

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**AKILLI KART VERİLERİNİN TOPLU ULAŞIM TALEBİ
ANALİZİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZ KÖSE

BALIKESİR, ARALIK - 2017

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**AKILLI KART VERİLERİNİN TOPLU ULAŞIM TALEBİ
ANALİZİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZ KÖSE

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR (Tez Danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL

Yrd. Doç. Dr. Umut OKKAN

BALIKESİR, ARALIK - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Oğuz KÖSE tarafından hazırlanan “**AKILLI KART VERİLERİNİN TOPLU ULAŞIM TALEBİ ANALİZİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29.12.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


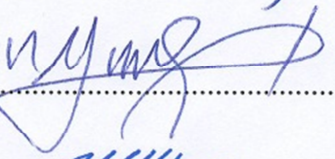

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR

Üye
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL

Üye
Yrd. Doç. Dr. Umut OKKAN


.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**AKILLI KART VERİLERİNİN TOPLU ULAŞIM TALEBİ ANALİZİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OĞUZ KÖSE
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TURGUT ÖZDEMİR)
BALIKESİR, ARALIK - 2017**

Lastik tekerlekli taşıtlar dünya çapında şehirlerde en sık kullanılan toplu taşıma araçlarıdır. Balıkesir kent merkezinde toplu ulaşımın tamamı lastik tekerlekli araçlar ile sağlanmakla birlikte bu araçların %48,5'i otobüs (8 metre ve üzeri) sınıfıdır. Medeniyetin başlangıcından bu yana toplulukların varlığını sürdürebilmesi ve ekonomik başarısı büyük ölçüde sahip oldukları ulaşım altyapılarının etkinliği ile belirlenmiştir. Bu etkinliğin önemi günümüzde daha da artmış olup kentsel dönüşüm ve arazi kullanım düzenlemesi ile birlikte ulaşım sistemlerini koordine etmenin ve uygun hale getirmenin bu konudaki rolünün farkına varılmıştır. Alternatif planların sistematik bir şekilde değerlendirilip ulaşım planlama kararlarını vermek için planlayıcılar kullanıcıların seyahat profilleri ve ulaşım talepleri hakkında bilgi sahibi olmalı ve uygulamaların tepkisini tahmin edebilmelidirler. Bu çalışmada ilk olarak Balıkesir kent merkezindeki Karesi ve Altıeylül ilçelerinde toplu ulaşım kullanan yolcuların kart tiplerine bağlı seyahat davranışları ve frekansları akıllı kart verileri kullanılarak incelenmiştir. Hafta içi mesai başlangıç ve bitiş zirve saatlerinde seyahat sayısında belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu sebeple toplu ulaşımın hafta içi ev-iş arası ulaşım için daha fazla kullanıldığı söylenebilmektedir. Hafta sonu seyahat sayısı ise gün içerisinde daha tutarlı bir dağılım göstermiştir. Gün içerisinde çok sayıda seyahat gerçekleşiyor olmasına rağmen sık seyahat eden kullanıcıların sayısının çok az olması sebebiyle gezi amaçlı seyahatlerin sistemin önemli bir bileşeni olduğunu söylemek mümkündür. Daha sonra iki yıl boyunca akıllı kart kullanımını sonucu elde edilen aylık toplam biniş sayıları ileriye yönelik toplu ulaşım yükünün tahmini amacıyla modellenmiştir. Girdi olarak Balıkesir il merkezi nüfusu, ülkemizin satınalma günü paritesine göre gayri safi milli hasıla endeksi ve Balıkesir ilindeki minibüs ve otobüs sayıları toplamı kullanılmıştır. Önerilen modeller diferansiyel gelişim (evrim) algoritması ile kalibre edilmiştir. Girdi verileri üzerinde görülen bir düzensizlik nedeniyle alınan düşük uygunluk değerleri k-ortalamlar kümeleme algoritması yardımıyla girdi verilenin kümelemesi yapılarak giderildiği gözlenmiş ve en başarılı model güncellenerek belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Akıllı kartlar, diferansiyel gelişim algoritması, k-ortalamlar kümeleme algoritması, seyahat davranışı, toplu ulaşım talebi.

ABSTRACT

EVALUATION OF SMART-CARD DATA IN PUBLIC TRANSPORTATION DEMAND ANALYSIS

MSC THESIS

OĞUZ KÖSE

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. TURGUT ÖZDEMİR)

BALIKESİR, DECEMBER 2017

Tire-wheeled vehicles are the most commonly used public transport vehicles in cities around the world. In Balıkesir city center, all public transport is provided by tire-wheeled vehicles, 48.5% of which are bus (8 meters and over) class. Since the beginning of civilization, the ability of communities to survive and their economic success have been largely determined by the effectiveness of their transportation infrastructure. The prominence of this activity is even greater today and it has been recognized that coordinating and streamlining transport systems along with urban regeneration and land use regulations has played a role in this issue. In order to systematically evaluate alternative plans and make transportation planning decisions, planners should be knowledgeable about the travel profiles of users and transportation demands and should be able to predict the response of applications. At first travel behaviors and frequencies of passengers using public transportation in Karesi and Altieylül districts of Balıkesir city center were examined using smart card data with respect to card type of passengers in this study. There is a significant increase in the number of travels during the peak hours of beginning and ending of the shift on weekdays. For this reason, it can be argued that public transportation is used more for transportation between home and business on weekdays. The number of trips during weekend is more consistent throughout the day. Despite the fact that a large number of trips occur during the day, the number of frequent travelers being very few indicates that trips for leisure is an important component of the system. The total number of monthly boarding passes, which were provided for the last two years, were modeled for the purpose of estimating the future public transportation load. The population of Balıkesir city center, the gross domestic product index based on purchasing power parity, and the sum of minibuses and bus numbers in Balıkesir province were used as inputs. Proposed models were calibrated using the differential evolution algorithm. It is observed that the low fitness values obtained due to the irregularity seen in the input data was eliminated by clustering the input data using the k-means algorithm and the most successful model was determined by updating it.

KEYWORDS: Smart-cards, differential evolution algorithm, k-means clustering algorithm, travel behaviour, public transportation demand.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ABSTRACT	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. AKILLI KARTLAR	4
2.1 Toplu Ulaşımında Akıllı Kartlar	7
2.2 Akıllı Kart Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları.....	9
2.3 Akıllı Kart Verilerinin Kullanımı.....	10
3. DİFERANSİYEL GELİŞİM (EVRİM) ALGORİTMASI.....	14
3.1 Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	16
3.2 Mutasyon İşleminin Gerçekleştirilmesi.....	17
3.3 Çaprazlama İşleminin Gerçekleştirilmesi	18
3.4 Seleksiyon İşleminin Gerçekleştirilmesi	19
4. K-ORTALAMALAR VERİ KÜMELEME ALGORİTMASI	21
4.1 K-ortalamar Algoritması	23
4.2 K-ortalamar Algoritması Değişkenleri	25
5. UYGULAMALAR	27
5.1 Balıkesir İli ve Ulaşımı.....	27
5.2 Seyahat Davranışlarının İncelenmesi	32
5.3 Toplu Ulaşım Talep Tahmini Modeli.....	44
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
7. KAYNAKLAR	83

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Temassız akıllı kart örneği.	5
Şekil 2.2: Bir akıllı kart bilgi sistemi örneği [4].	8
Şekil 3.1: İki boyutlu bir amaç fonksiyonu örneğinde mutant vektörünün üretilmesi [33].	18
Şekil 3.2: D=7 parametrelili bir modelde mutasyon işlemi örneği [33].	19
Şekil 3.3: Diferansiyel gelişim algoritması akış şeması	20
Şekil 4.1: Kümelenme çeşitliliği örneği [41].	21
Şekil 4.2: İki boyutlu bir veri kümesinde k-ortalamlar algoritmasının işleyişinin gösterimi [41].	25
Şekil 5.1: Geçmişte Balıkesir ili.	27
Şekil 5.2: Balıkesir ilinin konumu ve ilçeleri.	29
Şekil 5.3: Balkart elektronik bilet örneği.	30
Şekil 5.4: Balıkesir ilinde kullanılan akıllı kart örnekleri.	31
Şekil 5.5: Akıllı kart verilerinin hatalı kayıt oranları.	33
Şekil 5.6: Kart tipine göre günlük binış dağılımı.	34
Şekil 5.7: Kart tipine göre toplam binış dağılımı.	35
Şekil 5.8: Tam kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.	36
Şekil 5.9: Tam kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.	36
Şekil 5.10: İndirimli kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.	37
Şekil 5.11: İndirimli kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.	37
Şekil 5.12: 60 yaş kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.	38
Şekil 5.13: 60 yaş kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.	38
Şekil 5.14: Ücretsiz kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.	39
Şekil 5.15: Ücretsiz kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.	39
Şekil 5.16: Tek kullanımlık kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.	40
Şekil 5.17: Tek kullanımlık kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.	40
Şekil 5.18: Tüm binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.	41
Şekil 5.19: Tüm binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.	41
Şekil 5.20: Hafta içi günlük seyahat frekansları.	42
Şekil 5.21: Hafta sonu günlük seyahat frekansları.	43
Şekil 5.22: Hafta boyunca görülen seyahat frekansı.	43
Şekil 5.23: Balıkesir il merkezi toplam aylık binış sayılarının aylara bağlı değişimi.	46
Şekil 5.24: Balıkesir'in Karesi ve Altieylül ilçelerinin nüfusları toplamının aylara bağlı değişimi.	47
Şekil 5.25: Satın alma gücü paritesine göre Türkiye gayri safi milli hasıla (GSMH) endeksinin aylara bağlı değişimi.	48
Şekil 5.26: Balıkesir iline kayıtlı otobüs ve minibüs araç sayıları toplamının aylara bağlı değişimi.	49

Şekil 5.27: Veriler arasındaki korelasyon matrisi.....	51
Şekil 5.28: 5.9 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.....	55
Şekil 5.29: 5.9 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.....	56
Şekil 5.30: 5.10 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.....	58
Şekil 5.31: 5.10 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.....	59
Şekil 5.32: 5.11 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.....	61
Şekil 5.33: 5.11 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.....	62
Şekil 5.34: 5.12 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.....	64
Şekil 5.35: 5.12 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.....	65
Şekil 5.36: 5.10 eşitliğinin uygunluk değerinin iterasyona bağlı değişimi.	66
Şekil 5.37: Girdi verilerinin saçılımı.	67
Şekil 5.38: Kümelenmiş girdi verilerinin saçılımı.....	69
Şekil 5.39: Gözlenen biniş sayılarının belirlenen kümelere aidiyeti.	70
Şekil 5.40: 5.14 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.....	76
Şekil 5.41: 5.14 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.....	76
Şekil 5.42: 5.14 eşitliğinin uygunluk değerinin iterasyona bağlı değişimi.	77
Şekil 6.1: Tüm modellerin performans karşılaştırılması.	81

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Bazı temassız akıllı kart standartları [4].	6
Tablo 5.1: Karayollarının Türü ve Uzunlukları (km).	30
Tablo 5.2: Türlerine göre Balıkesir ilindeki toplu taşıma araçları [61].	31
Tablo 5.3: Akıllı kart validator kayıt verisi örneği.	32
Tablo 5.4: Kart tipine ve günlere göre toplam binış sayıları.	33
Tablo 5.5: Balıkesir il merkezi toplam aylık binış sayıları.	45
Tablo 5.6: Balıkesir'in Karesi ve Altıeylül ilçelerinin nüfusları toplamı [65].	46
Tablo 5.7: Satın alma gücü paritesine göre Türkiye gayrisafi milli hasıla (GSMH) endeksi [66].	47
Tablo 5.8: Balıkesir iline kayıtlı otobüs ve minibüs araç sayıları toplamı [67].	48
Tablo 5.9: Modellerde kullanılan veriler.	50
Tablo 5.10: Önerilen genel performans derecelendirmeleri [69].	53
Tablo 5.11: 5.1 modelinin en iyi 25 sonucu.	54
Tablo 5.12: 5.1 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.	55
Tablo 5.13: 5.2 modelinin en iyi 25 sonucu.	57
Tablo 5.14: 5.2 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.	58
Tablo 5.15: 5.3 modelinin en iyi 25 sonucu.	60
Tablo 5.16: 5.3 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.	61
Tablo 5.17: 5.4 modelinin en iyi 25 sonucu.	63
Tablo 5.18: 5.4 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.	64
Tablo 5.19: K-ortalamalar kümeleme analizi sonuçları.	68
Tablo 5.20: 5.13 modelinin en iyi 25 sonucu.	72
Tablo 5.21: 5.13 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.	73
Tablo 5.22: 5.13 modelinin daraltılan aralıkta en iyi 25 sonucu.	74
Tablo 5.23: 5.13 modelinde belirlenen CR ve F parametre değerleriyle elde edilen HKO değerleri.	75

ÖNSÖZ

Bu çalışma için bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim. Bana çalışmam konusunda ilham ve fikir vererek çok yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZUYSAL'a teşekkür ederim. Katkıları için başta Yrd. Doç. Dr. Umut OKKAN hocama, Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Genel Sekreter Yardımcısı Dr. Taylan Engin'e, Asis Elektronik Bilişim Sistemleri A.Ş. Balıkesir Bölge Müdürü Bozan ASLAN'a teşekkür ve minnetimi özellikle belirtmek istiyorum.

Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşim Merve BERBER KÖSE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bütün hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen bütün değerli aile fertlerime de en kalpten teşekkürleri borç bilirim.

Oğuz KÖSE

1. GİRİŞ

Dünyanın her yerinde birçok sektörde kullanılan akıllı kart ücret toplama sistemlerinden elde edilen veriler toplu ulaşım sistemlerinde seyahat davranışı analizi ve talep belirleme konuları için yükselen öneme sahip bir kaynaktır. Giderek artan kullanıma sahip bu yeni teknoloji kolay ve etkili ücret toplama özelliği sayesinde birçok kurumun dikkatini çekmiştir. Kısa sürede farkına varıldığı üzere biniş verileri sayesinde birçok bilgi elde edilebilmekte ve bu bilgiler daha konforlu, kaliteli ve ekonomik bir toplu ulaşım için başka şekilde elde etmesi çok güç olan bilgiler sunmaktadır. Akıllı kart verilerinin incelenmesiyle birçok ayrıntılı istatistik elde edilebilmektedir.

Akıllı kartlar ilk kez 1968 yılında Dethloff ve Grotrupp tarafından tescillenmiştir [1]. Temel olarak kredi kartı, SIM kart veya USB Flash Drive boyutuna sahip bir dayanıklı plastik (çoğunlukla Polivinil klorür) ve bunun üzerindeki veri depolamak, işlemek ve yazmak için tasarlanmış gerekli tüm işlevleri yerine getiren mikroişlemci çipten oluşmaktadır [2].

1990 yılından itibaren internet ve mobil iletişimin hızlı artışıyla birlikte kullanımı hızla yaygınlaşan akıllı kartlar günümüzde ulaşım sektöründe de etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Akıllı kart kullanımı sırasında sunuculara kaydedilen ayrıntılı kullanım bilgileri hem işletmeciler açısından kolay bir yönetim sistemi sağlamış hem de başka türlü elde edilmesi çok güç bir bilgi kaynağı sağlamıştır.

Medeniyetin başlangıcından bu yana toplulukların varlığını sürdürebilmesi ve ekonomik başarısı büyük ölçüde sahip oldukları ulaşım altyapılarının etkinliği ile belirlenmiştir. Etkin arazi kullanımı ve ulaşım sistemlerine duyulan ihtiyaç bugün çok daha yüksektir. Trafik tıkanıklığının yüksekliği, ulaşım kaynaklı emisyonlar, büyüme modellerinin ve ulaşımın sürdürülebilirliği ile bunların bölgesel ve ulusal üretkenlik üzerindeki olumsuz etkileri konusunda ciddi endişeler bulunmaktadır. Trafik tıkanıklığının ve ulaşım kaynaklı emisyonların ciddi sonuçlarının farkında olan metropoliten alanların çoğu, kentsel dönüşümün ve arazi kullanım

düzenlemesinin bu konudaki rolünün farkına varmışlardır. Bunlarla beraber ulaşım sistemlerini koordine etmek ve uygun hale getirmek için adımlar atmaktadırlar. Mevcut altyapıyı korumak ve genişletmek için kısıtlı finansal kaynaklar ve ulaşım yatırımlarının çevresel etkileri ile ilgili endişeler, ulaşım altyapısının sağlanmasıyla ilgili alternatif planların sistematik bir şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu problemleri dikkate alarak ulaşım planlama kararlarını vermek için planlayıcılar ve mühendisler, ulaşım taleplerini ve uygulamaların tepkisini tahmin edebilmelidirler. Bu anlamda çalışılan bölge ile ilgili seyahat profilleri hakkında bilgi edinilmesi ve çalışılan bölgenin ulaşım talebinin tahmin edilebilmesi önem arz etmektedir. Gerçekleştirilen çalışma bu konular üzerine Balıkesir ili kapsamında değinmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde çalışma hakkında kısa bir giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümde akıllı kartlar hakkında literatür çalışmalarına ve akıllı kart uygulamalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada toplu ulaşım tahmini için oluşturulan modellerin optimizasyonunda kullanılacak olan diferansiyel gelişim algoritmasının tarihi, algoritmanın kullanıldığı çalışmalar ve algoritmanın nasıl çalıştığı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde model optimizasyonu sonuçlarının iyileştirilmesi adına verilerin gruplandırılması için kullanılan kümeleme işlemleri, k-ortalama veri kümeleme algoritması ve algoritmanın çalışması açıklanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünün ilk kısmında uygulamanın gerçekleştiği Balıkesir ili tanıtılmıştır. Balıkesir ili şehir merkezinde yer alan Karesi ve Altieylül ilçelerine ait toplu ulaşım kullanım verileri akıllı kartlar aracılığı ile edinilmiştir. İlk aşamada kişisel akıllı kart kullanım bilgileri kart tipine bağlı olarak seyahat davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 14.11.2016 ve 20.11.2016 tarihleri arasında 22473 eşsiz kullanıcı tarafından gerçekleşen 67449 biniş verisi seyahat davranışlarının analizi için kullanılmış ve Balıkesir iline ait gün içerisinde farklı kart tiplerine sahip kullanıcıların seyahat zamanlarının dağılımları ve sıklıkları incelenmiştir. İkinci kısmında ise 16.10.2017 tarihinde elde edilen Mayıs 2015-Mayıs 2017 aralığındaki 25 aylık toplam biniş verileri kullanılarak bu biniş verilerinin bir model yardımıyla tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulacak model için girdi verileri olarak Karesi ve Altieylül ilçe nüfuslarının toplamı, satın alma gücü paritesine göre gayri safi milli hasıla (GSMH) endeksi ve Balıkesir ilindeki minibüs ve otobüs araçlarının sayıları kullanılmıştır. Bu verileri kullanarak

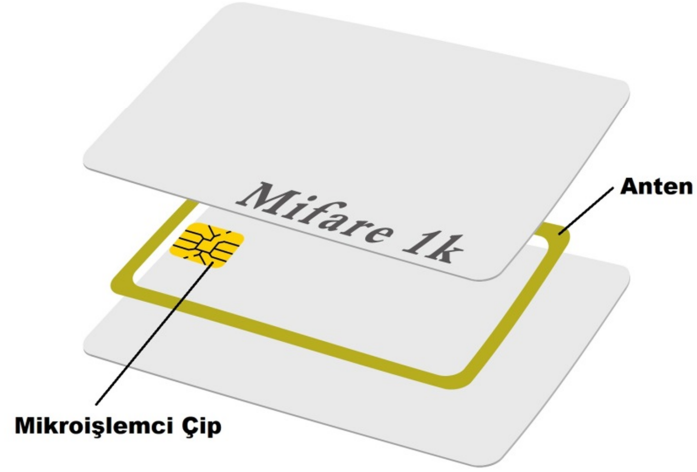
biniş verilerini tahmin edebilecek dört adet model belirlenmiş ve bu modellerin parametrelerinin belirlenmesi için diferansiyel gelişim algoritması kullanılmıştır.

Belirlenen parametreler gözlenen biniş sayılarını tahmin etmede yetersiz kalmış ve girdi verilerinin saçılımı incelenerek daha doğru bir model türetebilme adına verilerin kümelenmesinin tahmin hassasiyetine olumlu bir etki yaptığı görülmüştür. Bu işlem için k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanılmıştır. Kümeleme işlemi sonucunda tekrar kalibre edilen model parametreleri ile tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen tüm bulgular ve bunlara ait çıkarımlar çalışmanın son kısmı olan sonuçlar başlığı altında irdelenmiştir.

2. AKILLI KARTLAR

Özellikle toplu taşıma şirketleri tarafından otomatik ücret toplama, otomatik yolcu sayımı gibi sistemlerde devamlı artarak kullanılmaya başlanan akıllı kart teknolojisi aslında yeni bir teknoloji değildir. Akıllı kartlar ile ilgili ilk patent 1968 yılında içinde mikroçip bulunduran bir plastik kart geliştiren Alman geliştiriciler Dethloff ve Grotrupp tarafından alındı [1]. 1970 yılında, Japonlar kendi akıllı kart sürümleri için bir patent kaydettiler [3]. 1970 yılı sonuna gelindiğinde Motorola, işlemlerindeki güvenliği artırabilmek için Fransız bankacılık sistemi tarafından da kullanılan ilk güvenli tek çipli mikro denetleyiciyi geliştirdi [4]. Bununla birlikte, 1990'dan bu yana, internetin çok büyük hızla büyümesi ve mobil iletişim teknolojilerinin giderek daha karmaşık hale gelmesi ile akıllı kart kullanımı çok daha önemli hale gelmiştir [5]. Akıllı kart teknolojisi, işletme faaliyetlerinin birçok alanında piyasada kullanılmaktadır. Almanya'da 1992 yılından bu yana sağlık sektöründe, 1982 yılından itibaren ise Fransa'da posta, telefon ve telgraf hizmetleri için akıllı kart teknolojileri kabul görmektedir [3]. Akıllı kartlar (temassız veya temaslı) sağlık, bankacılık, devlet işleri, insan kaynakları ve özellikle ulaşım gibi pek çok sektörde yoğunlukla kullanılmaktadır.

Temel olarak kredi kartı, SIM kart veya USB Flash Drive boyutuna sahip bir dayanıklı plastik (çoğunlukla polivinil klorür) ve bunun üzerindeki veri depolamak, işlemek ve yazmak için tasarlanmış gerekli tüm işlevleri yerine getiren mikroişlemci çipten oluşmaktadır. Yaygın kullanımı Şekil 2.1'de görüldüğü üzere kredi kartı boyutundadır ve üzerindeki mikroçip genellikle 25mm² ebadını aşmamaktadır [2].



Şekil 2.1: Temassız akıllı kart örneği.

Akıllı kartlar sadece bir hafıza kartı veya hafıza kartının yanında önceden programlanabilen işlemleri gerçekleştirebileceği bir mikroçip ile donatılırlar. Kartların üzerindeki mikroişlemci çip, veriyi okuma ve yazma becerisi ile son derece güvenli bir ortamda çok fazla veriyi (şu an yaklaşık 64000 bayta kadar) depolayabilme özelliğiyle benzersizdir. Bakiye, abonelik hakları, gerekliyse kart sahibinin bilgileri, kart üzerindeki çip ve kart işleme sistemine bağlı olarak birçok uygulama ve hizmete erişimi akıllı kartları tekrar tekrar kullanılabilen bir bilet haline getirmiştir [5].

