'te Marmaray hattının kümülatif analizlerine ve en yüklü kesimlerinin tespitine yer verilmiştir. İncelemelerimiz, ilgili haftanın en yoğun günü olan 10 Ocak Cuma için yapılmış olup, belirlediğimiz saat aralıkları mikro ölçekte tespit ettiğimiz sabah (07:30-08:30), akşam (18:00-19:00) zirve saatleri olmuştur. Marmaray hattının her iki yönü için de yaptığımız tespitler sonucu, Şekil 4.14 ve 4.15'e bakıldığında, sabah zirvesinde Halkalı yönünde hattın en yüklü kesiminin boğaz geçişini doğrudan sağlayan Üsküdar ve Sirkeci istasyonları arasında 11.525 yolcu ile gerçekleştiği söylenebilir. Şekil 4.16 ve 4.17'ye bakıldığında, sabah zirvesinde Gebze yönünde hattın en yüklü kesiminin Yenikapı ve Sirkeci istasyonları arası olduğu ve bu kesimdeki yolcu sayısının 6514 olduğu görülmüştür. Sabah zirvesi için her iki yönde yüklü kesimlerdeki yolcu sayılarındaki fark dikkat çekmiştir. Halkalı yönünde yolcu sayısının daha fazla olması İstanbul'da iş hacminin Avrupa yakasında, Anadolu yakasına göre daha fazla olduğu sonucunu desteklemektedir. Şekil 4.18 ve 4.19'a bakıldığında, akşam zirvesinde Halkalı

yönünde hattın en yüklü kesiminin Sirkeci ve Yenikapı istasyonları arası olduğu ve bu kesimdeki yolcu sayısının 9.376 olduğu görülmüştür. Halkalı yönü için sabah zirvesinde en yoğun kesimin boğaz geçişini doğrudan sağlayan Üsküdar ve Sirkeci istasyonları arasındaki kesim olduğu tespit edilmişti. Aynı yön için akşam zirvesinde ise bu durum, Marmaray hattının Avrupa yakasında bulunan ilk iki istasyonu olan Sirkeci ve Yenikapı istasyonları arasında olmuştur. Akşam zirvesinde hattı kullanan yolcu sayısı, sabah zirvesinde hattı kullanan yolcu sayısına oranla daha fazla olmasına rağmen, hattın en yoğun yolcu yükü Halkalı yönünde sabah zirvesinde, akşam zirvesine göre daha fazla olmuştur. Şekil 4.20 ve 4.21'e bakıldığında, akşam zirvesinin Gebze yönünde en yüklü kesimin, boğaz geçişini doğrudan sağlayan Sirkeci ve Üsküdar istasyonları arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bu kesimdeki yolcu sayısı 13.579 olarak tespit edilmiştir. Bu durum, Halkalı yönünde sabah zirvesi ile benzerlik göstermektedir. Sabah Avrupa yakası yönüne doğru iş odaklı gerçekleşen hattın kullanımı, akşam Anadolu yakası yönüne doğru konut merkezli olmuştur.

Analizler sonucunda hattın işletim planlaması için çeşitli çalışmalar önerilebilir.

Örneğin;

- Seferler arasındaki zaman aralıklarının (sefer sıklığının) düzenlenmesi,
- Tren uzunluklarının hattaki yolcu dağılımlarına göre gözden geçirilmesi,
- Bilet ücretlerinin yolculuk uzunluklarına göre yeniden yapılandırılması.

Bu çalışmada, Marmaray hattını 2020 yılı Ocak ayında kullanan yolculara ait İstanbulKart verileri kullanılmıştır. Verilerin eski olmaması, yaptığımız incelemeler ve analizler için güncel çıkarımlar sağlamaktadır. Gerçekleşen yolculuk analizlerinin ulaştırma planlamacıları ve işletmeciler için kısa, orta ve uzun vadede yol gösterici olmasını dileriz.

KAYNAKÇA

Agard, B., Morency, C., & Trepanier, M. (2007). Mining Public Transport User Behaviour from Smart Card Data. *Cırrelt*, 1-12.

Alper, D. (2012). *Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Toplu Ulaşım Yolculuk Talebinin Belirlenmesi ve Sefer Çizelgeleme Optimizasyonu.* İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Blythe, P. T. (2004). Improving public transport ticketing through smart cards. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 157*, 47-54.

Efe, R., & Cürebal, İ. (2011). Impacts of The "Marmaray" Project (Bosphorus Tube Crossing, Tunnels and Stations) on Transportation and Urban Environment in İstanbul. S. D. Brunn içinde, *Engineering Earth* (Cilt 1, s. 715-733). Springer.

European Union Agency. (2016). *Big data in railways.* European Union Agency.

Güngör, M., & Bulut, Y. (2008). Ki-kare testi üzerine. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 84-89.

İstanbulkart. (2021, Ocak 5). Vikipedi: https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0stanbulkart adresinden alındı

John P. Attanucci, N. H. (2011). Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Automated. W. Wei içinde, *Journal of Public Transportation* (s. 131-150). University of South Florida.

(2021). *Marmaray Risk Analizi Sistem Tanımı ve Özet Raporu.* Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları.

Metro İstanbul. (tarih yok). : www.metro.istanbul adresinden alındı

Michael P. Dixon, L. R. (2005). Population Origin–Destination Estimation Using Automatic Vehicle Identification and Volume Data. *Journal of Transportation Engineering, 131*.

Morency, C., Trepanier, M., & Agard, B. (2006). Analysing the variability of transit users behaviour with smart card data. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference* (s. 44-49). Toronto: IEEE ITSC.

Pelletier, M.-P., Trépanier, M., & Morency, C. (2011). Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C*, 557-568.

Rahbee, A., & Zhao, J. (2007). Estimating a Rail Passenger Trip Origin-Destination Matrix Using Automatic Data Collection Systems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 376-387.

S.C.Wong, C. (1998). Estimation of time-dependent origin–destination matrices for transit networks. *Transportation Research*, 35-48.

Schmöcker, J.-D., Kurauchi, F., & Shimamoto, H. (2017). An Overview on Opportunities and Challenges of Smart Card Data Analysis. F. Kurauchi, & J.-D. Schmöcker içinde, *Public Transport Planning with Smart Card Data* (s. 1-11). CRC Press.

Schmöcker, J.-D., Kurauchi, F., & Shimamoto, H. (2017). An Overview on Opportunities and Challenges of Smart Card Data Analysis. F. Kurauchi, & J.-D. Schmöcker içinde, *Public Transport Planning with Smart Card Data* (s. 1-11). CRC Press.

Shelfer, K. M., & Procaccino, J. D. (2002). Smart Card Evolution. *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, 83-88.

Vikipedi. (2021). https://tr.wikipedia.org/wiki/Marmaray adresinden alındı

Widita, T. F. (2019). Big data in public transportation: a review of sources and methods. *Transport Reviews*, 795-818.

Zhao, J. (2004). *The Planning and Analysis Implications of Automated Data Collection Systems: Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples.* Boston, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Altıntaş, H., ve Şahin, İ. (2021). İstanbulkart Verilerinin Analizi: Marmaray Örneği. 3. Uluslararası Ayasofya Multidisipliner Bilimsel Araştırmalar Kongresi Özet Bildiri Kitabı, sayfa 99-100, İstanbul.