Akıllı kartların genel olarak temaslı ve temassız olmak üzere birçok türü bulunmaktadır. Temaslı kartlar genellikle hafıza kartı biçiminde olup okuyucuyla direk temas edecek şekilde yerleştirilirken temassız kartlar okuyucuyla Radyo Frekanslı ile Tanımlama (RFID) teknolojisine benzer yüksek frekanslı dalgalar ile iletişim kurarlar. İşlem için gereken enerji ise okuyucu tarafından oluşturulan elektromanyetik alan ile üretilir. Temaslı kartta, plastik dilimler içine yerleştirilen çipin yüzeyi örtülmemelidir, çünkü aktivasyon ve veri tanıma işlemleri için çip okuyucu ile temasa sokulmalıdır. Temassız kartlarda ise çip plastik içine tamamen gömülebilir ancak genellikle görülebilir bırakılmaktadır ve RFID teknolojisine benzeyen küçük bir anten de kart içerisine kurulmaktadır.

Karttaki veriler kriptolu veya kriptosuz olarak bulunabilmektedir. Kriptolama standardı olarak genellikle 1978 yılında IBM tarafından geliştirilmiş olan Üçlü Veri

Şifreleme Standardı (3DES) şifreleme algoritması kullanılmaktadır. Verilerin yetkili olmayan üçüncü kişiler tarafından kopyalanamadığından veya değiştirilemediğinden emin olan bu güvenlik aşamaları akıllı kartların uzun ömürlü olmasını ve hem yüksek değerli bilet (yıllık demiryolu hattı bileti veya uçak bileti gibi) hem de düşük değerli bilet (otobüs, metro, vapur bileti gibi) olarak güvenli ve güvenilir biçimde kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Çoğu telekomünikasyon teknolojisinde olduğu gibi akıllı kart donanımı da uluslararası standartlarla uyumlu olmalıdır. Temaslı akıllı kartlar genellikle temas plakası yerleşimini ve kullanımını, elektrik arabirimlerini ve uygulamaların seçimini tanımlayan ISO / IEC7816 ile kapsamaktadır [6]. Temassız kartlar için, kartlar ve validatörler arasındaki etkileşimi kapsayan standartlar Tablo 2.1'den görülebilir.

Tablo 2.1: Bazı temassız akıllı kart standartları [4].

Teknoloji	Frekans (MHz)	Veri Aktarım Hızı (kbps)	Aktivasyon Uzaklığı	Sistem
ISO/IEC14443 (A veya B Tipi)	13.56	106	10 cm	Açık veya Kapalı
ISO/IEC15693	13.56	26	1 m'ye kadar	Kapalı
Felica ISO/IEC15408 EAL4	13.56	212	-	-
NFC (Yakın Alan İletişimi)				
ISO/IEC18092	13.56	212	20cm'ye kadar	Açık
EZ-PASS Tescilli Ultra Yüksek Frekans Teknolojisi	902, 928 ve 5900	-	3-10m	Kapalı

Akıllı kart içerisinde bulunan veriler kullanıcılar için büyük gizlilik kaygılarına sebep olabilmektedir. Bu durum son zamanlarda araştırmalara konu olmakla birlikte ulaşım sistemlerinde güvenlik konusuyla ilişkili gelişmektedir. Bazı durumlarda, depolanan bilgilerin miktarındaki artış güvenlik açısından bir iyileşme olarak görülebilir çünkü operatörler kullanıcıların konumu hakkında önemli bilgilere sahip olabilir ve bu bilgiler polis soruşturmalarında kanıt olarak kullanılabilir. Bu bilgiler ödeme işlemlerine, finansal duruma, seyahat bilgilerine, kişisel bilgilere

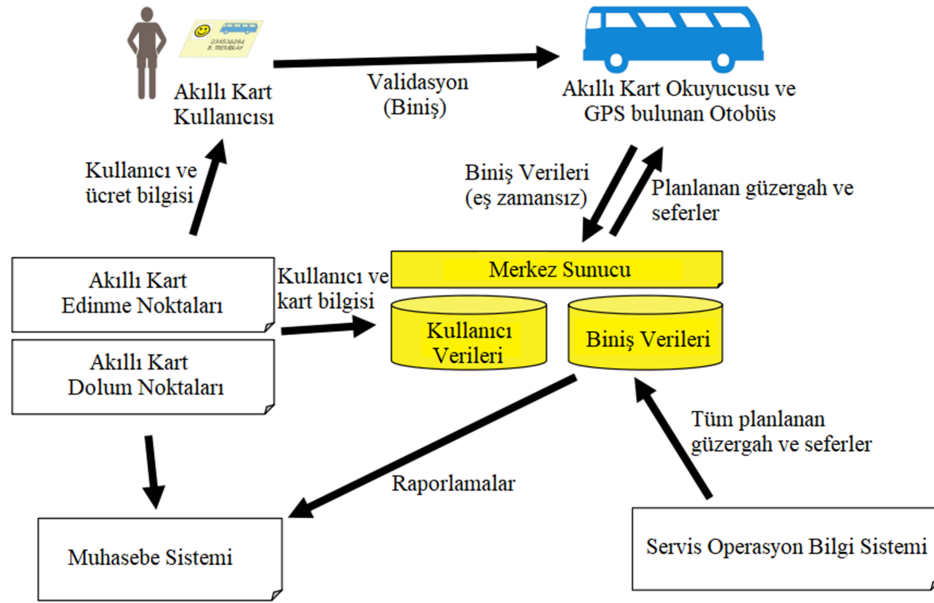
(yolcu adı, ev ve iş adresi, yaş ve cinsiyet vb.), biyometrik tanımlamalara ve yolcuların olası suç faaliyetleri ile ilgili bilgilere bağlanabilir [7].

2.1 Toplu Ulaşımında Akıllı Kartlar

Akıllı kart otomatik ücret tahsilat sistemleri artık tüm dünyada yaygın olarak uygulanmaktadır. Avrupa'da, özellikle Fransa, İngiltere ve İtalya'da kullanımı çok ilerlemiştir. Ayrıca Asya'da da yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde New York, Washington, Chicago ve San Francisco'da ve bu şehirler gibi ondan fazla metropoliten alanda uygulamaları bulunmaktadır. Kanada'da akıllı kartlar, Québec eyaletinin Gatineau bölgesindeki ve Montreal, Kingston ve Brantford'daki ulaşım sistemlerde uygulanmaktadır ve diğer bölgeler için planlamalar devam etmektedir. Güney Amerika'da, örneğin Santiago, Şili'de de kullanılmaktadır [4]. Akıllı kart verileri kullanılarak toplu ulaşım yolculuk talebinin belirlenmesi [8], akıllı kart verilerine dayalı güvenilirlik ölçütlerinin toplu ulaşım atama modellerine entegrasyonu [9], otobüs duraklarındaki yolcu iniş-biniş zamanları belirlenmesi [10] gibi ülkemizde akıllı kart verileri ile yapılmış çalışmalar bulunmaktadır.

Toplu taşımada ödeme için akıllı kartların kullanılması, işlem verilerinin finansal muhasebe süreci için saklanması sırasında şebeke aracılığıyla kartın kullanımını doğrulamayı mümkün kılan bir kurumsal bilgi sisteminin olmasını gerektirir. Bilgi sistemindeki veri akışı Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Merkezi sunucu, kart sahiplerine ve tüm işlemlere ait verileri depolar ve sistemin çekirdeğini oluşturur. Bilgilerin gizliliğini korumak için kullanıcı ve doğrulama verileri aynı veri tabanında saklanmamaktadır. Merkezi sunucudaki otobüs güzergâhları, zaman çizelgeleri ve dağılımları hakkındaki veriler servis operasyon bilgi sistemi tarafından sağlanmaktadır. Bu veriler otobüslerdeki yerleşik kart okuyucularına düzenli olarak aktarılmaktadır. Akıllı kart otobüste okutulduğunda kart okuyucuda validasyona tabi tutulur. Ücret son kullanma tarihi, ücretin servis türüne uygunluğu ve kartın kara listeye alınmadığı (dolandırıcılık ya da sahtecilik için) gibi konularda doğrulaması yapılır. Tüm işlemlerle ilgili bilgiler otobüsteki yerleşik cihazda saklanır ve otobüs garaja her dönüşünde eş zamansız olarak merkez sunucuya aktarılır. Ayrıca bu

bilgiler muhasebe amaçlı işlemler için akıllı kart basım ve dolum noktalarıyla, kurumsal muhasebe sistemleriyle ve merkez sunucuyla paylaşılır. Genel olarak her bir otobüsteki yerleşik validatörde validasyon tarihi ve saati, işlemin durumu (biniş onayı, biniş reddi ve aktarma), kart kimliği, ücret türü, güzergah, rota, durak, otobüs, sürücü, sefer ve dâhili veri tabanı bilgisi saklanmaktadır.



Şekil 2.2: Bir akıllı kart bilgi sistemi örneği [4].

Türkiye’de ilk olarak Aralık 1994’te İstanbul’da pilot otobüs hatlarında denemelerine başlanan elektronik bilet uygulaması Akbil, 2 Nisan 1995 günü ilk kez İstanbul Deniz Otobüsleri A.Ş.’ye bağlı deniz otobüslerinde, daha sonra ise İstanbul M1 hafif metro hattı ve bağlantılı çalışan İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri hatlarında hizmete sunulmuştur. 1998 yılından itibaren şehrin neredeyse tüm ulaşım ağında kullanılır olmuştur. 2008 yılında temassız bir akıllı kart olan İstanbulkart için çalışmalar ve pilot uygulamalar başlamıştır. 2015 yılında Akbil yerini tamamen temassız akıllı kart uygulaması olan İstanbulkart’a bırakmıştır [11].

2.2 Akıllı Kart Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Son yıllarda birçok ülkede akıllı kart ücret toplama sistemlerinin kullanımının gerekçeleri tartışılmıştır. İlk kurulumlarda ortaya çıkan teknik zorluklarla beraber uygulama için gerekli olan büyük yatırım maliyetleri girişimciler için bir tereddüt oluşturmuştur. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte elde edilebilecek faydalar daha görünür olarak belirginleşmeye başlamıştır. Araştırmacılar bir tarafta uzun vadeli maliyet düşürme etkisi, fiyatlandırma seçeneklerinde esneklik yaratması, potansiyel bilgi paylaşımı ve daha iyi gelir yönetimi gibi olumlu taraflarını bildirmekte, bir yandan da yüksek uygulama maliyetlerine, teknolojik karmaşıklık ve yavaş sosyal kabul sorunlarına olası engeller olarak dikkat çekmektedirler.

Toplu ulaşımdaki akıllı kart uygulamalarının olumlu yanları şu şekilde özetlenebilir [4];

- Uzun ve maliyetli anket uygulamalarına kıyasla veri toplama işlerinde kullanıcıların rolü minimuma inmiştir [12].
- Kişisel verilerle birleşik seyahat verileri hem veri kalitesini iyileştirmiş hem de kullanılabilir istatistik işlemlerini arttırmıştır [13].
- Mevcut veriler üzerinde çalışmaktansa kullanıcı seyahatlerini yeniden oluşturarak kullanıcı davranışlarını analiz etmek çok daha kolay olmaktadır [13].
- Yol kullanımı, otopark ve geçiş ücretleri için çeşitli fiyatlama seçeneklerinin fizibilitesinin ve elverişliliğinin iyileşmesini sağlamaktadır [14].
- Birçok sayıdaki farklı sistem için evrensel bir ödeme metodu olabilmektedir ve diğer ulaşım ücret toplama faaliyetleriyle entegrasyonu mümkündür [14, 15].
- Düşük maliyet ile daha iyi bir hizmet sağlamaktadır. Esnek ve yaratıcı ücret politikaları uygulanabilmektedir. Gelir yönetiminde gelişme sağlamaktadır [16].
- Kullanıcılar için elverişlilik ve sistem kullanım sürelerinde gelişme sağlanmıştır [13].
- Yeni teknolojilerin kullanımı ile kullanıcıların toplu ulaşımına bakış açısında gelişme gözlenmiştir [17].
- Ödeme mekanizmalarında ve bunlara ait bilgi akışında gelişme sağlanmıştır [5].
- Bilgi paylaşımı potansiyeli ile yenilikçi kazanç olanaklarına zemin hazırlanmaktadır [18].

- Ücret alışverişi ile zaman harcanmadığından kullanıcıların biniş sürelerinde ve sürücünün iş yükünde azalma meydana gelmektedir [19].

Toplu ulaşımdaki akıllı kart uygulamalarının olumsuz yanları ise şu şekilde özetlenebilir [4];

- Kullanıcıların seyahat amaçları veya hizmet hakkındaki değerlendirmeleri konusunda bilgi sağlanamamaktadır [13].
- Kullanıcıların nihai varış yerleri verisinin belirlenmesi için yöntemler geliştirilmesine rağmen bu bilgileri doğrudan vermemektedir [13].
- Araştırma ve geliştirme maliyetleri oldukça yüksektir. Yeni bileşenlerin ve işlemlerin sistemlere entegrasyonu oldukça karmaşıktır. Kart sistemlerinin kurulumu yüksek maliyet içermektedir. Akıllı kart teknolojisine yatırım yapmakla ilgili yüksek bir risk söz konusudur. Kurumsal olarak değişim zaman almaktadır. Kullanıcıların akıllı karta geçiş sürecindeki sosyal adaptasyonu yavaş olmaktadır [14].
- Hizmet sağlayıcıların kart kullanım analizlerini ve başlangıçta yapılan varsayımları doğrulamak için anket gerçekleştirmelerine ihtiyaç vardır [13].
- Uygulamanın karlılık getirmek gibi bir garantisi yoktur. Uygulamanın başarısı genellikle kullanıcılara bağlı olmaktadır [16].
- Tüm nüfusu temsil eden bir örneğin sağlanabilmesi için pazar nüfuzunun etkili olması gerekmektedir [18].
- Kullanılan kart ne kadar karışık olursa elde edilecek güvenilirlik aynı oranda az olmaktadır [5].

2.3 Akıllı Kart Verilerinin Kullanımı

Son yıllarda akıllı kart verilerinin toplu taşımaya ilişkin işlemlerde kullanılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak uzun vadeli ulaşım ağı planlaması, müşteri davranışlarının analizi, ileriye dönük talep tahmini, sefer planlaması, hat boyunca veya bireysel bazlı yolculuk modelleri, akıllı kart sistemi operatörleri ve arz-talep göstergeleri gibi başlıklar altında toplanabilmektedir.

Uzun vadeli planlamaya yönelik yapılan pek çok çalışma gösteriyor ki araştırmacılar bunun için akıllı kart verilerini kullanmaya sıklıkla başvuruyorlar. Her yolcunun seyahati boyunca takip edilebilmesi sebebiyle akıllı kart veri analizinin kullanıcı davranışının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabileceğini belirtilmektedir [13, 20]. Fakat bir ağdaki tüm kullanıcılar akıllı kartları kullanmayabileceğinden dolayı genel bir ağ kullanımı görüntüsü oluşturmak için bazı ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Çoğu araştırmada kullanıcılarla ilgili kişisel bir bilgiye sahip olmadan kullanıcıların nitelendirilmesi ve sınıflandırılması üzerine odaklanılmıştır. Utsunomiya [18] yapmış olduğu pazarlama analizi çalışmasında bu türden bir veriye erişme olanağı elde etmiş ve rota ile istasyonlara bağlı kullanıcıların demografik profilini oluşturmuşlardır. şu anda sektörde kullanılan veri toplama yöntemlerine göre akıllı kart verileri ile stratejik planlama yapmak büyük bir ilerlemedir [13]. Diğer tüm veri toplama araçlarına göre çok daha büyük miktarlarda konum ve zamana bağlı gözlem verisi elde etmek mümkündür [13, 20]. Her akıllı kart işlemi için ücret tahsilatı, işlem tarihi ve saati ile kart numarası bilgisi mevcuttur. Bu belirli zaman aralığı içerisinde toplu taşıma sistemini kullanan insanların yapmış oldukları biniş sayısının kesin bir zaman ölçeğinde hesaplanmasını kolaylaştırır. Bazı durumlarda bu bilgilere ek olarak biniş yapılan durağa ait konum bilgileri de mevcut olabilmektedir. Bu da istatistiklerin bir ağ üzerinde mekansal olarak detaylandırılabilmesi anlamına gelmektedir. Fakat genellikle kart sahipleri hakkında hiçbir bilgi bulunmadığından veriler sosyo-demografik özelliklere sahip değildir. Dolayısıyla bu verileri hane halkı araştırması gibi geleneksel veri toplama yöntemleriyle zenginleştirmeye ihtiyaç vardır [21]. Akıllı kartlar ağdaki kullanıcıların kullanım sıklıklarını ölçmek için de kullanılabilir. Her bir kartın kullanım ömrü, ulaşım sisteminin kullanıma başlama ve bitiş tarihlerine bakılarak teyit edilebilir [22].

Birçok ulaşım yetkili makamı hafta içi tüm günler için benzer bir sefer programı hazırlayıp duyururken, günler arasında biniş sayılarında büyük oranda değişim olabilmektedir ve bu nedenle her gün için farklı bir sefer planlaması yapılmasına olan ihtiyaca akıllı kart verileri ile cevap bulanabilmektedir [18]. Oluşan sorunlar hatlar boyunca akıllı kart sistemi tarafından sağlanan veriler ile çözüme ulaştırılabilmektedir. En çok biniş yapılan noktalar kolaylıkla belirlenebilmekte ve her bir sefer boyunca biniş profilleri türetilebilmektedir [23]. Çoğu sistemde bireysel

seyahatler için varış noktasını belirleyecek bir çözüm bulunmadığından en olası varış noktasını tahmini hesaplamak için Trépanier'in [23] önerdiği gibi bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Bu işlem kullanıcının gün içerisinde yapmış olduğu başka biniş noktalarına veya geçmiş verilerde kullanıcının gerçekleştirmiş olduğu diğer seyahatlerle olan benzerliklere bakılarak gerçekleşir. Daha sonra biniş ve iniş noktaları her bir kullanıcı için belirlenmiş olduğundan başlangıç-varış matrisleri ve hattın kullanım profili çıkarılabilir. Munizaga [24] seyahatin yönünün belli olmadığı metro istasyonlarında kullanılması için yöntem üzerinde bir iyileşme önermiştir. Kullanıcıya ait iniş yeri mevcut olmadığında teorik olarak biniş saati ile binişin gerçekleştiği aracın sefer saatleri eşleştirilerek iniş noktasını tahmin etmek mümkün olsa da bu yöntemi uygulayan şu an için bulunmamaktadır. Hofmann [25] akıllı kartlara benzer nitelikler taşıyan manyetik kartlar ile yaptığı çalışmada aktarmalı seyahatler üzerine çalışmıştır. Aktarma alışkanlıkları hakkında daha iyi bir konum ve zaman bilgisi planlamacıların ağ geometrisini ve seferleri kullanıcıların ihtiyaçlarını en iyi karşılayacak şekilde yeniden düzenlemelerine yardımcı olmaktadır. Akıllı kart verilerine günlük olarak erişilebilmesi aynı zamanda yeni politikaların uygulanmasının biniş sayıları üzerindeki etkilerini ölçmeye yardımcı olabilmektedir [26].

Akıllı kart sistemleri her bir sefer, hat veya gün için sefer planına uyum, araç-km ve yolcu-km gibi performans göstergelerini kesin olarak hesaplamak için kullanılabilir [27]. Sefer planına uyum, hat boyunca duraklarda gerçekleşen binişlerin zamanlarının sefer planı ile karşılaştırılması ile tahmin edilebilmektedir. Burada her bir durakta gerçekleşen ilk binişin tespit edilmesi için veriler dikkatle süzülmalıdır çünkü biniş işlemleri zaman almaktadır. Akıllı kartlar farklı duraklarda farklı araç ve hatlar için biniş sürelerinin belirlenmesi için de kullanılabilir. Araç konum sistemleri gibi akıllı kartlar da dolaylı olarak benzer şekilde veri toplayabilmektedirler [28]. Buna ek olarak akıllı kartlar ücret türüne bağlı istatistiki bilgileri de sağlayabilmektedirler. Ayrıca seyahat bilgi sistemlerinde ayrı ayrı güzergahların verilmesine yardımcı olması için verilerin kullanılması gibi ilginç kullanımlar da mevcuttur [14, 18]. Akıllı kartlar bu sistemdeki temel amacı olan ödeme yönetimindeki temel işlevini yerini getirirken aynı zamanda akıllı kart ödeme sistemindeki usulsüzlükleri ve hataları tespit etmeye de yardımcı olabilmektedir [14]. İşlem verilerindeki bu hataların varlığı kusurlu ekipmanın, dolandırıcılığın veya

alışan hatalarının hızlı bir Şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır. En yaygın görülen hata sürücü tarafından yapılan bir girdi hatası, hat üzerinde yapılan bir son dakika deęiŐiklięi veya plansız bir araç tahsisi gibi işlemler sebebiyle araçtaki yerleşik akıllı kart okuyucusu ile planlı hat arasındaki senkronizasyon bozukluğudur. Bu tür bir hata daha sonra veri karŐılaŐtırma yöntemleri ve niteleme teknikleri kullanılarak düzeltilebilir [29].

Önümüzdeki yıllarda, akıllı kart ücret toplama sistemlerinin ulaşım ağlarında en çok kullanılan ödeme yöntemi olmasına kesin gözüyle bakılmaktadır. Kullanılacak milyonlarca akıllı kart sağlayacağı çok geniş veri kaynağı ve bu verilerin birçok amaçla kullanılacak oluşu gelecek vaat eden bir potansiyel olmaktadır. Özellikle geliŐmiŐ ülkelerdeki gizliliğe ilişkin endişeler aŐılırsa ve yeterli güvenlik önlemleri alınırsa planlayıcılar ve araştırmacılar ulaşım kullanıcılarının davranışlarını daha iyi anlamada, toplu taşıma sistemlerinin iyileŐtirilmesine yardımcı olmada ve bu alandaki rollerini arttırmada sürekli bir veri kaynağına sahip olacaklardır.

3. DİFERANSİYEL GELİŞİM (EVRİM) ALGORİTMASI

Çözüm uzayı içerisinde evrensel optimizasyonu içeren problemler tüm bilim dallarında sıklıkla bulunmaktadır. Genel olarak amaç sistem parametrelerini uygun bir şekilde seçerek belirli bir sistemin özelliklerini en iyi duruma getirmektir. Kolaylık sağlamak için sistemin parametreleri genellikle bir vektör olarak temsil edilir. Bir optimizasyon sorununa standart yaklaşım problemin hedeflerini modelleyebilen belirli limitler dahilinde bir amaç fonksiyon tasarlamak ile başlar. Çoğu durumda amaç fonksiyonu, optimizasyon problemini bir minimizasyon veya maksimizasyon görevi olarak tanımlar. Bu gibi problemlerde amaç fonksiyonu daha doğru olarak maliyet (cost) fonksiyonu veya uygunluk olarak adlandırılır. Amaç fonksiyonu doğrusal ve diferansiyel olmadığına doğrudan arama yaklaşımları tercih edilen yöntemlerdir. Nelder-Mead Simpleks Algoritması ve Hooke-Jeeves Algoritması [30], Genetik Algoritma (GA) [31] ve Evrim Stratejileri [32] bu algoritmalarından en bilinenleridir.

Her doğrudan arama yönteminin merkezinde parametre vektörlerinin varyasyonlarını üreten bir strateji bulunmaktadır. Bir varyasyon üretildikten sonra yeni türetilmiş parametrelerin kabul edilip edilmemesi için bir karar alınmalıdır. Çoğu standart doğrudan arama yöntemi bu kararı alabilmek için açgözlü bir kriter kullanır. Bu açgözlülük kriterinde yalnızca maliyet fonksiyonunun değerini düşürürse yeni bir parametre vektörü kabul edilir. Açgözlü karar süreci oldukça hızlı bir şekilde yakınsasa da yerel bir minimuma takılma riski taşımaktadır. Genetik algoritmalar ve evrim stratejileri gibi özünde paralel arama teknikleri, yanlış yönlendirmeyi önlemek için bazı dahili güvenlik önlemlerine sahiptir. Birkaç vektörü aynı anda çalıştırarak üstün parametre grupları diğer vektörlerin yerel minimumdan kaçmasına yardımcı olabilir. Kullanıcılar genelde pratik bir minimizasyon/maksimizasyon tekniğinin aşağıdaki gereksinimleri karşılamasını talep etmektedir;

- Doğrusal ve diferansiyel olmayan ve çok modlu maliyet fonksiyonlarının üstesinden gelebilmek,
- Paralel çözüm sayesinde yoğun hesaplama içeren maliyet fonksiyonlarıyla başa çıkma yeteneğine sahip olmak,
- Kullanım kolaylığına sahip olmak,
- Minimizasyonu/maksimizasyonu yönlendirmek için sağlam ve seçilmesi kolay birkaç kontrol değişkeni bulundurmamak,
- İyi yakınsama özellikleri bulundurmamak, yani ardışık bağımsız denemelerde evrensel minimuma tutarlı yakınsaklık.

Diferansiyel Gelişim (Evrim) Algoritması (DGA) yukarıdaki gereklerin tümünü yerine getirmek üzere Rainer Storn tarafından kendine sunulan Chebychev polinomu problemini çözmek için yaptığı denemeler ile Ken Price tarafından tasarlanmıştır [33]. DGA bilinen bazı doğrusal olmayan, diferansiyel olmayan ve dışbükeylikten uzak optimizasyon problemlerini çözmek için başarıyla uygulanmıştır. DGA rastgele oluşturulmuş bir başlangıç popülasyonundan nihai bir çözüme ulaşmak için çaprazlama, mutasyon ve seleksiyon klasik operatörleriyle basit aritmetik operatörleri birleştirir. DGA popülasyon tabanlı ve doğrudan stokastik arama algoritmasıdır. Bu basit ancak güçlü ve net özellikleri DGA'yı sayısal optimizasyonda çekici kılmaktadır. DGA diğer evrim algoritmalarıyla karşılaştırıldığında problem çözme için oldukça açgözlü ve daha az stokastik bir yaklaşım kullanmaktadır. Son zamanlarda diferansiyel evrim algoritması sağlamlığı ve esnekliği nedeniyle araştırmacılardan büyük ilgi görmüştür. Birçok tümleşik problemin üstesinden gelmek için kullanılmıştır ve kullanım alanı hızla genişlemektedir. DGA'dan taşkın öteleme modeli kalibrasyonunda [34], iş akış çizelgelemelerinde [35], optimum güç akışının bulunmasında [36], dijital FIR filtrelerinin tasarımında [37], hazne sistemlerinin optimizasyonunda [38], yapısal sistem tanımlamada [39], yapay sinir ağlarının eğitilmesinde [40] ve daha birçok konuda etkin bir şekilde yararlanılmıştır.

DGA çözüm uzayı içerisinde rastgele olarak belirli sayıdaki başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla başlamaktadır. Algoritmanın arkasındaki en önemli fikir farklı deneme parametre vektörleri üretmek için yeni bir şema ortaya atmasıdır. DGA, iki popülasyon üyesi arasındaki ağırlıklı fark vektörünü üçüncü bir üyeye ekleyerek yeni parametre vektörleri üretir. Elde edilen vektör önceden

belirlenmiş bir popülasyon üyesinden daha uygun bir amaç fonksiyon değeri verirse, yeni oluşturulan vektör, karşılaştırıldığı vektörün yerini almaktadır. Buna ek olarak optimizasyon işlemi sırasında yapılan ilerlemeyi izlemek için her nesil için en iyi parametre vektörü de değerlendirilmektedir. Diferansiyel gelişim algoritmasını oluşturan adımlar kısaca aşağıda tarif edilmiştir.

3.1 Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

DGA, tüm evrimsel optimizasyon algoritmalarında olduğu gibi optimizasyon problemi için tek bir çözüm ile değil bir dizi çözümle çalışan bir paralel doğrudan arama yöntemidir. Başlangıç çözüm kümesini oluşturan başlangıç popülasyonu sayısı algoritmanın başında kararlaştırılan bir değişkendir ve jenerasyonlar boyunca sabit olarak kalmaktadır. DGA aday çözümler olan NP sayıdaki D boyutlu parametre vektörlerini evrensel optimum noktasına doğru G sayıdaki jenerasyon ile geliştirmeye çalışmaktadır.

$$X_{i,G} = \{x_{i,G}^1, \dots, x_{i,G}^D\}, \quad i=1, \dots, NP \quad (3.1)$$

Başlangıç popülasyonu bireyleri, öngörülen minimum ve maksimum parametre sınırları ile sınırlandırılan tekdüze arama alanı içerisinde rasgele seçilerek arama alanını mümkün olduğunca iyi kapsamayı sağlamaktadır.

$$X_{\min} = \{x_{\min}^1, \dots, x_{\min}^D\}, \quad X_{\max} = \{x_{\max}^1, \dots, x_{\max}^D\} \quad (3.2)$$

Örnek olarak i çözüm vektöründeki j parametresinin G=0 jenerasyonundaki başlangıç değeri (3.3) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$x_{i,0}^j = x_{\min}^j + \text{rand}(0,1) \cdot (x_{\max}^j - x_{\min}^j), \quad j=1,2,\dots,D \quad (3.3)$$

rand(0,1) burada [0,1] aralığında uniform dağılımlı rastgele üretilmiş bir sayıdır.

3.2 Mutasyon İşleminin Gerçekleştirilmesi

Parametrelerin optimizasyonu açısından önem arz eden mutasyon işlemi mevcut bir popülasyon vektörünün bir veya daha çok parametresinin üzerinde rastgele bir değişiklik yapılmasını ön görmektedir. DGA iki popülasyon vektörü arasındaki ağırlıklı farkı üçüncü bir vektöre ekleyerek yeni parametre vektörleri üretir. Mevcut popülasyondaki her bir $X_{i,G}^j$ vektörü ile kullanılan mutasyon operatörleri yardımıyla $V_{i,G}=\{v_{i,G}^1, \dots, v_{i,G}^D\}$ mutant vektörü oluşturulur. Bu mutant vektörünün oluşturulması için en sık kullanılan çeşitli mutasyon stratejileri aşağıda verilmiştir.

Rastgele model/1;

$$V_{i,G} = X_{r_1,G} + F \cdot (X_{r_2,G} - X_{r_3,G}) \quad (3.4)$$

En iyi vektör modeli/1;

$$V_{i,G} = X_{\text{best},G} + F \cdot (X_{r_1,G} - X_{r_2,G}) \quad (3.5)$$

Rastgele/en iyi vektör modeli/1;

$$V_{i,G} = X_{i,G} + F \cdot (X_{\text{best},G} - X_{i,G}) + F \cdot (X_{r_1,G} - X_{r_2,G}) \quad (3.6)$$

En iyi vektör modeli/2;

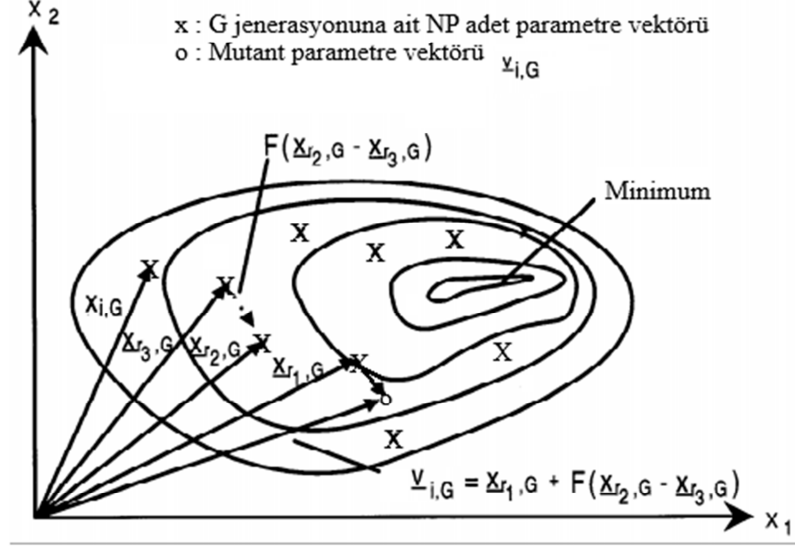
$$V_{i,G} = X_{\text{best},G} + F \cdot (X_{r_1,G} - X_{r_2,G}) + F \cdot (X_{r_3,G} - X_{r_4,G}) \quad (3.7)$$

Rastgele model/2;

$$V_{i,G} = X_{r_1,G} + F \cdot (X_{r_2,G} - X_{r_3,G}) + F \cdot (X_{r_4,G} - X_{r_5,G}) \quad (3.8)$$

Bu mutasyon stratejilerinde $r_1^i, r_2^i, r_3^i, r_4^i, r_5^i$ değerleri her i için farklı olan $[1, NP]$ aralığında rastgele oluşturulmuş tam sayılardır. Bu değerler her mutant vektörü için bir kez üretilir. F fark vektörünü ölçeklendirmek için kullanılan $[0,2]$ aralığında gerçek, pozitif ve sabit bir kontrol parametresidir. Popülasyonun G

jenerasyonundaki en iyi uygunluk değerine sahip vektörü $X_{\text{best},G}$ vektörü olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.1: İki boyutlu bir amaç fonksiyonu örneğinde mutant vektörünün üretilmesi [33].

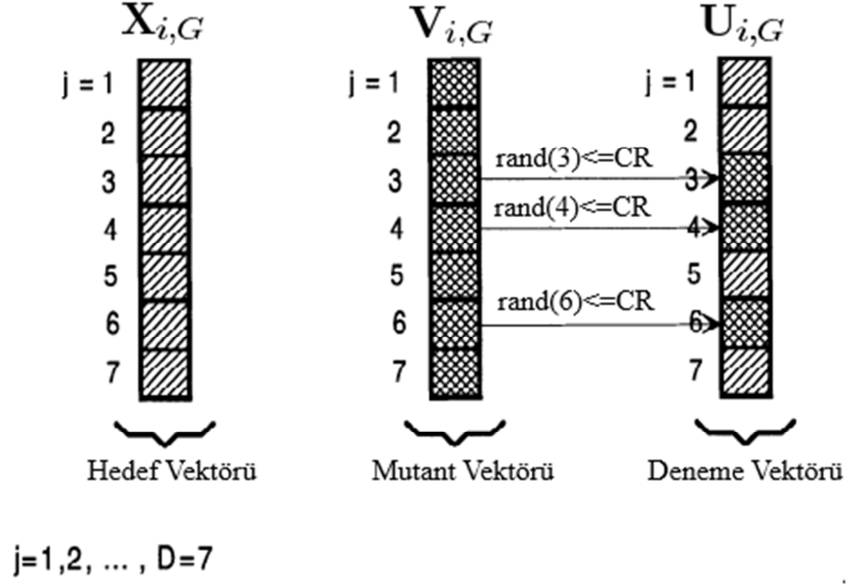
3.3 Çaprazlama İşleminin Gerçekleştirilmesi

Mutasyon işleminin ardından her bir $X_{i,G}$ vektörüne ve oluşturulan ilgili $V_{i,G}$ vektörüne çaprazlama işlemi uygulanarak $U_{i,G} = \{u_{i,G}^1, \dots, u_{i,G}^D\}$ deneme vektörü elde edilir. DGA'nın uyguladığı iki terimli çaprazlama işlemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$u_{i,G}^j = \begin{cases} v_{i,G}^j, & \text{rand}_j(0,1) \leq CR \text{ ise} \\ x_{i,G}^j, & \text{rand}_j(0,1) > CR \text{ ise} \end{cases}, \quad j=1,2,\dots,D \quad (3.9)$$

Çaprazlama işleminin gerçekleştirildiği (3.9) eşitliğinde CR kullanıcı tarafından belirlenen $[0,1]$ aralığında mutant vektöründen kopyalanan parametre değerlerinin oranını belirten bir değerdir. İki terimli çaprazlama işlemi eğer

$\text{rand}_j(0,1) \leq \text{CR}$ ise $V_{i,G}$ mutant vektöründen j 'inci parametreyi $U_{i,G}$ deneme vektörünün ilgili elemanına kopyalamaktadır. Aksi durumda ise $X_{i,G}$ vektöründeki ilgili elemanı deneme vektörünün ilgili elemanına kopyalamaktadır.



Şekil 3.2: $D=7$ parametrelili bir modelde mutasyon işlemi örneği [33].

3.4 Seleksiyon İşleminin Gerçekleştirilmesi

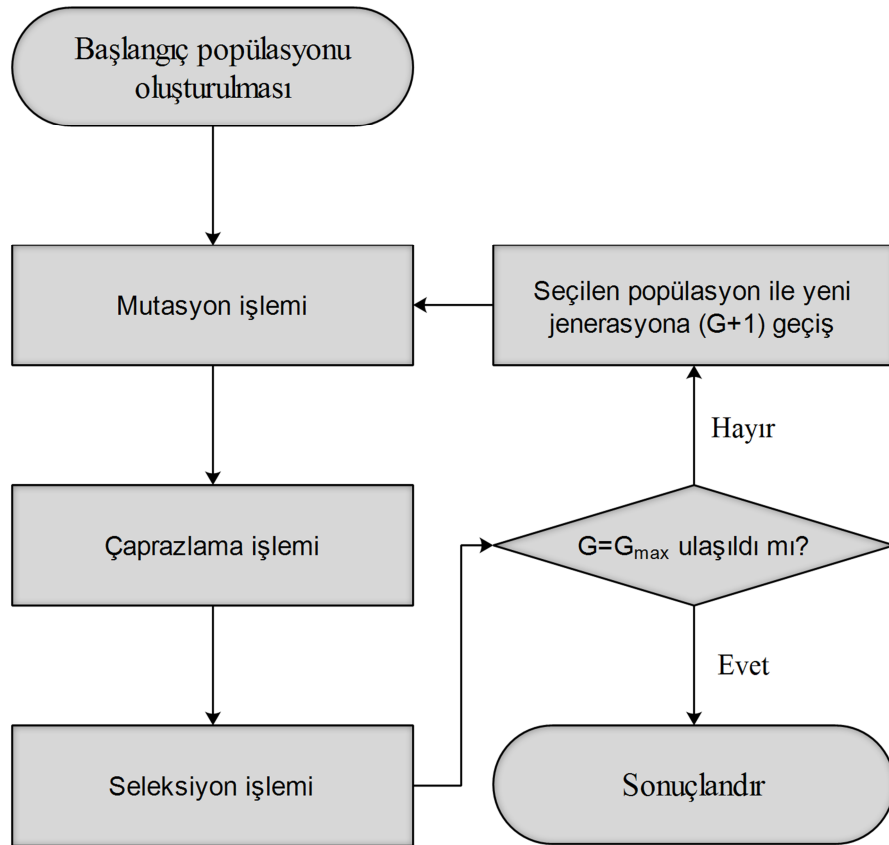
Eğer yeni üretilen deneme vektöründeki parametrelerden başlangıçta belirlenen alt ve üst limitler dışında kalanlar var ise bu parametre değerleri belirlenen limitler dahilinde kalacak şekilde tekrar tanımlanır. Sonrasında tüm deneme vektörleri için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanarak uygunluk değerleri belirlenir. Hesaplanan bu uygunluk değerlerine göre seleksiyon işlemi uygulanır.

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G}, & f(U_{i,G}) \leq f(X_{i,G}) \text{ ise} \\ X_{i,G}, & f(U_{i,G}) > f(X_{i,G}) \text{ ise} \end{cases} \quad (3.10)$$

Mevcut popülasyondaki her deneme vektörünün uygunluk değeri olan $f(U_{i,G})$ ilgili hedef vektörünün uygunluk değeri olan $f(X_{i,G})$ ile karşılaştırılır. Deneme vektörü, ilgili hedef vektöründen daha az veya eşit bir amaç fonksiyonu değerine yani uygunluk değerine sahipse deneme vektörü hedef vektörün yerini alacak ve bir

sonraki jenerasyon için popülasyonda hedef vektörünün yerini alacaktır. Aksi durumda hedef vektörü bir sonraki jenerasyonda popülasyondaki yerini koruyacaktır.

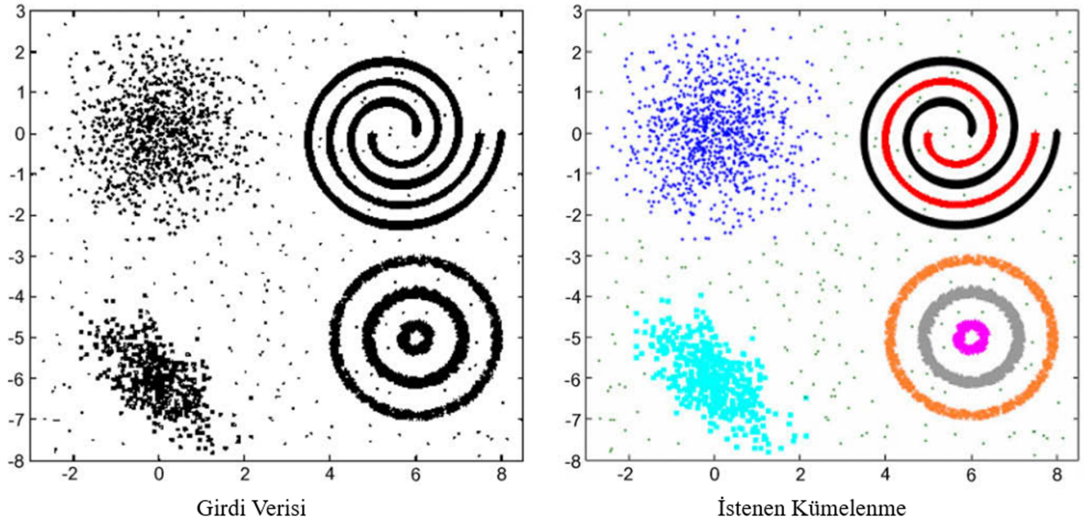
Bahsedilen adımlar jenerasyon başlangıçta belirtilen jenerasyon sayısına ulaşılan kadar $G = G_{\max}$ devam etmektedir. DGA işleyişi Şekil 3.3'deki akış şemasında kısaca gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Diferansiyel gelişim algoritması akış şeması

4. K-ORTALAMALAR VERİ KÜMELEME ALGORİTMASI

Kümeleme analizi olarak da bilinen veri kümelemesinin amacı, bir dizi kalıp, nokta veya nesnenin doğal gruplanmalarını keşfetmektir. Bir popülasyondaki bireylerin, çoklu özelliklerin nicel karşılaştırmalarını yaparak farklı gruplara girip girmediğini keşfetmek için istatistiksel bir sınıflandırma tekniği olarak tanımlanması mümkündür. Amaç, etiketsiz verilerin doğal gruplarını keşfedecek otomatik bir algoritma geliştirmektir.



Şekil 4.1: Kümeleme çeşitliliği örneği [41].

Bir kümeleme örneği Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Veri içindeki farklı renklerle belirtilen yedi küme şekil, boyut ve yoğunluk bakımından farklılık göstermektedir. Bu kümeler bir veri analisti için açık olsa da mevcut kümeleme algoritmalarından hiçbiri bu kümeleri algılayamamaktadır.

Kümelemenin işlevsel bir tanımı şöyle ifade edilebilir: n adet objenin gösterimi göz önüne alındığında, aynı gruptaki nesnelere arasındaki benzerlikler

yüksekken, farklı gruplardaki nesnelere arasındaki benzerlikler düşük olacak şekilde benzerliklerin ölçüsüne dayanan k gruplarının bulunmasıdır. Bu tanım benzerlik kavramı, kümenin tanımı gibi sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Şekil 4.1 kümelerin şekil, boyut ve yoğunluk bakımından büyük farklılık gösterebileceğini göstermektedir. Verilerde gürültü varlığı söz konusu ise kümelerin algılanmasını daha da zorlaştırmaktadır. İdeal bir küme, kompakt ve izole edilmiş bir dizi nokta olarak tanımlanabilir. Gerçekte kümeleme, seyircinin gözünde olan, önemi ve yorumu alanında bilgi gerektiren öznel bir varlıktır. İnsanlar kümelemeyi iki ve muhtemelen üç boyutta mükemmel olarak bulabilen canlılar olsa da, yüksek boyutlu veriler için otomatik kümeleme algoritmalarına ihtiyacımız bulunmaktadır. Mevcut veriler için bilinmeyen sayıda kümenin bulunmasının yanı sıra, yayınlanan ve görülmeye devam eden onlarca kümeleme algoritmasına neden olan sorun temel olarak budur.

Kümeleme analizi çok değişkenli verilerin analizini içeren her bir alanda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Görüntü bölümlenme problemlerinde [42], trafik ağının sınıflandırılmasında [43], yazılı dökümanların sınıflandırılmasında [44], karayolu trafik akımlarının modellenmesinde [45], seyahat süresi tahmini için dedektörlerin optimum konfigürasyonunda [46], üstyapı tasarımı için trafik verilerinin belirlenmesinde [47], yolcu segmentasyonu ile trafik yönetiminde [48] ve daha birçok çalışmada kümeleme analizleri etkin bir şekilde kullanılmıştır.

Veri kümeleme analizlerinin genel olarak aşağıdaki üç başlık çevresinde şekillendiği gözlenmiştir [41].

- Temel yapı; verilere dair fikir edinmek, hipotez oluşturmak, anormallikleri tespit etmek ve göze çarpan özellikleri belirlemek,
- Doğal sınıflandırma; formlar veya organizmalar arasındaki benzerlik derecesini tanımlamak için (filogenetik ilişki),
- Sıkıştırma; verilerin düzenlenmesi ve küme prototipleri aracılığıyla özetlenmesi için bir yöntem olarak.

Kümeleme metodolojisinin gelişimi disiplinler arası bir çaba olmuştur. Taksonomistler, sosyal bilimciler, psikologlar, biyologlar, istatistikçiler, matematikçiler, mühendisler, bilgisayar bilimcileri, tıbbi araştırmacılar ile gerçek verileri toplayan ve işleyen diğer kişiler kümeleme metodolojisine katkıda

bulunmuştur. Veri kümeleme ilk olarak antropolojik verilerle ilgili 1954 tarihli bir makalenin başlığında ortaya çıkmıştır ve uygulandığı alana bağlı olarak Q-analizi, tipoloji, topaklanma ve taksonomi olarak da bilinir [49]. Veri kümelemesi hakkında yayınlanmış klasik birkaç kitap bulunmaktadır [49–51]. Veri kümeleme algoritmaları ve veri madenciliği konularında da sıklıkla çalışılmıştır [52–54].

Kümeleme algoritmaları geniş kapsamda sıradüzensel ve paylaştırmalı olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Sıradüzensel kümeleme algoritmaları, yuvalanmış kümeleri toplayıcı modda (kendi kümesindeki her veri noktasından başlayarak ve bir küme hiyerarşisi oluşturmak için en benzer kümeleri birbiri ardına birleştirerek) veya bölücü modda (bir kümedeki tüm veri noktalarından başlayıp her kümeyi daha küçük kümelere yinelemeli olarak bölerek) bulur. Sıradüzensel kümeleme algoritmaları ile karşılaştırıldığında paylaştırmalı kümeleme algoritmaları tüm kümeleri aynı anda verilerin bir parçası olarak bulur ve aşamalı bir yapı izlememektedir. Sıradüzensel bir algoritmaya girdi, $n \times n$ benzerlik matrisidir, burada n kümelenecek nesne sayısıdır. Diğer bir yandan paylaştırmalı bir algoritma, n nesnenin bir d -boyutlu öznitelik alanına gömülü olduğu $n \times d$ model matrisini ya da bir $n \times n$ benzerlik matrisini kullanabilir. Benzerlik matrisinin model matrisinden kolayca türetilebileceğini, ancak bir benzerlik matrisinden model matrisi elde etmek için çok boyutlu ölçekleme gibi yöntemlere ihtiyaç olduğunu unutmamak gereklidir[41].

En iyi bilinen sıradüzensel algoritmalar tek-bağ ve tam-bağ; en popüler ve en basit paylaştırmalı algoritma ise k -ortalamlar algoritmasıdır. Paylaştırmalı algoritmalar mevcut verilerin doğası gereği model tanımada tercih edildiğinden bu algoritma üzerine odaklanılmıştır. Farklı bilim dallarında bağımsız olarak keşfedilen k -ortalamlar, zengin bir tarihe sahiptir [55–58]. K -ortalamlar ilk kez 50 yıl önce önerilmiş olsa bile hala kümeleme için en yaygın kullanılan algoritmalarından biridir. Kolaylığı, basitliliği, verimliliği ve ampirik başarısı popüleritesinin başlıca nedenidir.

4.1 K -ortalamlar Algoritması

n adet d boyutlu noktanın $X=\{x_1, \dots, x_n\}$ kümelendiği K adet küme $C=\{c_1, \dots, c_K\}$ olsun. K -ortalamlar algoritması bir kümenin ampirik ortalaması ile o

kümedeki noktalar arasındaki kriterin asgariye indirileceği bir ayırım bulur. En sık kullanılan kümeleme kriteri, c_k kümesindeki her bir x_i noktası ile c_k kümesindeki tüm noktaların ortalaması olan m_k (ağırlık merkezi) arasındaki öklid uzaklıkların kareleri toplamıdır. m_k ve c_k kümesine ait her bir x_i noktası arasındaki c_k kümesine ait olan bu karesel hata aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$E_{c_k} = \sum_{x_i \in c_k} \|x_i - m_k\|^2 \quad (4.1)$$

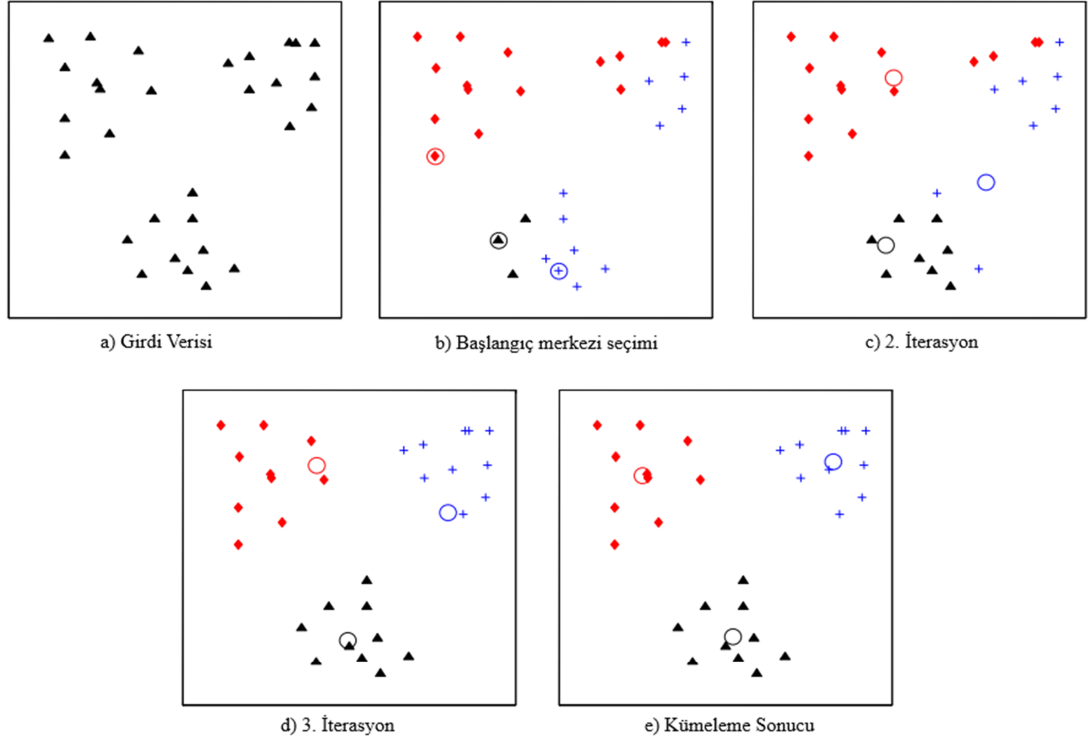
k-ortalamlar'nın amacı tüm K adet kümenin toplam karesel hatalarını minimize etmek olduğundan ifade aşağıdaki gibi düzenlenebilir;

$$E_C = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in c_k} \|x_i - m_k\|^2 \quad (4.2)$$

Bu amaç fonksiyonun minimize edilmesi $K = 2$ için bile oldukça zor bir problemdir. Bu nedenle açgözlü bir algoritma olan k-ortalamlar yerel bir asgari seviyeye kadar yakınsayabilir olsa da son çalışmalar kümeler iyi ayrılmış olduğunda büyük bir olasılıkla global optimuma yakınsayabileceğini göstermiştir [59]. K-ortalamlar K adet küme bulunan bir başlangıç bölümüyle başlar ve karesel hatayı azaltmak için kümelere farklı dağılımlar atar. Artan K küme sayısı ile karesel hataların miktarı azalacağından sadece belirli bir küme sayısına kadar ($K = n$ olduğunda $E_C = 0$ olur) minimize edilebilmektedir. K-ortalamlar algoritmasının ana adımları aşağıdaki gibidir [49];

- 1-) K adet küme ile bir başlangıç bölümlenmesi yapılır ve noktaların K adet kümeye dağılımları dengeye ulaşana kadar 2. ve 3. Adımlar devam eder.
- 2-) Her noktayı en yakın küme merkezine atayarak yeni bir bölümlenme oluşturulur.
- 3-) Her kümenin merkezi hesaplanır.

Şekil 4.2'de üç kümeli ve 2 boyutlu bir veri kümesinde bir k-ortalamlar algoritması örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.2: İki boyutlu bir veri kümesinde k-ortalamlar algoritmasının işleyişinin gösterimi [41].

İki boyutlu ve üç kümeli veri girdisi (a)'da gösterilmektedir. (b) küme merkezleri olarak seçilen üç başlangıç noktası ve tüm noktalarının bu kümelere ilk atanması göstermektedir. (c) ve (d)'de küme merkezlerini ve bu kümelerdeki noktaları güncelleyen ara iterasyonlar gösterilmiştir. K-ortalamlar algoritması ile elde edilen nihai kümeleme (e)'de gösterilmiştir.

4.2 K-ortalamlar Algoritması Değişkenleri

K-ortalamlar algoritması kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken üç adet değişken içermektedir. Bunlar küme adedi K , başlangıç kümesi ve mesafe kriteridir. En kritik değişken küme adedi K olmaktadır. Genellikle, k-ortalamlar farklı K değerleri için bağımsız olarak çalışır ve uzmanının en anlamlı olduğu kümeleme seçilir. Farklı başlangıçlar farklı son kümelemeye neden olabilir. Çünkü k-ortalamlar yalnızca yerel minimuma yakınsamaktadır. Yerel minimumdan

kurtulmanın bir yolu belirli bir K küme sayısı için birden fazla farklı başlangıç kümesi içeren k -ortalamalar algoritmasını çalıştırmak ve en küçük kare hata ile sonuçlanan kümelemeyi seçmektir.

K -ortalamalar tipik olarak noktalar ve küme merkezleri arasındaki mesafeyi hesaplamak için öklid uzaklık ile birlikte kullanılır. Sonuç olarak k -ortalamalar veride küresel veya top şeklinde kümeler bulur. Hiperellipsoidal kümelemeyi tespit etmek için Mahalanobis uzaklık kullanan k -ortalamalar algoritması kullanılmıştır ancak bu çok yüksek hesaplama yükü getirmiştir [60].

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde çalışma bölgesi olan Balıkesir ili hakkında bilgiler, kullanılan veriler ile ilgili detaylar ve uygulanan işlemler ile elde edilen bulgular ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

5.1 Balıkesir İli ve Ulaşımı

Balıkesir ili M.Ö. 8000-3000 yıllarına kadar uzanan zengin bir tarihe sahip coğrafyada yer almaktadır. Bölgede adı geçen ilk şehir Agiros (Achiraus)'dur. Anadolu Selçuklu Devleti'nin yıkılmasından sonra Karesi Beyliği bu bölgede kurulmuştur. Daha sonra Karesi Beyliği Osmanlı Devleti'nin eline geçmiştir. 30 Haziran 1920 tarihinde şehir Yunan işgaline girmiş, 6 Eylül 1922 tarihinde ise işgalden kurtulmuştur. 1923 yılında bütün sancakların il olmasıyla Karesi ili kurulmuştur. 1926 yılında kurulan bu ilin adı da Balıkesir olmuştur.



Şekil 5.1: Geçmişte Balıkesir ili.

Balıkesir ilinin adının, Bizans İmparatoru Hadrianus'un düzenlediği av ve gezi partilerinde kullanmak üzere yaptırdığı Paleo Kastro (Eski Hisar) kelimesinden türediği düşünülmektedir. Bir diğer söylentiye göre ise bu bölgelerin balı çok olduğundan yani kesir olduğundan bu şehre balı çok anlamına gelen balı-kesir denilmiştir.

Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara Bölümü'nde bulunan şehrin topraklarının bir kısmı ise Ege Bölgesi'nde yer almaktadır. Hem Marmara hem de Ege Denizi'ne kıyısı bulunmakta olan Balıkesir Türkiye'nin en kalabalık on yedinci şehridir. Yüz ölçümü 14583 m² olan Balıkesir ilinin 2016 TÜİK verilerine göre nüfusu 1196176 kişidir. İlde km²'ye 82 kişi düşmektedir.

Balıkesir ili 2014 yılında büyükşehir olmuştur. Balıkesir ili toplam 20 ilçeden oluşmaktadır. Bu ilçeler; Altıeylül ve Karesi, (toplam 1466 km²), Savaştepe (425 km²), Bigadiç (1007 km²), Gönen (1118 km²), Dursunbey (1906 km²), Sındırgı (1433 km²), Kepsut (894 km²), Susurluk (601 km²), Erdek (260 km²), Manyas (589 km²), Balya (952 km²), Bandırma (599 km²), İvrindi (751 km²), Edremit (708 km²), Burhaniye (426 km²), Gömeç (181 km²), Havran (559 km²), Ayvalık (266 km²) ve son olarak Marmara (117 km²) ilçeleridir.



Şekil 5.2: Balıkesir ilinin konumu ve ilçeleri.

Şehir merkezindeki iki ilçe olan Karesi ve Altıeylül ilçelerinin toplam nüfusu 2016 TÜİK verilerine göre 351394 kişidir. 254 kişi/km² ile Karesi yoğunluğun en fazla olduğu ilçedir.

Balıkesir ili, İstanbul-İzmir ana ulaşım arterinde bulunması nedeniyle transit ulaşım merkezi konumundadır. Yapımı devam eden İstanbul-İzmir Otoyol Projesi ve yine yapımı planlanan Balıkesir Hızlı Tren hattı ile ilin ulaşım altyapısı oldukça güçlenecektir. Balıkesir ilinin karayolları türü ve uzunlukları Tablo 5.1’de sunulmuştur.

Tablo 5.1: Karayollarının Türü ve Uzunlukları (km).

Bölge	Devlet Yolu	İl Yolu	Otoyol	Bölünmüş Yol	Toplam
Balıkesir	637	590	0	534,2	1227
Türkiye	31106	33513	2155	23831	66774

Akıllı kart uygulamaları Balıkesir ilinde 2006 yılında Şekil 5.3’de gösterilen elektronik kart uygulaması Balkart’ın kullanılmaya başlanması ile başlamıştır. Fakat akıllı kart kullanımının getirdiği avantajların çoğundan yararlanılamamış, kullanımı sadece ücret takibi ile sınırlı kalmıştır.



Şekil 5.3: Balkart elektronik bilet örneği.

Temmuz 2014’de Türkiye genelinde 55 il ve ilçede hizmet veren yüklenici firma Asis Elektronik ve Bilişim Sistemleri A.Ş. ile Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama ve Raylı Sistemler Daire Başkanlığı arasında Balıkesir’de yeni nesil bir akıllı kart uygulaması için anlaşılmıştır. Kasım 2014 yılından bu yana Asis Elektronik A.Ş. tarafından sağlanan AkıllıBilet isimli akıllı kart uygulamasına tümüyle geçiş gerçekleşmiştir.



Şekil 5.4: Balıkesir ilinde kullanılan akıllı kart örnekleri.

Balıkesir kent içi toplu ulaşımının tamamı lastik tekerlekli araçlar ile sağlanmaktadır. 2016 yılının sonu itibari ile Balıkesir il genelinde 659 Toplu Taşıma aracının tamamında akıllı kart uygulaması bulunmaktadır.

Tablo 5.2: Türlerine göre Balıkesir ilindeki toplu taşıma araçları [61].

Sınıf	Adet
8 metre ve üzeri (Otobüs Sınıfı)	318
5-7 metre arası (Minibüs Sınıfı)	215
3-5 metre arası (Otomobil Sınıfı)	126

5.2 Seyahat Davranışlarının İncelenmesi

Çalışmanın ilk kısmında Balıkesir ili kent merkezine ait kullanıcıların seyahat davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için 22 kent içi halk otobüsü hattındaki akıllı kart biniş verileri kullanılmıştır. Her kullanıcının toplu taşıma aracına binişi sırasında validatöre akıllı kartını okutması ile onayı alan validatörün numarası, araç plakası, toplu taşıma hattı, okutulan akıllı kartın kriptolu ID numarası, kart tipi, işlem tarihi ve saati kayıt altına alınıp sunucularla paylaşılmaktadır.

Tablo 5.3: Akıllı kart validator kayıt verisi örneği.

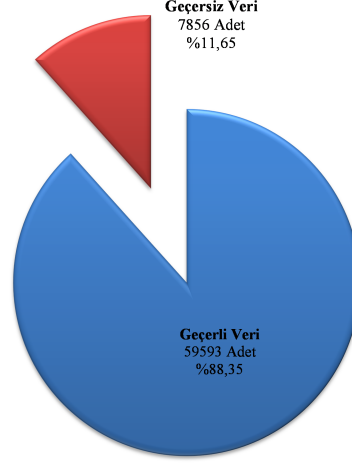
Val. No	Plaka	Tarih	Saat	Hat No	Mifare Id	Kart Tipi
459	10HT846	14.11.2016	07:05:14	B4	B53DA238000000	2
444	10BF549	14.11.2016	07:05:15	D1A	E9F56F2F000000	1
422	10BF576	14.11.2016	07:05:26	B4A	B44A2359000000	1
458	10BF507	14.11.2016	07:05:48	B6	4179BECD000000	1
436	10FE730	14.11.2016	07:05:50	B1	1	
462	10BF802	14.11.2016	07:05:52	B2	A4BF394A000000	1
455	10BF561	14.11.2016	07:05:52	B3	E53AF718000000	2

14.11.2016 ve 20.11.2016 tarihleri arasında 22473 eşsiz kullanıcı tarafından gerçekleşen 67449 biniş verisi bu çalışmanın bu kısmında seyahat davranışlarının analizi için kullanılmıştır.

Veriler ilk olarak işlenebilecek anlamlı ve düzenli sütun ve satırlara MATLAB programı ile ayrılarak EXCEL formatında Tablo 5.3'deki gibi düzenlenmiştir.

Biniş verileri, hatalı kart okutulması işlemi, sunucu ile iletişim hataları, validatör veya akıllı kart hataları nedeniyle Tablo 5.3'de de görülen 436 nolu

valitörün kaydetmiş olduğu gibi bozuk veriler de kaydedebilmektedir. Tüm veriler incelendiğinde verilerin hata durumları Şekil 5.5’de verilmiştir.



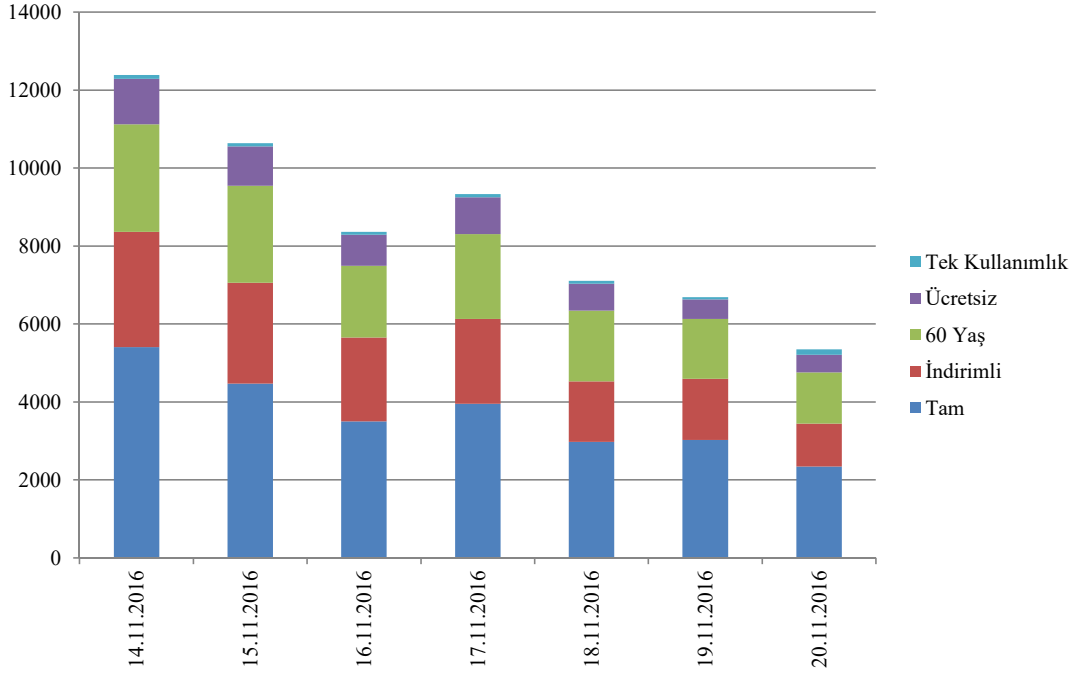
Şekil 5.5: Akıllı kart verilerinin hatalı kayıt oranları.

Bu verilerin düzenlenmesi ile kullanıcıların seyahat davranışları günlük ve saatlik olarak incelenmiştir. Balıkesir ilinde Tablo 5.4’de verilen toplam beş farklı sınıf ve ücretlendirme politikalarına sahip kart tipi bulunmaktadır.

Tablo 5.4: Kart tipine ve günlere göre toplam biniş sayıları.

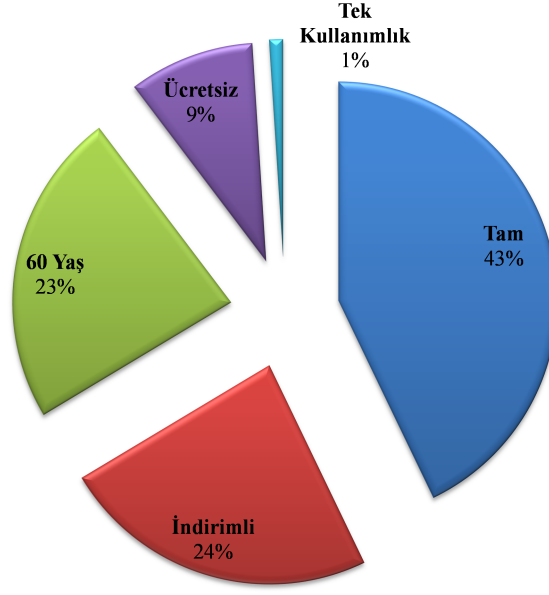
Kart Tipi	Tam	İndirimli	60 Yaş	Ücretsiz	Tek Kullanımlık
Pazartesi	5402	2959	2766	1155	98
Salı	4469	2583	2487	1016	81
Çarşamba	3495	2155	1839	803	72
Perşembe	3956	2177	2169	949	82
Cuma	2972	1553	1821	689	73
Cumartesi	3018	1569	1541	501	60
Pazar	2342	1104	1309	457	141
Toplam	25654	14100	13932	5570	607

Seyahat davranışlarının günlük ve saatlik değişiminin kullanıcı tipine göre değişiminin gözlenmesi amaçlanmaktadır [62]. Toplu taşıma kullanımının kart sınıflarına göre günlük dağılımı Şekil 5.6’da verilmiştir.



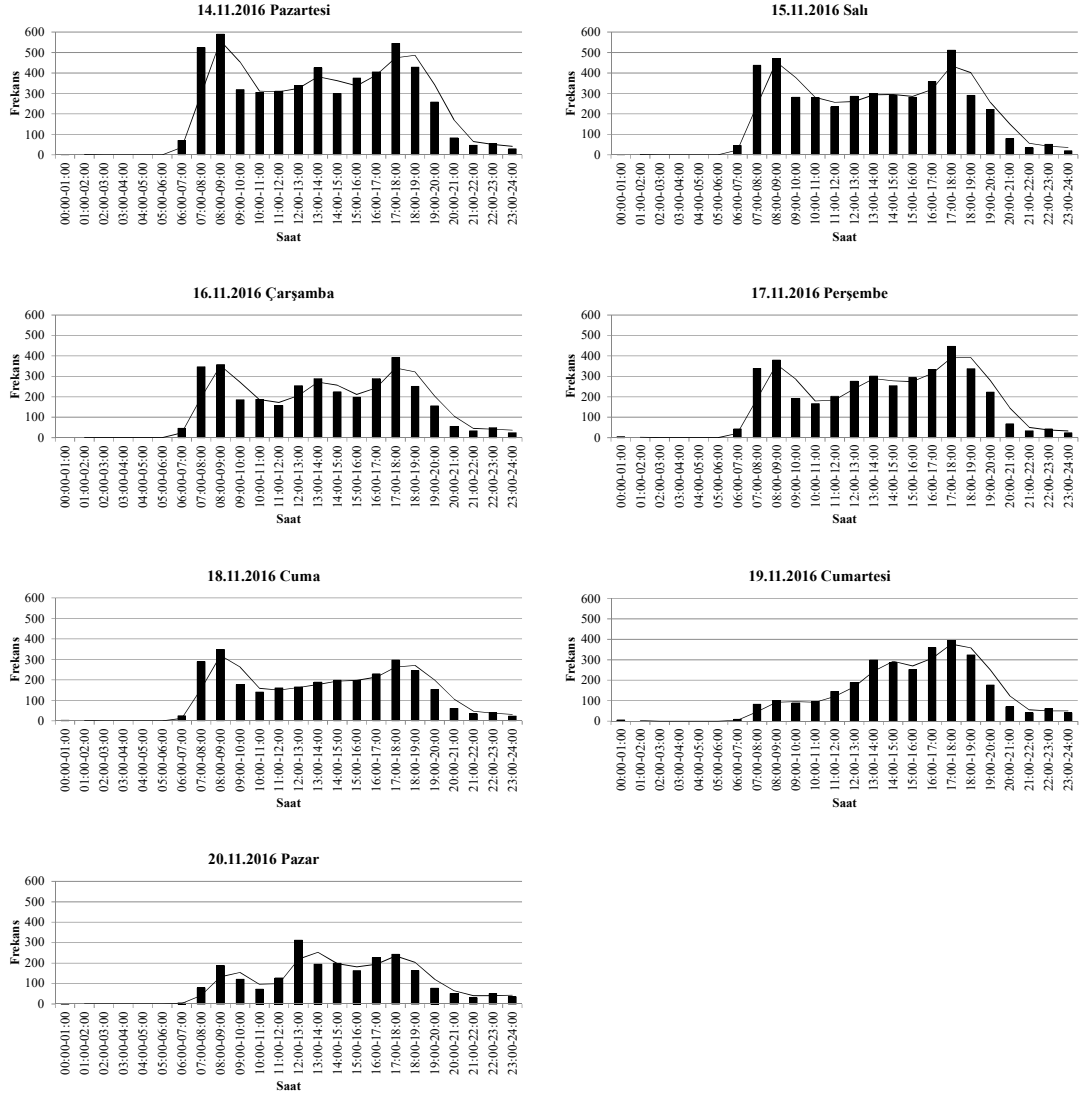
Şekil 5.6: Kart tipine göre günlük biniş dağılımı.

Tüm hafta boyunca gerçekleşen binişlerin kart tiplerine göre oranı ise Şekil 5.7’de verilmiştir.

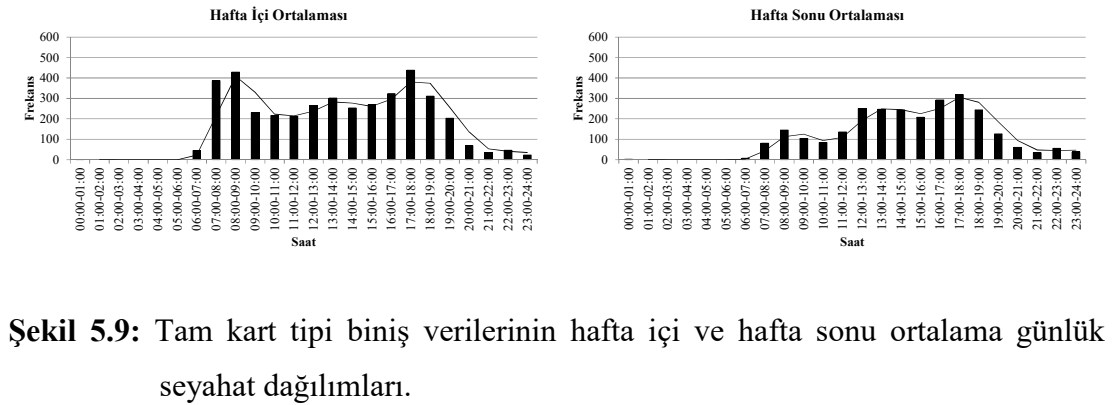


Şekil 5.7: Kart tipine göre toplam biniş dağılımı.

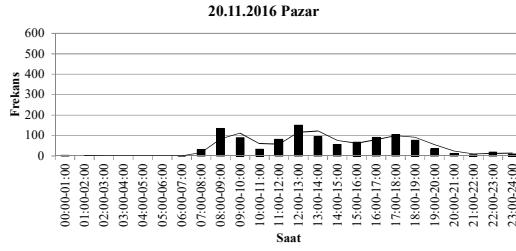
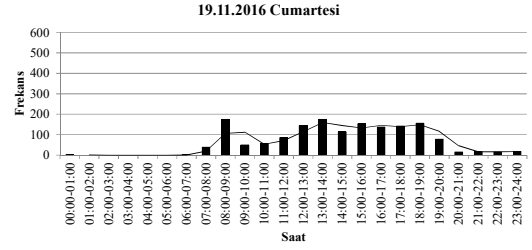
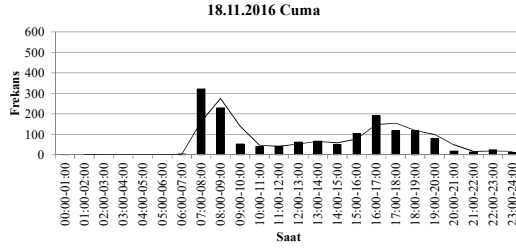
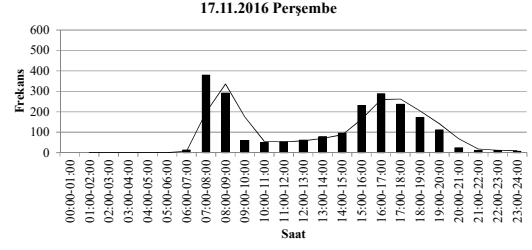
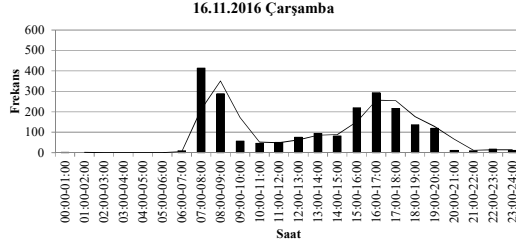
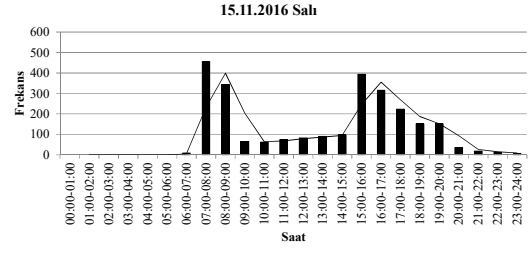
Verilerin ait olduğu süreler boyunca tüm kart tipleri için biniş verilerinin farklı günlere göre gün içerisindeki dağılımı oluşturulup incelendiğinde aşağıdaki verilen çıktılar oluşturulmuştur. Tüm bu çıktıların yorumlanması sonuçlar bölümüne bırakılmıştır.



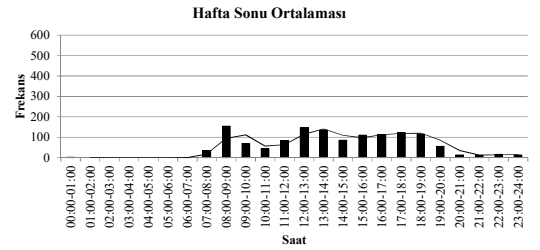
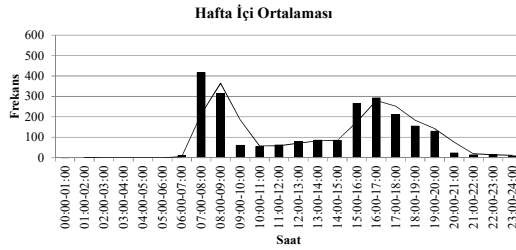
Şekil 5.8: Tam kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.



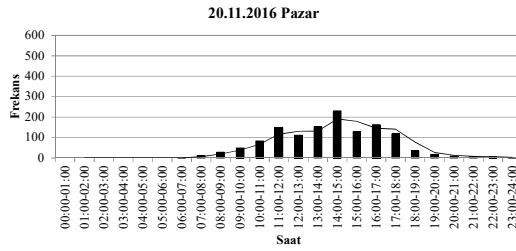
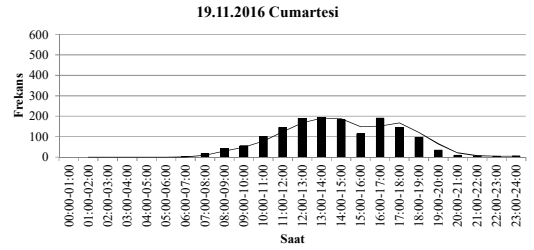
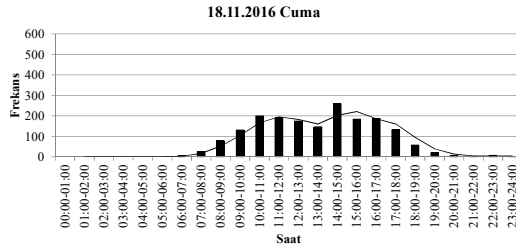
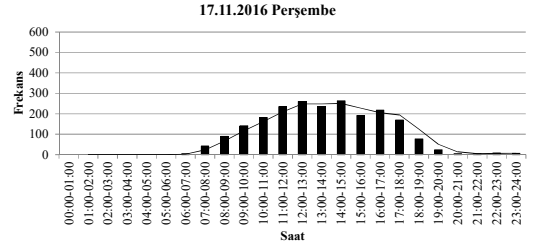
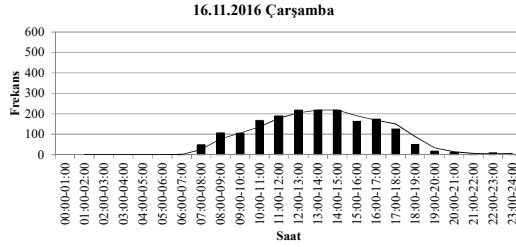
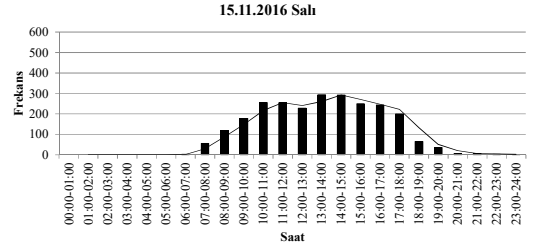
Şekil 5.9: Tam kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.



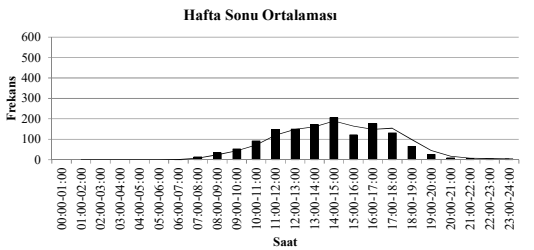
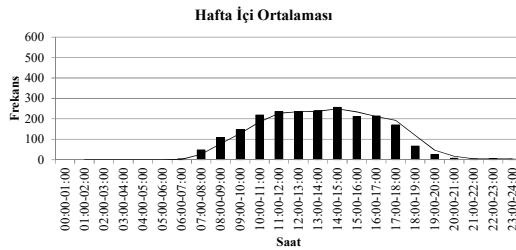
Şekil 5.10: İndirimli kart tipi biniş verilerinin gün içi seyahat dağılımları.



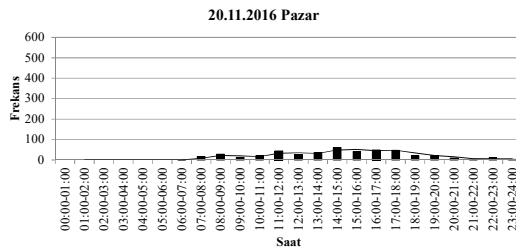
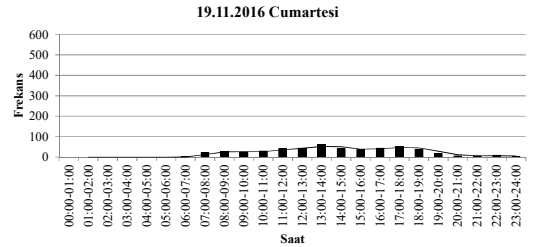
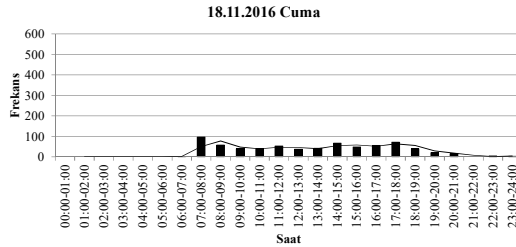
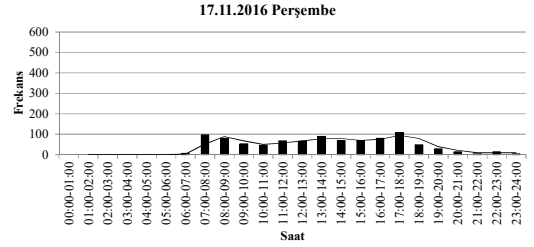
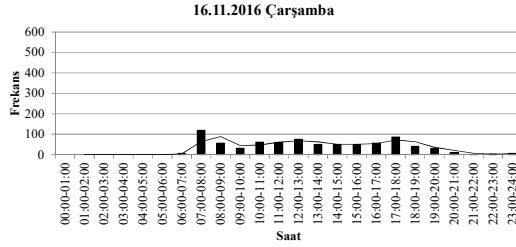
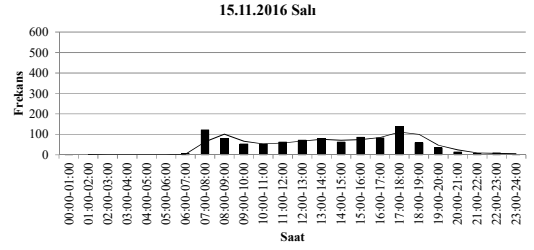
Şekil 5.11: İndirimli kart tipi biniş verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.



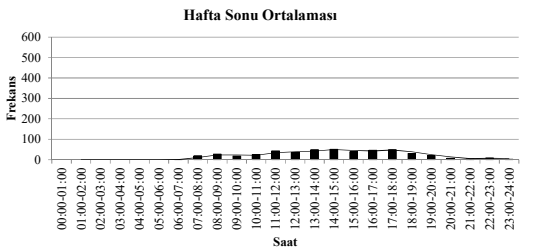
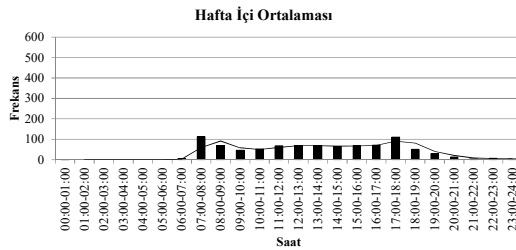
Şekil 5.12: 60 yaş kart tipi biniş verilerinin gün içi seyahat dağılımları.



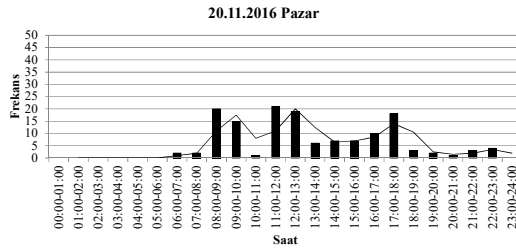
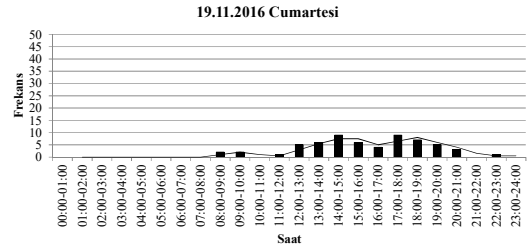
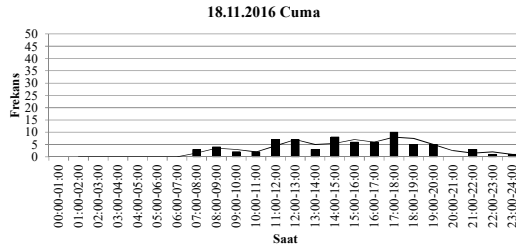
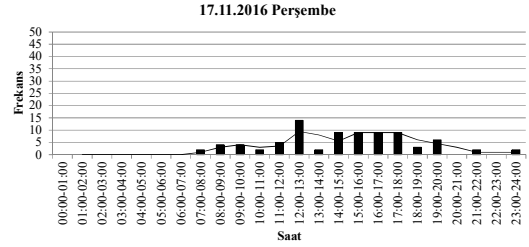
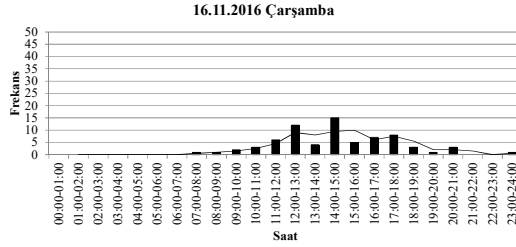
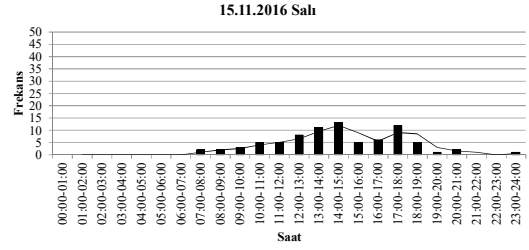
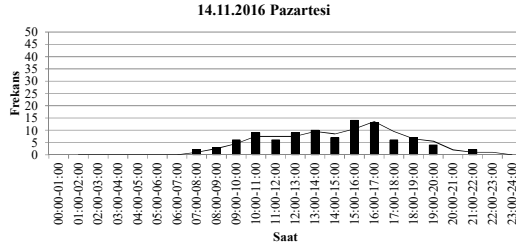
Şekil 5.13: 60 yaş kart tipi biniş verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.



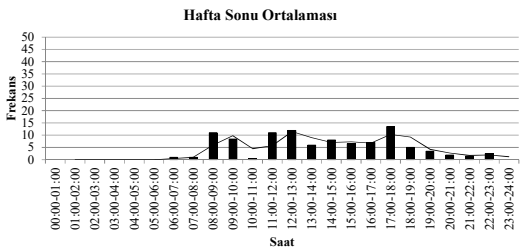
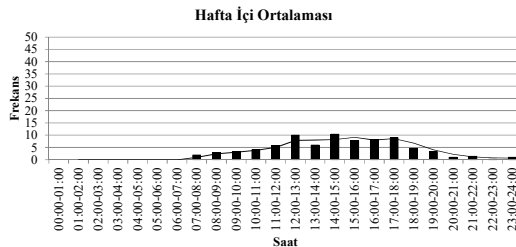
Şekil 5.14: Ücretsiz kart tipi biniş verilerinin gün içi seyahat dağılımları.



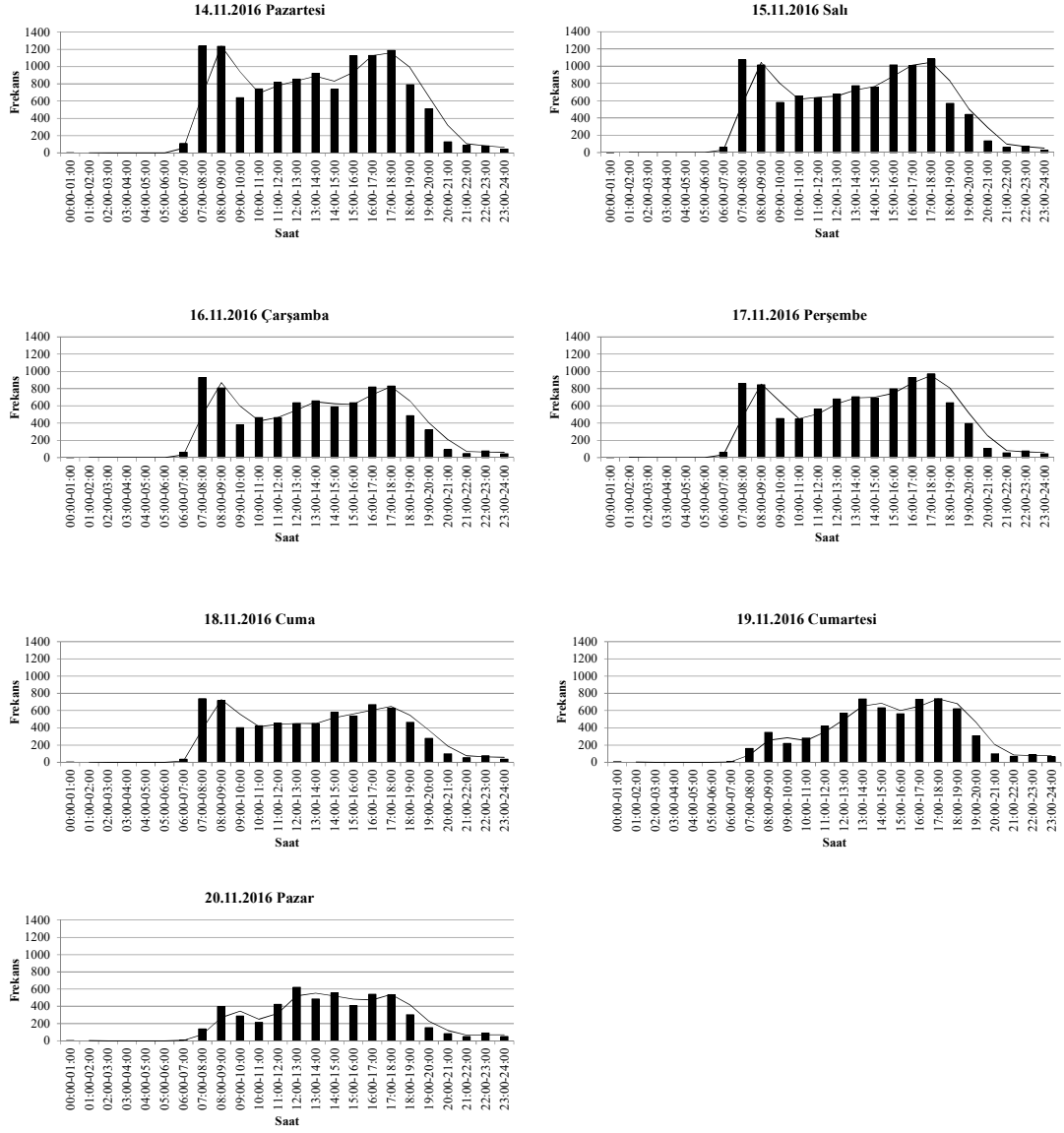
Şekil 5.15: Ücretsiz kart tipi biniş verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.



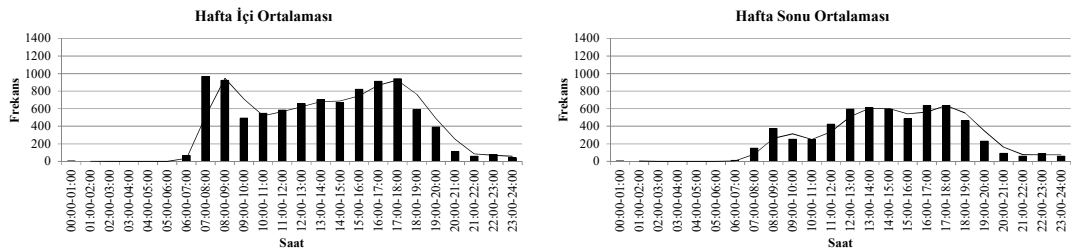
Şekil 5.16: Tek kullanımlık kart tipi binış verilerinin gün içi seyahat dağılımları.



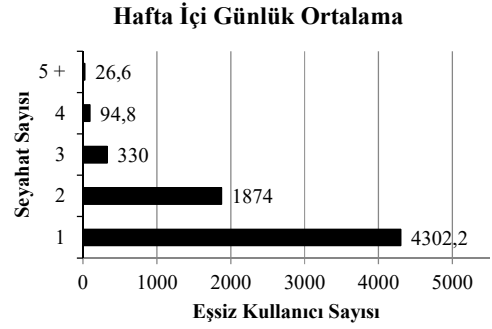
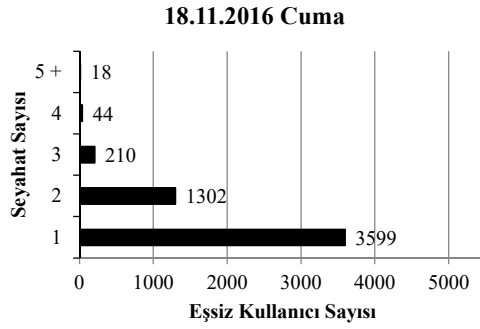
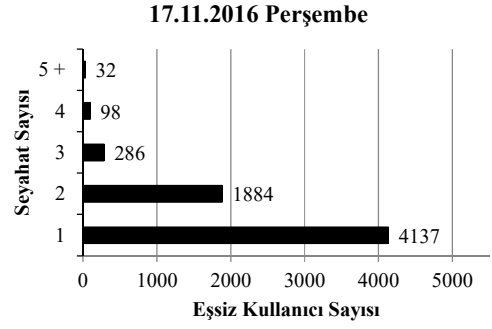
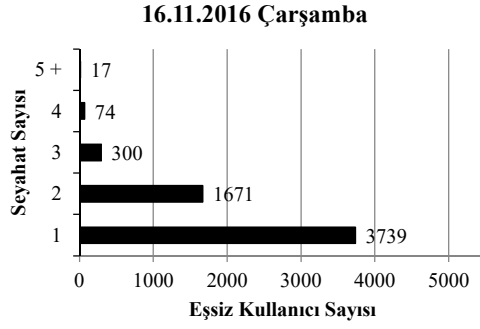
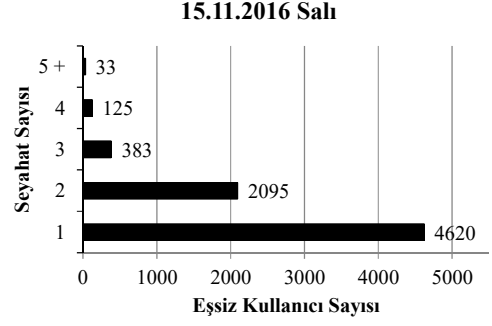
Şekil 5.17: Tek kullanımlık kart tipi binış verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.



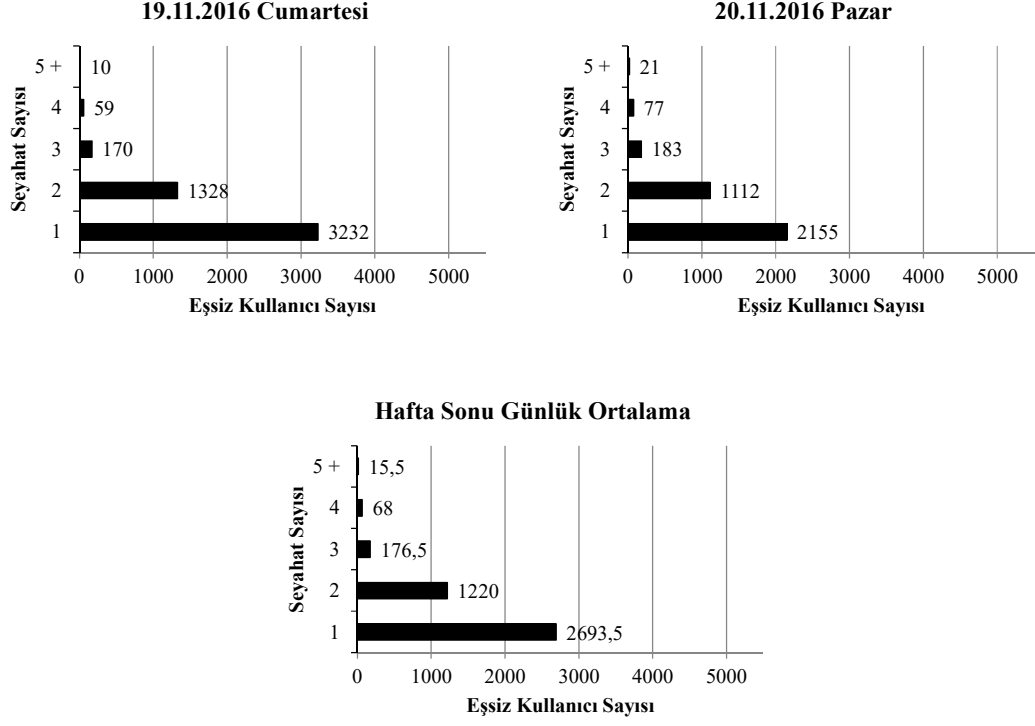
Şekil 5.18: Tüm biniş verilerinin gün içi seyahat dağılımları.



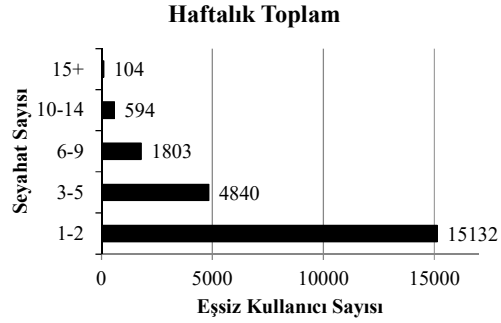
Şekil 5.19: Tüm biniş verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımları.



Şekil 5.20: Hafta içi günlük seyahat frekansları.



Şekil 5.21: Hafta sonu günlük seyahat frekansları.



Şekil 5.22: Hafta boyunca görülen seyahat frekansı.

5.3 Toplu Ulaşım Talep Tahmini Modeli

Geniş bir yelpazedeki faktörler incelendiğinde, toplu ulaşımın belirli ve belirsiz olan birçok değişkenden farklı oranlarda etkilendiği görülmektedir. Toplu ulaşım talebini etkileyen genel anlamda en temel faktörler ulaşım ücretleri, hizmet kalitesi, gelir ve araç sahipliği olarak göze çarpmaktadır [63]. Fakat bununla birlikte pratikte tüm bu faktörlerin birbirlerinden ayrı olarak veya toplu taşıma talebi üzerindeki doğrudan ve dolaylı diğer birçok etkiden tecrit edilerek ele alınması çok mümkün olamamaktadır [64].

Genel olarak gelir ve araç sahipliği, doğrudan işletmecilerin kontrolü altında olan ücretler, hizmet kalitesi, yolculuk süreleri ve araç kalitesi gibi toplu taşıma özellikleriyle karşılaştırıldığında biraz daha arka plan faktörleri olarak kabul edilmiştir. Gelir ve araç sahibi olma ile toplu taşıma talebi arasındaki ilişkiler sıklıkla incelenmiştir. Bu üç faktör arasındaki tam ilişkiye rağmen gelir ve araç sahipliği arasındaki ilişki ve korelasyonun toplu ulaşım talebi ile ilişkilendirilmesinde zorluklar bulunmaktadır.

Son yıllarda tüm dünyada reel gelir ve araç sahipliği seviyelerinde belirgin artışlar yaşanmıştır. Örneğin, bu dönemde İngiltere'de GSMH % 68 artarken, hane başına düşen otomobil sayısı 0.76'dan 1.11'e yükselmiştir. Bu süre zarfında ise yerel otobüs yolculukları yaklaşık üçte bir oranında düşmüştür. Bu durum otobüs kullanımının, hane başına otomobil sahipliği arttıkça önemli ölçüde düştüğüne dair kanıtlarla tutarlıdır [63].

Ortalama kişi başı gelirin seyahat sayısını ve ortalama süresini artırması beklenmektedir. Muhtemelen oluşan bu ek seyahatler, araç erişiminin seviyesine ve toplu taşımacılığa bağlı olarak artan toplu taşıma seyahatleri ve artan araç seyahatleri arasında bölünecektir. Gelir aynı zamanda araç sahipliğinin önemli bir belirleyicisidir ve bu nedenle araç sahipliği yoluyla toplu taşıma talebinde ikincil ve negatif bir etkisi olması beklenmektedir. Yükselen araç ve ehliyet sahibi sayısı, gelir artışı ve araba sahibi olmanın azalan gerçek maliyeti, son yirmi yılda kişisel seyahat biçimlerini şekillendiren başlıca faktörler olarak tespit edilmiştir.

Bir dizi başka arka plan etki gösterilebilir olmasına rağmen dört önemli ilişki aşağıda özetlenmiştir [63]:

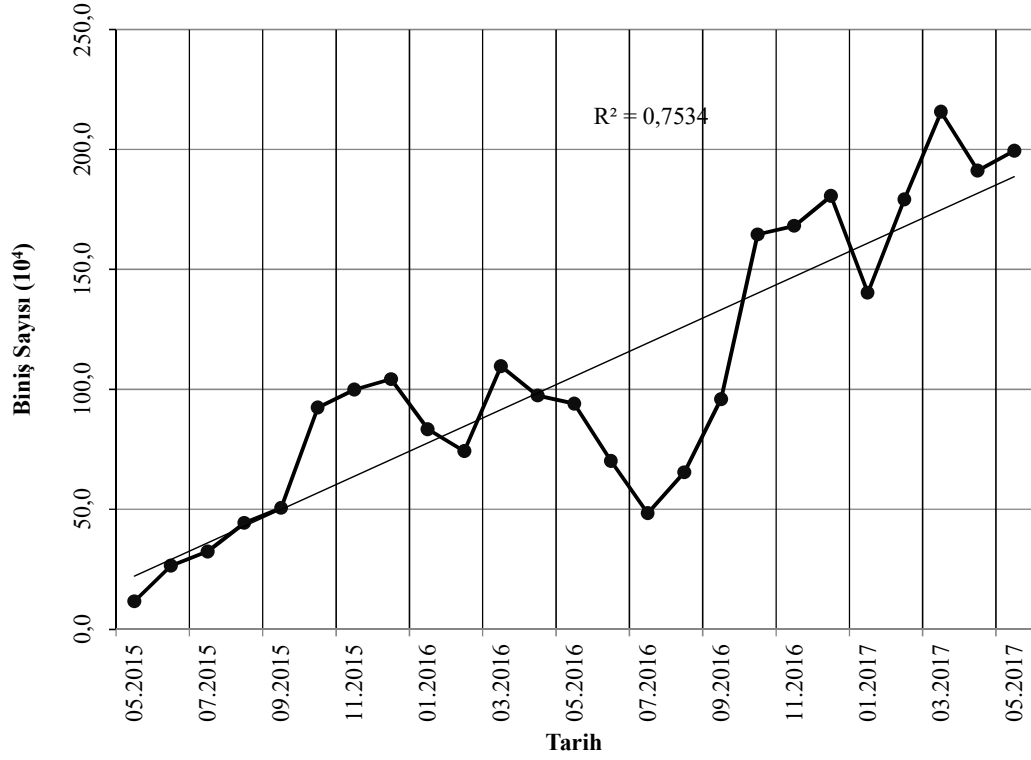
- Gelir artışı, gelir seviyesine bağlı olarak araç sahipliğinde ve bu nedenle araç eriminde veya toplu ulaşım kullanımında bir artışa neden olacaktır.
- Araç sahipliğinde veya erişiminde bir artış, diğer faktörlerin eşit olması durumunda toplu ulaşım modlarına olan talebin azalmasına neden olacaktır.
- Araç erişimi ve gelir durumu açısından toplu taşıma için talep esnekliklerinin etkisi ve büyüklüğü, gelir düzeylerine bağlı olarak değişecektir.
- Gelir artışının ortalama yolculuk uzunluğunu arttırması beklenebilir.

Bu ilişkiler nedeniyle, gelir ve araç sahipliği açısından tahmin edilen toplu taşıma talep esnekliklerini yorumlarken dikkatli olunmalıdır.

Çalışmanın bu kısmında akıllı kart sistemi yardımıyla elde edilen Balıkesir il merkezindeki biniş sayıları aylık toplam olarak incelenmiş ve bu veriler yardımıyla, geleceğe yönelik biniş sayılarının tahminde de kullanılabilir bir toplu ulaşım talep modelinin araştırılması ve önerilmesi ele alınmıştır.

Tablo 5.5: Balıkesir il merkezi toplam aylık biniş sayıları.

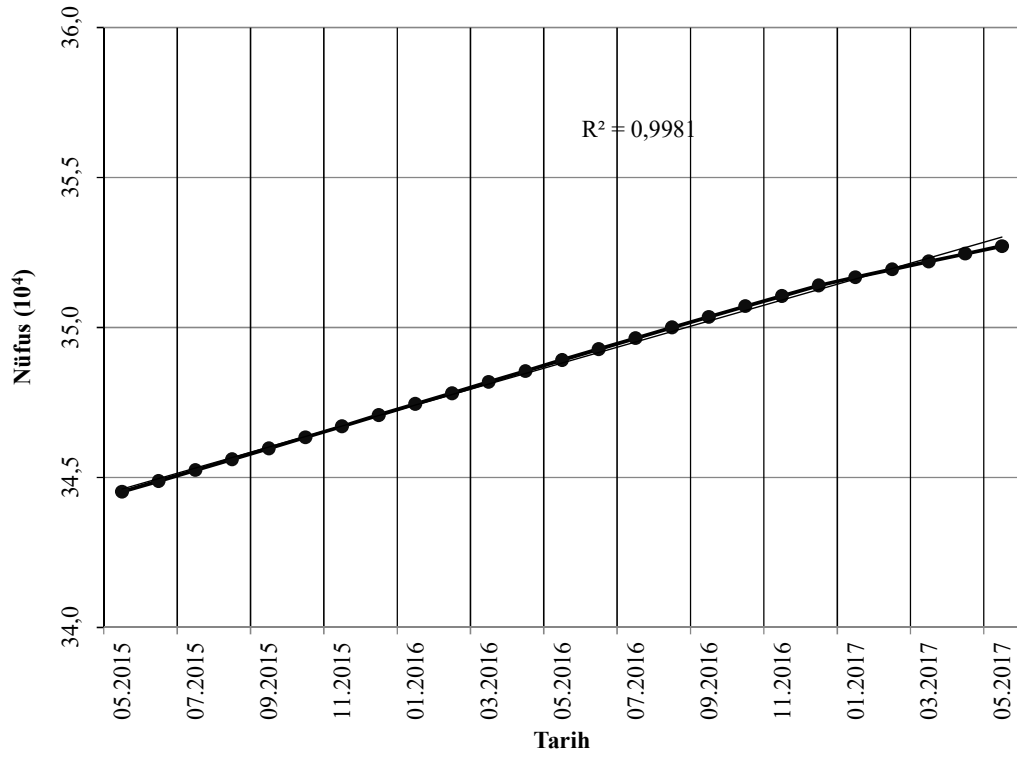
	2015	2016	2017
01-Ocak		833797	1402344
02-Şubat		742318	1791903
03-Mart		1096596	2156829
04-Nisan		974054	1911649
05-Mayıs	116250	940543	1994736
06-Haziran	265405	701530	
07-Temmuz	324333	483525	
08-Ağustos	443222	654271	
09-Eylül	505437	959347	
10-Ekim	924442	1645680	
11-Kasım	998848	1681048	
12-Aralık	1042735	1805835	



Şekil 5.23: Balıkesir il merkezi toplam aylık biniş sayılarının aylara bağlı değişimi.

Tablo 5.6: Balıkesir'in Karesi ve Altıeylül ilçelerinin nüfusları toplamı [65].

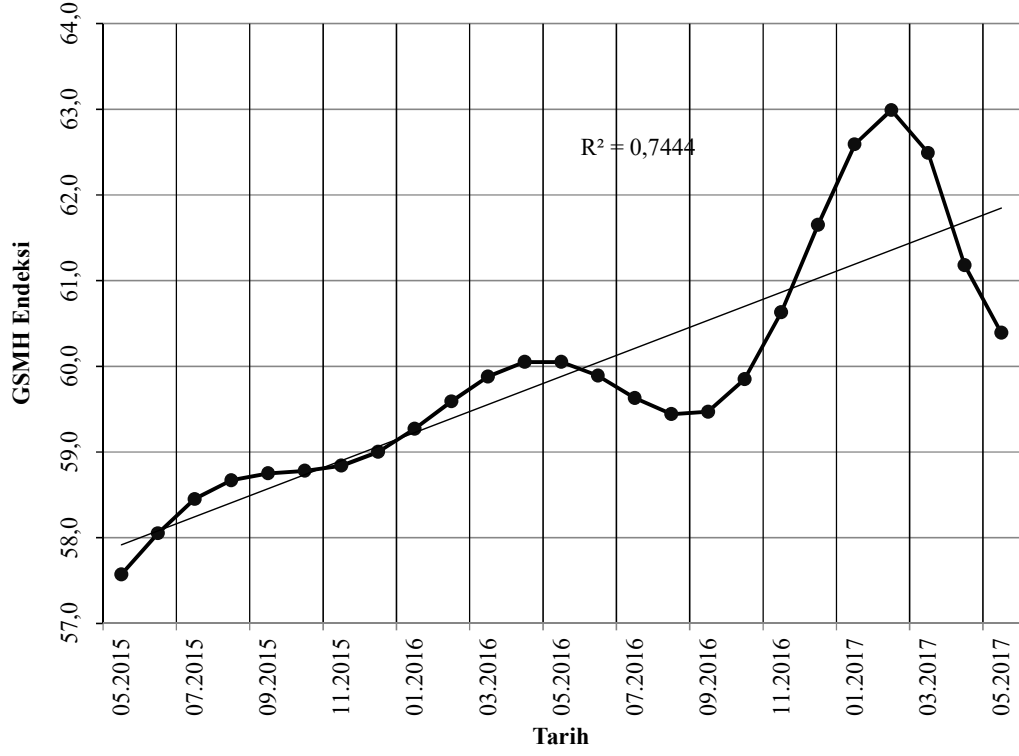
	2015	2016	2017
01-Ocak		347445	351672
02-Şubat		347805	351933
03-Mart		348177	352200
04-Nisan		348542	352456
05-Mayıs	344521	348910	352709
06-Haziran	344876	349271	
07-Temmuz	345240	349636	
08-Ağustos	345605	349997	
09-Eylül	345967	350350	
10-Ekim	346337	350704	
11-Kasım	346701	351048	
12-Aralık	347072	351394	



Şekil 5.24: Balıkesir'in Karesi ve Altıeylül ilçelerinin nüfusları toplamının aylara bağlı değişimi.

Tablo 5.7: Satın alma gücü paritesine göre Türkiye gayrisafi milli hasıla (GSMH) endeksi [66].

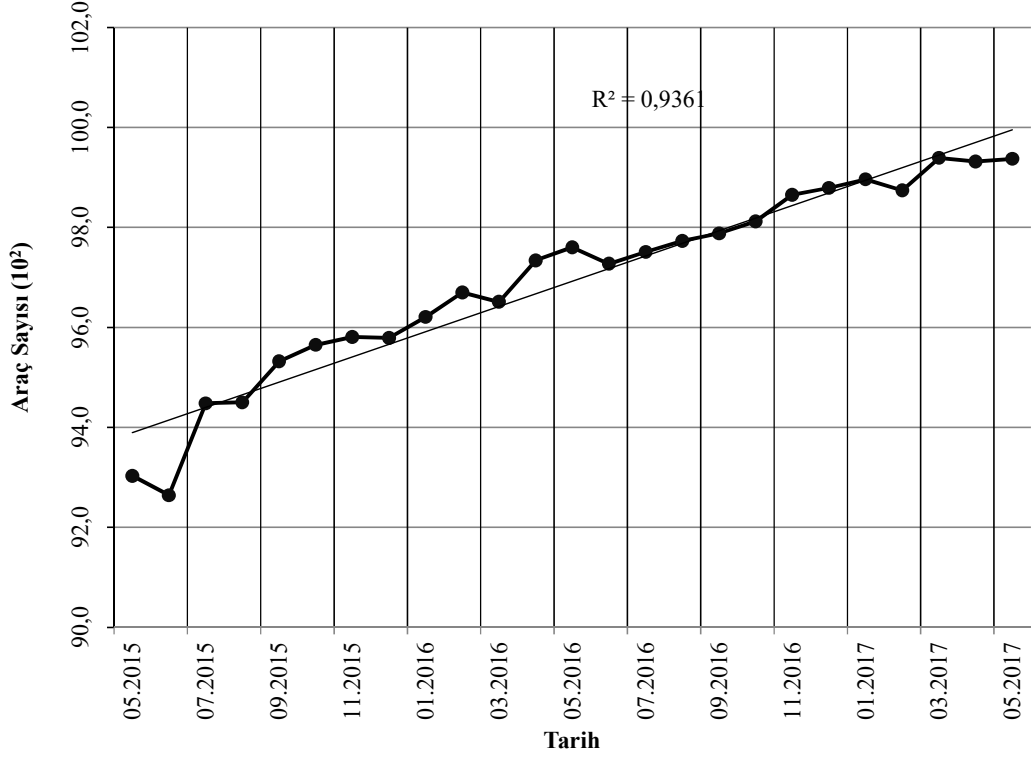
	2015	2016	2017
01-Ocak		59,27	62,59
02-Şubat		59,59	62,99
03-Mart		59,88	62,49
04-Nisan		60,05	61,18
05-Mayıs	57,57	60,05	60,39
06-Haziran	58,05	59,89	
07-Temmuz	58,45	59,63	
08-Ağustos	58,67	59,44	
09-Eylül	58,75	59,47	
10-Ekim	58,78	59,85	
11-Kasım	58,84	60,63	
12-Aralık	59,00	61,65	



Şekil 5.25: Satın alma gücü paritesine göre Türkiye gayri safi milli hasıla (GSMH) endeksinin aylara bağlı değişimi.

Tablo 5.8: Balıkesir iline kayıtlı otobüs ve minibüs araç sayıları toplamı [67].

	2015	2016	2017
01-Ocak		9621	9896
02-Şubat		9670	9874
03-Mart		9651	9939
04-Nisan		9734	9932
05-Mayıs	9303	9760	9937
06-Haziran	9264	9727	
07-Temmuz	9448	9751	
08-Ağustos	9450	9773	
09-Eylül	9532	9788	
10-Ekim	9565	9812	
11-Kasım	9581	9865	
12-Aralık	9579	9879	

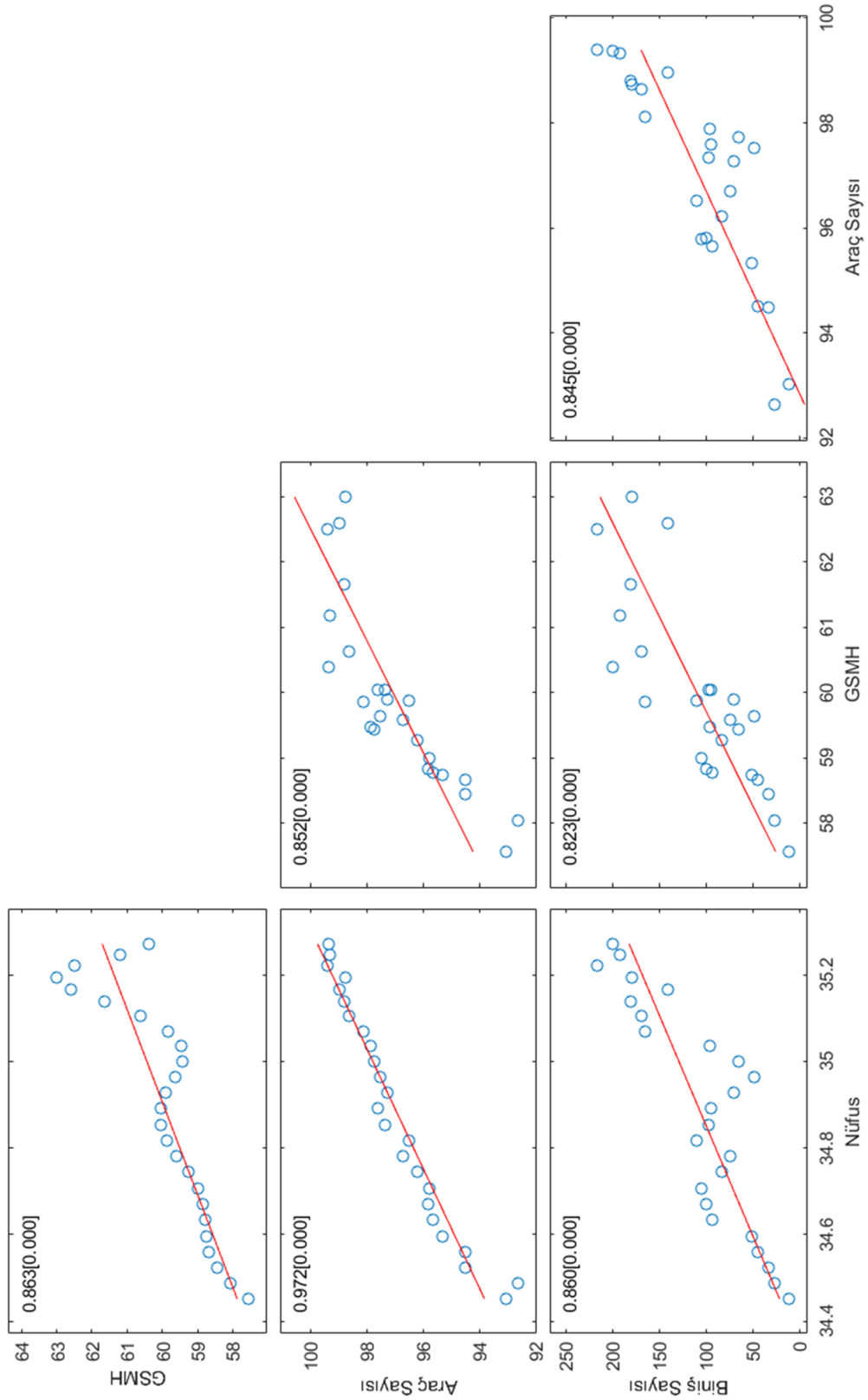


Şekil 5.26: Balıkesir iline kayıtlı otobüs ve minibüs araç sayıları toplamının aylara bağlı değişimi.

Tablo 5.5’de Mayıs 2015-Mayıs2017 tarihleri arasındaki Balıkesir il merkezine ait aylık akıllı kart toplu taşıma biniş sayıları verilmiştir. Tablo 5.6’da Balıkesir il merkezi nüfusu olarak Karesi ve Altıeylül ilçelerinin nüfus toplamı 2014 yılı sonu 342799, 2015 yılı sonu 347072, 2016 yılı sonu 351394 olarak TÜİK’den edinilerek doğrusal aylık veriye dönüştürülerek verilmiştir. Tablo 5.7’de verilen satın alma gücü paritesine göre Türkiye gayri safi milli hasıla endeksi ve Tablo 5.8’de verilen Balıkesir iline kayıtlı otobüs ve minibüs araç sayıları toplamı verileri kullanılarak modellenmesi amaçlanmaktadır. Öncelikle veriler arasında ilişki hakkında bir fikir edinilebilmesi adına verilerin birbirleri ile ilişkilerini gösteren korelasyon matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 5.9: Modellerde kullanılan veriler.

	Nüfus (10⁴)	GSMH	Araç Sayısı (10²)	Biniş Sayısı (10⁴)
	X ₁	X ₂	X ₃	F
05.2015	34,4521	57,57	93,03	11,6250
06.2015	34,4876	58,05	92,64	26,5405
07.2015	34,5240	58,45	94,48	32,4333
08.2015	34,5605	58,67	94,50	44,3222
09.2015	34,5967	58,75	95,32	50,5437
10.2015	34,6337	58,78	95,65	92,4442
11.2015	34,6701	58,84	95,81	99,8848
12.2015	34,7072	59,00	95,79	104,2735
01.2016	34,7445	59,27	96,21	83,3797
02.2016	34,7805	59,59	96,70	74,2318
03.2016	34,8177	59,88	96,51	109,6596
04.2016	34,8542	60,05	97,34	97,4054
05.2016	34,8910	60,05	97,60	94,0543
06.2016	34,9271	59,89	97,27	70,1530
07.2016	34,9636	59,63	97,51	48,3525
08.2016	34,9997	59,44	97,73	65,4271
09.2016	35,0350	59,47	97,88	95,9347
10.2016	35,0704	59,85	98,12	164,5680
11.2016	35,1048	60,63	98,65	168,1048
12.2016	35,1394	61,65	98,79	180,5835
01.2017	35,1672	62,59	98,96	140,2344
02.2017	35,1933	62,99	98,74	179,1903
03.2017	35,2200	62,49	99,39	215,6829
04.2017	35,2456	61,18	99,32	191,1649
05.2017	35,2709	60,39	99,37	199,4736



Şekil 5.27: Veriler arasındaki korelasyon matrisi.

DGA'yı diğer algoritmalarından farklı kılan başlangıçta bilinmeyen bir arama alanı hakkında iterasyonlar boyunca biriken bilgileri kullanma becerisidir. Veriler arasındaki tüm ilişkileri göz önünde bulundurabileceği ve ön varsayımlar yapılmadan ilişkilerini gösterebileceği düşünülen farklı modeller ile bu beceriden yararlanılacağı düşünülmüştür. Toplu ulaşım talebini modelleyecek farklı modeller sunulmuştur;

$$F_1(X)=w_1+w_2X_1^{w_3}+w_4X_2^{w_5}+w_6X_3^{w_7} \quad (5.1)$$

$$F_2(X)=w_1+w_2X_1+w_3X_2+w_4X_3+w_5X_1X_2+w_6X_1X_3+w_7X_2X_3+w_8X_1X_2X_3 \quad (5.2)$$

$$F_3(X)=w_1+w_2X_1^{w_3}+w_4X_2^{w_5}+w_6X_3^{w_7}+w_8X_1X_2+w_9X_1X_3 \quad (5.3)$$

$$+w_{10}X_2X_3+w_{11}X_1X_2X_3$$

$$F_4(X)=w_1+(w_2X_1+w_3X_2+w_4X_3)^{w_5} \quad (5.4)$$

5.1 eşitliğinde ağırlıklı üstel polinom formunda modellenmiştir, 5.2 eşitliğinde serbestlik derecesi yüksek polinom formunda modellenmiştir, 5.3 eşitliğinde bir önce önerilen iki model birleştirilmiştir, 5.4 eşitliğinde ise ilk modelden daha az parametrelili bir üstel model önerilmiştir.

Modellerde X_1 Balıkesir il merkezindeki iki ilçe olan Karesi ve Altieylül ilçelerinin nüfuslarının toplamı (10^4), X_2 satın alma gücü paritesine göre Türkiye'nin gayrisafi milli hasıla (GSMH) endeksini, X_3 Balıkesir ilindeki otobüs ve minibüs sayılarının toplamını (10^2), w_i ise önerilen modellerde kalibre edilmesi gereken parametreleri ifade etmektedir. $F_i(X)$ eşitliklerinin çıktısı olarak aylık biniş sayılarının bulunması hedeflenmektedir.

Modellerin parametrelerinin optimizasyonunda amaç fonksiyonu olarak 5.5 eşitliğinde belirtilen hata kareler ortalaması (HKO) kullanılmıştır. Ayrıca sonuçlar hakkında yorum yapılabilmesi için ayrıca korelasyon katsayısı (r^2), Nash-Sutcliffe katsayısı (NS) [68], hata kareler ortalamasının karekökünün gözlenen verinin standart sapmasına oranı (HKOK/S) ve yanlılık oranı (YO) değerlerine de bakılmıştır.

$$HKO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i^g - y_i^m)^2 \quad (5.5)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i^g - y_i^m)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i^g - m^g)^2} \quad (5.6)$$

$$HKOK/S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i^g - y_i^m)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i^g - m^g)^2}} \quad (5.7)$$

$$YO = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i^g - y_i^m)}{\sum_{i=1}^N (y_i^g)} \quad (5.8)$$

Bu eşitliklerde y_i^g gözlenen verilerdeki i. değeri, y_i^m model yardımıyla hesaplanan i. değeri, m^g gözlenen verilen ortalamasını, N ise veri adedini ifade etmektedir. Bu performans kriterlerinin modelin başarısının tespitine yönelik olması gereken yaklaşık değerler Tablo 5.10'da belirtilmiştir.

Tablo 5.10: Önerilen genel performans derecelendirmeleri [69].

Performans	HKOK/S	NS	YO
Çok İyi	$0,00 \leq HKOK/S \leq 0,50$	$0,75 < NS \leq 1,00$	$YO \leq \pm 0,10$
İyi	$0,50 < HKOK/S \leq 0,60$	$0,65 < NS \leq 0,75$	$\pm 0,10 \leq YO < \pm 0,15$
Tatmin Edici	$0,60 < HKOK/S \leq 0,70$	$0,50 < NS \leq 0,65$	$\pm 0,15 \leq YO < \pm 0,25$
Yetersiz	$0,70 < HKOK/S$	$NS \leq 0,50$	$\pm 0,25 \leq YO$

Önerilen her bir modelin parametrelerinin belirlenmesinde DGA kullanılmıştır. DGA parametrelerinden olan jenerasyon sayısı 300 ve popülasyon sayısı da 30 olarak belirlenerek tüm hesaplamalarda değiştirilmeden kullanılmıştır. Her probleme özgü olan ve yapılan denemelerle belirlenen F ve CR değerleri en iyi sonucun elde edilmesi amaçlanarak F değeri [0,20 0,80] aralığında, CR değeri [0,50 0,90] aralığında 0,1 artımla tanımlanmıştır. Her F ve CR değeri ikilisinde 5 kez çözüm tekrarlanmıştır. Her bir modele ait en iyi çözümler aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.11: 5.1 modelinin en iyi 25 sonucu.

$$F_1(X) = w_1 + w_2(X_1 \wedge w_3) + w_4(X_2 \wedge w_5) + w_6(X_3 \wedge w_7)$$

X_1 =Nüfus, X_2 =GSMH, X_3 =Araç Sayısı

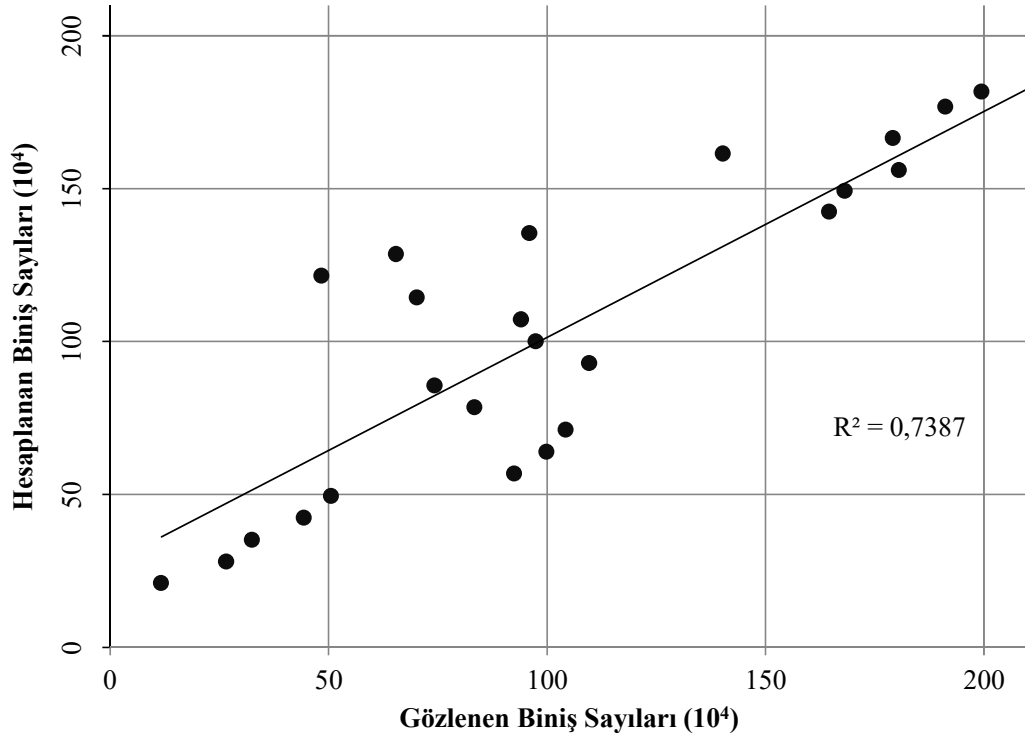
No	CR	F	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇	HKO	R ²	NS	HKOK/S	YO
130	0,80	0,60	-7918,2013	387,4149	0,8532	-2604,0689	-40,2880	-16909,4824	-61,4029	870,1350	0,7387	0,7387	0,5009	0,0454
175	0,90	0,80	2743,1572	123673,0508	-24381,3439	136885,2753	-26802,9502	-187967,3869	-0,9328	979,6034	0,7058	0,7058	0,5315	-0,1210
122	0,80	0,50	14,4335	-30,8091	1,1152	186,0582	-7,9605	0,3620	1,8494	998,7969	0,7002	0,7000	0,5366	0,7036
161	0,90	0,60	-1214,9215	-195897,9249	-107374,5160	-198890,6428	-192358,4416	0,8321	1,6111	1000,1523	0,7175	0,6996	0,5370	-0,0964
166	0,90	0,70	1910,6901	6756,6069	-62134,4098	-187290,8222	-1,1344	155085,9913	-114993,9895	1051,0525	0,6852	0,6843	0,5505	0,1025
127	0,80	0,60	-1940,2337	-43567,7545	-884,9005	32,3408	1,0134	-2891,9779	-433,8625	1076,5985	0,6767	0,6767	0,5571	-0,1216
94	0,70	0,60	-1058,7149	61,9865	-90,3644	0,8685	1,7667	-11417,0278	-1,2764	1081,2146	0,6774	0,6753	0,5583	-1,7154
165	0,90	0,60	-1171,7062	-172510,0179	-11744,0698	1,7397	1,6124	50772,4940	-12879,2960	1085,2105	0,6741	0,6741	0,5594	0,0936
133	0,80	0,70	-996,0034	-1556,1691	-335,6018	1568,1450	-132,4095	0,6083	1,6413	1167,9190	0,7176	0,6492	0,5803	-5,9725
164	0,90	0,60	-1189,3946	174484,4581	-31491,8009	10,8484	1,1695	-74320,7110	-14922,3001	1261,8392	0,6760	0,6210	0,6032	-4,6452
84	0,70	0,40	6,9431	-7,8702	1,4367	1,3186	1,7013	-3,0194	-7,8242	1393,4613	0,5817	0,5815	0,6339	0,5942
118	0,80	0,40	0,3136	-5,7744	1,5168	1,9332	1,6033	-2,5488	-9,0313	1460,0031	0,5671	0,5615	0,6488	0,1250
23	0,50	0,60	-9,1524	-27,7373	-0,5660	4,5398	1,4053	-119,5876	0,5220	1570,6811	0,5637	0,5283	0,6730	-7,1721
104	0,70	0,80	859,4368	-84291,5658	-30332,1702	-191811,7481	-1,3567	3395,9558	-936,1494	1760,2584	0,6860	0,4713	0,7124	-8,7372
172	0,90	0,80	1140,2354	-5242,5105	-34907,1929	-134286,5799	-61205,3723	-103202,6160	-1,0056	1772,8205	0,7054	0,4675	0,7150	3,3485
6	0,50	0,30	-2,2213	-13,7998	1,1216	2,7248	1,4021	-0,6301	-1,5596	1851,9535	0,5968	0,4438	0,7307	3,1379
153	0,90	0,40	-6,0957	-12,8488	1,0208	-256,4406	-0,5179	0,3085	1,6648	1969,0676	0,7072	0,4086	0,7535	-0,6691
90	0,70	0,50	-461,1304	-384,6942	-52,7424	2,8460	1,2933	-283,8096	-221,6107	2018,9956	0,6755	0,3936	0,7630	0,5304
13	0,50	0,40	-7,8983	-4,3837	1,3819	0,8768	-0,5609	0,7048	1,5112	2118,9824	0,6873	0,3636	0,7816	0,0177
7	0,50	0,30	-6,3764	-4,6101	1,4961	0,8768	1,7301	18,6716	0,1141	2135,4530	0,5837	0,3586	0,7847	-23,8010
8	0,50	0,30	9,9667	-3,1566	1,3915	1,0103	1,5339	-2,6376	-1,9377	2209,0105	0,5890	0,3365	0,7981	0,0177
86	0,70	0,50	-304,5138	-64,3839	-13,5992	1,1086	1,4466	13780,3049	-259,6502	2225,6756	0,6748	0,3315	0,8011	-2,7889
139	0,80	0,80	625,5560	95846,0127	-157172,0566	-6337,5733	-5025,7816	-181950,9547	-1,2808	2230,5087	0,7041	0,3301	0,8019	0,0376
168	0,90	0,70	754,9556	197334,2639	-85792,2904	192637,7995	-3001,3492	-74560,9249	-1,0385	2240,8844	0,7053	0,3270	0,8038	-3,7650
78	0,70	0,30	-9,2772	-1,2565	1,6247	0,6782	1,6269	-6,4102	-0,3549	2264,6329	0,5862	0,3198	0,8081	-8,7953

Tablo 5.12: 5.1 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.

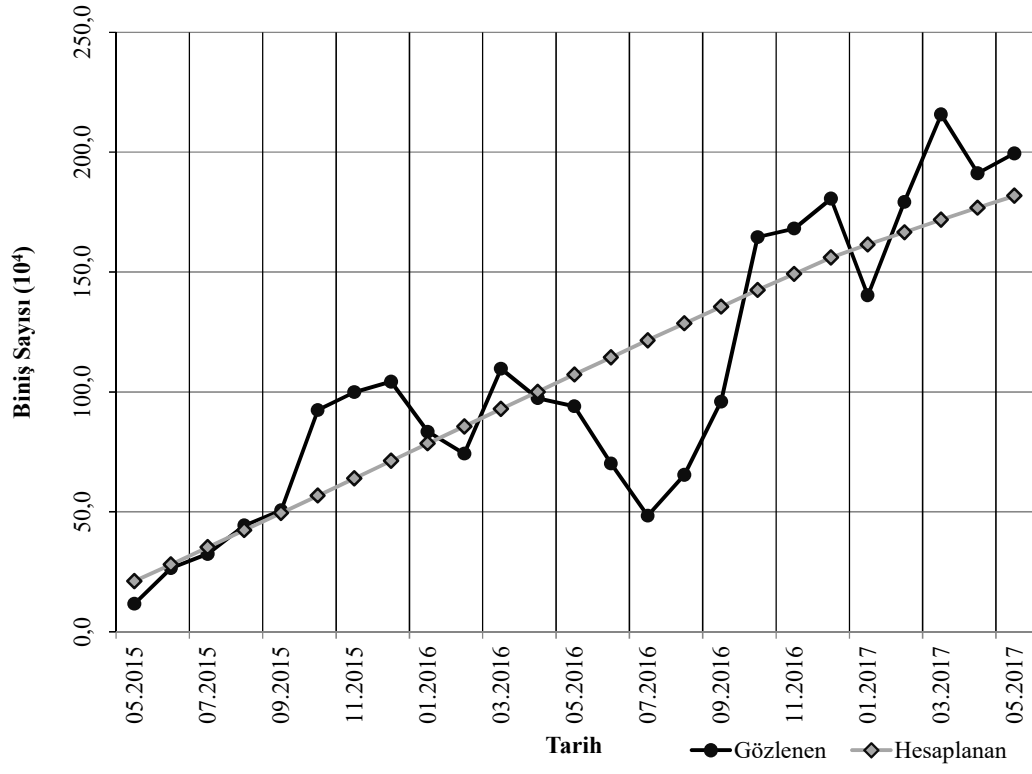
HKO (F ₁)							
CR	F = 0.20	F = 0.30	F = 0.40	F = 0.50	F = 0.60	F = 0.70	F = 0.80
0,50	2993,723	1851,954	2118,982	2372,548	1570,681	2842,271	3118,346
0,60	2980,025	2909,841	2637,006	2584,957	2536,975	3045,183	2816,755
0,70	2934,552	2264,633	1393,461	2018,996	1081,215	2600,042	1760,258
0,80	2995,453	2832,688	1460,003	998,797	870,135	1167,919	2230,509
0,90	3122,776	2941,331	1969,068	2492,432	1000,152	1051,053	979,603

5.1 modelinden elde edilen en iyi parametreler ile oluşturulan biniş sayısı tahmin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$F_1(X) = -7918,20 + 387,41X_1^{0,85} - 2604,06X_2^{-4} - 16909,48X_3^{-6} \quad (5.9)$$



Şekil 5.28: 5.9 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.



Şekil 5.29: 5.9 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.

Tablo 5.13: 5.2 modelinin en iyi 25 sonucu.

$$F_2(X) = w_1 + w_2X_1 + w_3X_2 + w_4X_3 + w_5(X_1X_2) + w_6(X_1X_3) + w_7(X_2X_3) + w_8(X_1X_2X_3)$$

X_1 =Nüfus, X_2 =GSMH, X_3 =Araç Sayısı

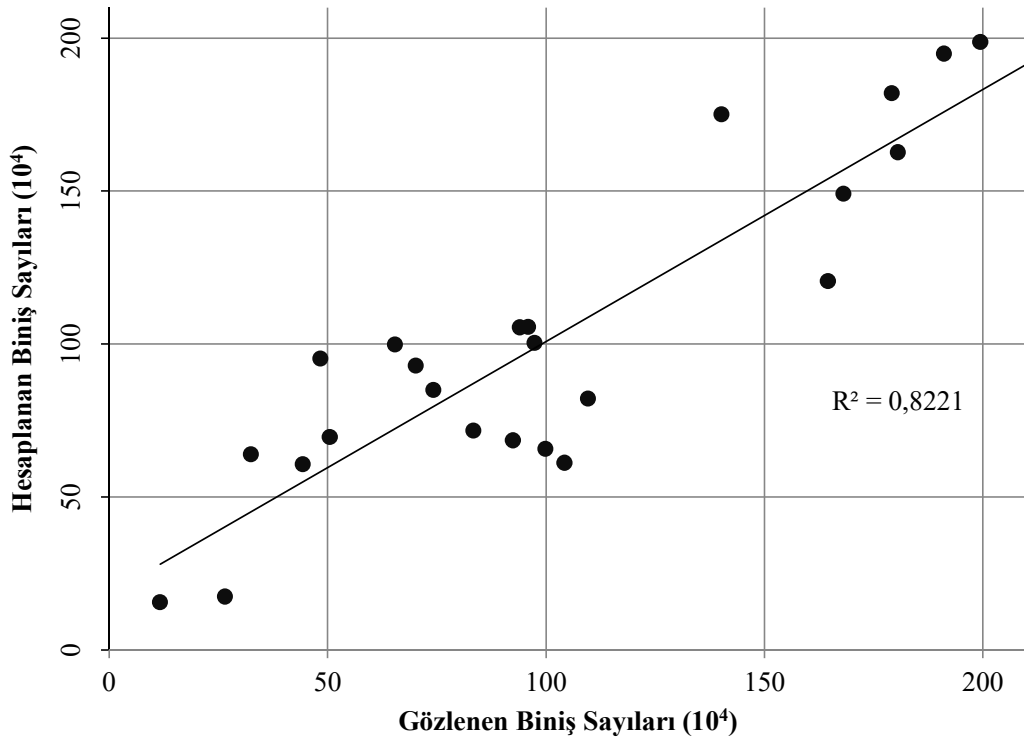
No	CR	F	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇	w ₈	HKO	R ²	NS	HKOK/S	YO
167	0,90	0,70	-1188,2857	-2615,5084	4593,8374	1153,4208	-88,6555	-6,0476	-65,9473	1,4522	592,2367	0,8221	0,8221	0,4132	0,1065
175	0,90	0,80	-7984,3175	-2112,5298	4935,8103	747,4897	-103,6929	2,3560	-61,3679	1,3759	592,7448	0,8220	0,8220	0,4134	-0,3170
174	0,90	0,80	9947,8738	-2904,9204	4683,3561	820,7969	-91,7013	3,1234	-63,1837	1,3789	593,0538	0,8220	0,8219	0,4135	0,3549
171	0,90	0,80	-3867,2864	-2331,9415	4645,4148	876,0045	-93,5360	-0,2363	-61,4175	1,3576	593,5579	0,8219	0,8217	0,4137	-0,3184
172	0,90	0,80	-66179,1986	-747,4671	6380,5989	1398,2537	-140,0771	-13,1947	-77,0470	1,7738	593,5700	0,8219	0,8217	0,4137	0,6719
173	0,90	0,80	1616,0181	-2970,8469	5322,5516	911,5633	-105,0150	3,6138	-69,6957	1,5148	595,0103	0,8214	0,8213	0,4142	0,2410
168	0,90	0,70	-10738,6092	-1540,8593	4650,2326	570,6124	-103,8784	2,4003	-54,9468	1,2772	597,1595	0,8213	0,8206	0,4149	0,9723
169	0,90	0,70	-6977,9960	-1872,0332	4895,6143	746,1735	-107,3294	-0,3119	-60,9952	1,4134	597,1705	0,8210	0,8206	0,4149	-0,0102
170	0,90	0,70	27052,9091	-2426,6696	3809,0947	301,8900	-83,1317	8,0945	-48,3374	1,1220	608,1660	0,8185	0,8173	0,4188	1,2529
162	0,90	0,60	-6785,9934	-607,0987	3798,8255	69,9816	-97,1079	6,0266	-38,5368	0,9875	615,4155	0,8154	0,8152	0,4212	-0,0908
161	0,90	0,60	80,0751	-546,9194	2828,6273	88,0221	-73,3508	2,8853	-30,2641	0,7917	629,0668	0,8116	0,8111	0,4259	-0,5345
163	0,90	0,60	-407,5978	-1677,1608	743,9757	1782,7053	6,5292	-33,8107	-37,8441	0,8001	682,6832	0,7956	0,7950	0,4437	-0,8754
165	0,90	0,60	-2009,2064	523,8985	3057,8923	-1566,3081	-96,9083	39,7384	-4,2892	0,2247	685,6040	0,7956	0,7941	0,4446	0,4877
130	0,80	0,60	431,7656	530,4841	650,0644	182,7302	-29,2264	-10,8220	-9,5898	0,3843	689,0918	0,7932	0,7930	0,4457	-0,3849
135	0,80	0,70	3,2638	363,8263	445,6698	394,9530	-20,2119	-15,0407	-11,0711	0,3939	692,6939	0,7927	0,7920	0,4469	0,3961
133	0,80	0,70	-589,7112	621,4710	334,3517	514,2605	-21,2788	-20,8441	-11,8279	0,4579	708,6251	0,7886	0,7872	0,4520	1,3496
166	0,90	0,70	2242,0513	-694,5318	-176,4038	1309,9675	15,0637	-31,0179	-21,0508	0,5002	711,8113	0,7876	0,7862	0,4530	-1,9520
134	0,80	0,70	1516,0900	144,4005	-233,9625	720,3733	2,4733	-22,5229	-10,0191	0,3303	715,4828	0,7855	0,7851	0,4542	-0,1428
164	0,90	0,60	-261,0634	-59,2214	254,7617	200,3639	-6,8315	-5,1426	-6,2681	0,1768	730,4596	0,7808	0,7806	0,4589	0,1738
131	0,80	0,70	523,2332	21,3992	448,8947	48,2366	-13,8060	-1,9682	-5,9445	0,1841	730,6289	0,7812	0,7806	0,4590	0,4785
128	0,80	0,60	139,9932	-82,3488	698,5068	-222,9254	-19,0745	7,0076	-3,9602	0,1074	734,1454	0,7797	0,7795	0,4601	-0,3619
160	0,90	0,50	8,6256	52,7487	53,4580	196,5713	-2,9845	-6,3121	-4,1654	0,1371	735,2487	0,7793	0,7792	0,4604	-0,0194
132	0,80	0,70	-539,9668	343,6125	-210,1879	289,1401	-0,1998	-11,7339	-2,8477	0,1474	737,2100	0,7798	0,7786	0,4610	-1,8254
129	0,80	0,60	-159,8791	166,7999	97,0816	62,5179	-5,8857	-3,6344	-2,4805	0,1064	739,8845	0,7779	0,7778	0,4619	-0,1123
126	0,80	0,60	396,1067	363,3595	-83,0096	109,0811	-4,3779	-7,1081	-1,5036	0,1152	740,5160	0,7782	0,7776	0,4621	-0,6624

Tablo 5.14: 5.2 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.

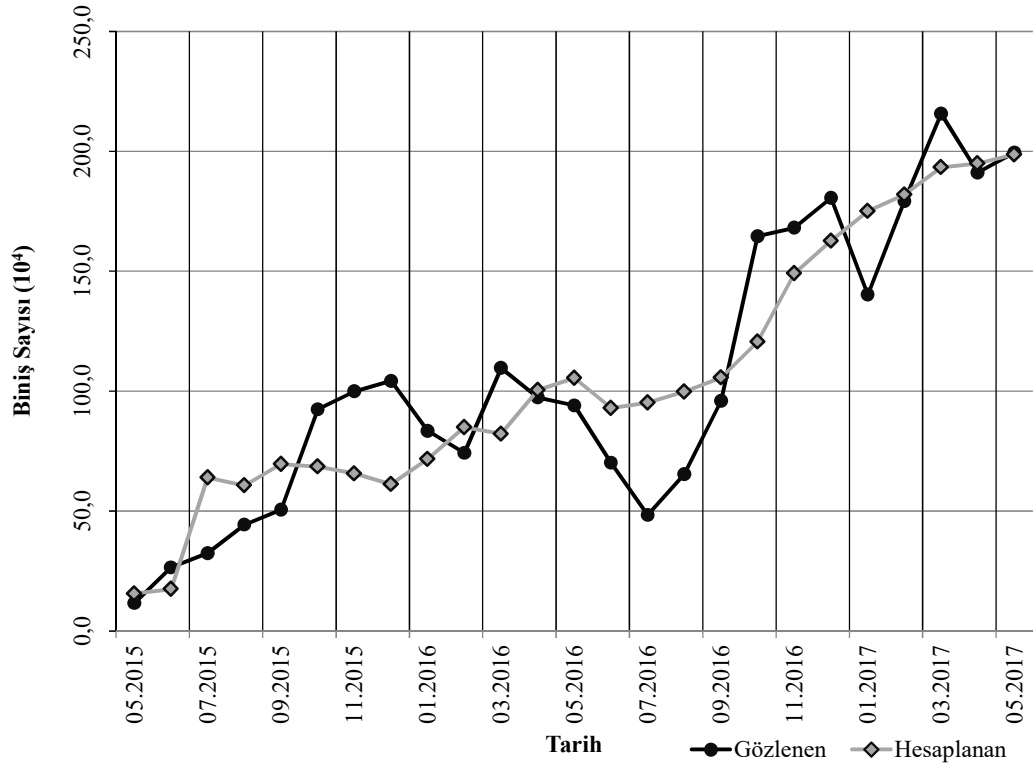
CR	HKO (F ₂)						
	F = 0.20	F = 0.30	F = 0.40	F = 0.50	F = 0.60	F = 0.70	F = 0.80
0,50	773,651	830,150	853,530	987,141	1012,586	1892,541	2039,000
0,60	787,205	767,195	772,182	784,676	836,527	1275,144	2883,665
0,70	832,508	766,132	765,302	765,362	773,966	822,312	997,727
0,80	797,077	772,959	764,507	758,859	689,092	692,694	760,092
0,90	1039,381	768,046	765,413	735,249	615,416	<u>592,237</u>	<u>592,745</u>

5.2 modelinden elde edilen en iyi parametreler ile oluşturulan biniş sayısı tahmin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$F_2(X) = -1188,29 - 2615,51X_1 + 4593,84X_2 + 1153,42X_3 - 88,66X_1X_2 - 6,05X_1X_3 - 65,95X_2X_3 + 1,45X_1X_2X_3 \quad (5.10)$$



Şekil 5.30: 5.10 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.



Şekil 5.31: 5.10 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.

Tablo 5.15: 5.3 modelinin en iyi 25 sonucu.

No	CR	F	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇	w ₈	w ₉	w ₁₀	w ₁₁	HKO	R ²	NS	HKOK/S	YO
167	0.90	0.70	21964,1847	14091,9719	-1191,0983	123,1874	-15528,4784	-32527,2675	-1413,9811	-11,9512	-6,4604	-3,6317	0,2273	699,6533	0,7899	0,7899	0,4491	-0,0140
166	0.90	0.70	21906,6409	1033,4361	-151,0249	11937,0612	-455,5369	-8172,1495	-35,7851	-11,9227	-6,4437	-3,6217	0,2267	699,6549	0,7899	0,7899	0,4491	-0,0126
168	0.90	0.70	21884,3292	-8550,2602	-3503,8180	-5940,1673	-238,4780	-50052,7687	-156,0477	-11,9062	-6,4341	-3,6282	0,2266	699,6733	0,7899	0,7899	0,4492	-0,0024
170	0.90	0.70	22363,3088	-54950,7184	-616,1335	24641,2442	-1503,7139	-69125,3339	-1601,1564	-12,1488	-6,5783	-3,6967	0,2312	699,7136	0,7898	0,7898	0,4492	-0,0183
172	0.90	0.80	22041,9634	12423,8480	-613,7341	-6280,8722	-7873,2611	163,3677	-4873,7494	-11,9923	-6,4866	-3,6340	0,2278	699,7235	0,7899	0,7898	0,4492	0,1812
175	0.90	0.80	21645,0225	-103991,8320	-1438,8467	571,1001	-546,9118	125655,3496	-502,7195	-11,7947	-6,3756	-3,5632	0,2238	699,7616	0,7898	0,7898	0,4492	-0,0149
173	0.90	0.80	21861,4487	-2847,6786	-510,5099	-72142,0324	-82,8461	15054,8517	-136,0835	-11,9023	-6,4317	-3,6080	0,2261	699,7837	0,7899	0,7898	0,4492	0,3128
174	0.90	0.80	21530,7299	-82847,6345	-889,3399	30456,6839	-3384,1225	20838,8705	-132,69825	-11,6699	-6,3406	-3,6129	0,2240	699,9026	0,7898	0,7898	0,4492	0,0222
136	0.80	0.80	20714,4041	43,0050	-26,6392	-2336,7552	-484,4770	725,0101	-40,4454	-11,1761	-6,0935	-3,5768	0,2177	701,3017	0,7894	0,7894	0,4497	0,3877
131	0.80	0.70	12703,6157	-5834,3806	-246,1807	-768,4586	-727,7333	1222,2985	-2,4212	-7,0795	-3,8136	-2,2587	0,1392	715,1408	0,7862	0,7852	0,4541	-1,5605
165	0.90	0.60	10304,0961	-4075,3827	-207,7278	-511,31547	-229,2502	11475,9113	-202,57416	-5,8475	-3,1029	-1,9650	0,1181	721,9402	0,7834	0,7832	0,4562	-0,1468
134	0.80	0.70	9390,2889	-1059,3525	-22,6763	-938,1047	-9,1063	-395,7433	-122,5369	-5,0059	-2,8324	-2,2184	0,1166	735,0683	0,7807	0,7792	0,4604	-0,2239
132	0.80	0.70	4772,7750	1391,1248	-216,3981	-430,6285	-27,2074	-234,2718	-155,6831	-2,7500	-1,5067	-1,3170	0,0682	743,3966	0,7774	0,7767	0,4630	1,1875
163	0.90	0.60	3906,2146	887,2925	-1103,4812	1536,9887	-978,2886	3694,9350	-1170,3977	-2,2720	-1,2965	-1,1506	0,0593	744,1041	0,7766	0,7765	0,4632	-0,3013
128	0.80	0.60	3430,1975	-2,0456	-40,2546	382,8134	-62,6824	-1018,2387	-100,3425	-2,0548	-1,1683	-1,0344	0,0539	746,8753	0,7758	0,7757	0,4641	0,3722
135	0.80	0.70	3318,1006	26088,7309	-59,7442	-5094,3143	-291,4562	6748,1787	-48,0169	-2,0248	-1,1010	-1,0776	0,0543	750,3765	0,7753	0,7746	0,4651	1,2917
130	0.80	0.60	3611,5026	191,9470	-97,4010	826,4362	-7,7386	996,9604	-52,6477	-2,2078	-1,2644	-0,9493	0,0538	754,0632	0,7745	0,7735	0,4663	1,6964
138	0.80	0.80	3097,1632	-2632,1048	-189,9779	460,4694	-1124,1979	-38,6365	-345,5132	-2,0015	-1,0835	-0,8729	0,0490	757,0233	0,7745	0,7726	0,4672	2,3256
164	0.90	0.60	990,3807	-49628,6835	-14,2211	-1563,8326	-91,8588	-26247,6096	-486,4778	-0,8786	-0,4501	-0,6111	0,0297	761,9759	0,7712	0,7711	0,4687	-0,3248
124	0.80	0.50	671,2241	142,5725	-4,9555	-75,4577	-144,6334	16,9728	-43,8274	-0,6628	-0,3702	-0,5950	0,0273	762,4751	0,7710	0,7710	0,4689	0,1664
161	0.90	0.60	550,1321	-175070,2356	-69,0485	-8353,1053	-791,8140	7495,0755	-140,1009	-0,4993	-0,3132	-0,7170	0,0278	762,5697	0,7710	0,7710	0,4689	-0,0431
127	0.80	0.60	685,2507	-2597,7419	-13,6070	3901,7873	-43,6055	-632,0384	-45,4565	-0,6486	-0,3572	-0,6296	0,0278	762,9597	0,7711	0,7708	0,4690	-0,3322
162	0.90	0.60	323,4300	4894,8961	-1266,7555	166079,4566	-738,0912	-57640,1028	-358,12024	-0,3622	-0,2646	-0,6684	0,0262	763,2512	0,7708	0,7708	0,4691	0,1115
126	0.80	0.60	318,1791	-29,2487	-40,3044	-236,2537	-21,5403	666,9449	-38,6567	-0,3771	-0,2679	-0,6391	0,0256	763,4398	0,7708	0,7707	0,4692	0,3338
129	0.80	0.60	275,7878	-1605,5701	-44,3367	-506,6384	-49,4098	-101,2678	-4,1636	-0,3094	-0,2633	-0,6799	0,0262	763,9081	0,7706	0,7706	0,4693	-0,1892

$$F_3(X) = w_1 + (w_2 * (X_1 \wedge w_3)) + (w_4 * (X_2 \wedge w_5)) + (w_6 * (X_3 \wedge w_7)) + (w_8 * X_1 * X_2) + (w_9 * X_1 * X_3) + (w_{10} * X_2 * X_3) + (w_{11} * X_1 * X_2 * X_3)$$

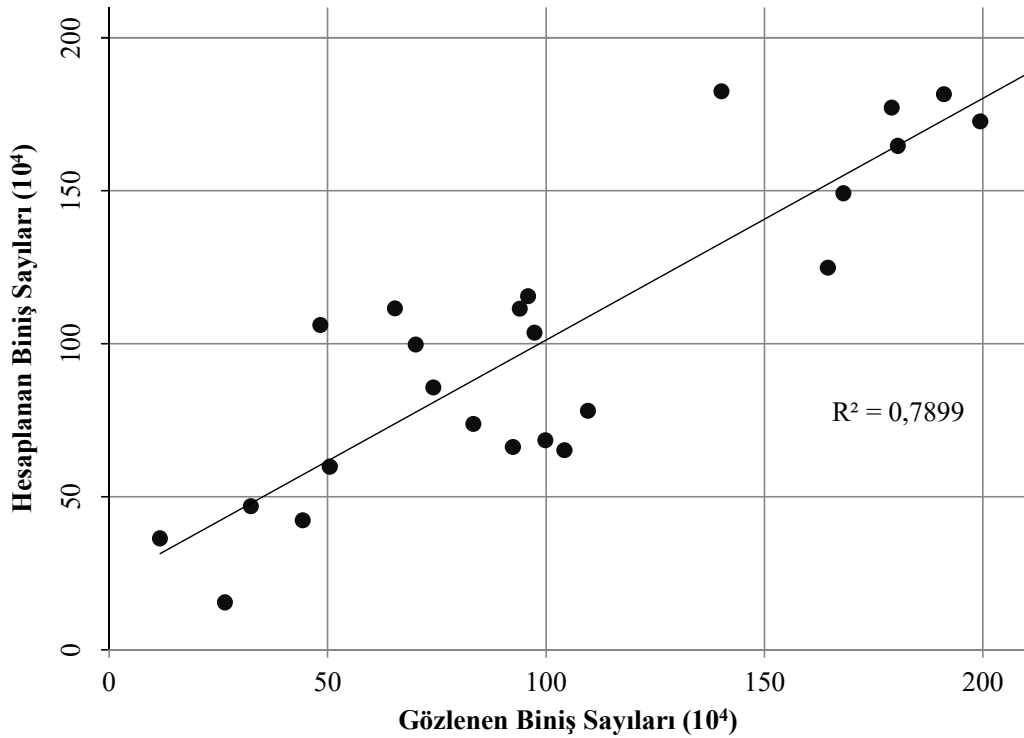
$X_1 = \text{Nifitas}, X_2 = \text{GSMH}, X_3 = \text{Amç Sayısı}$

Tablo 5.16: 5.3 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.

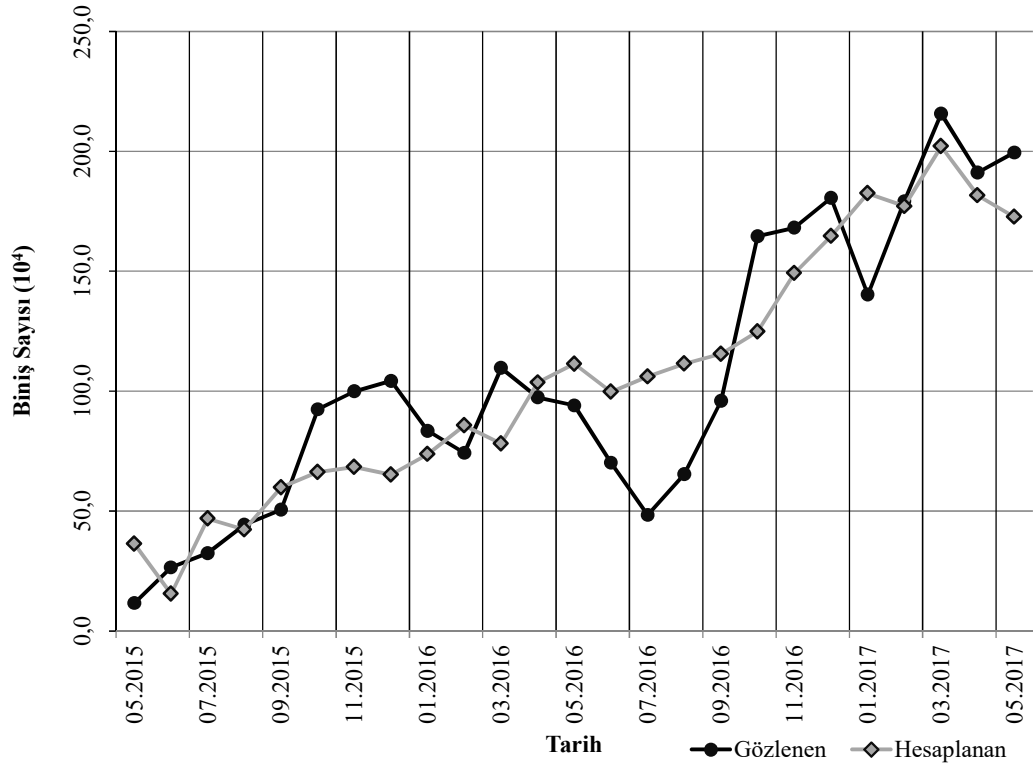
CR	HKO (F ₃)						
	F = 0.20	F = 0.30	F = 0.40	F = 0.50	F = 0.60	F = 0.70	F = 0.80
0,50	793,061	766,624	775,757	792,875	1294,149	1210,041	7360,729
0,60	790,719	765,233	765,518	765,972	785,171	831,726	924,955
0,70	773,460	765,247	765,110	764,573	765,114	767,641	811,755
0,80	804,730	919,769	765,104	762,475	746,875	715,141	701,302
0,90	1224,835	765,281	765,091	765,068	721,940	<u>699,653</u>	<u>699,669</u>

5.3 modelinden elde edilen en iyi parametreler ile oluşturulan biniş sayısı tahmin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$F_3(X) = 21964,18 + 14091,97X_1^{-1191,10} + 123,19X_2^{-15528,48} - 32527,27X_3^{-1413,98} - 11,95X_1X_2 - 6,46X_1X_3 - 3,63X_2X_3 + 0,23X_1X_2X_3 \quad (5.11)$$



Şekil 5.32: 5.11 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.



Şekil 5.33: 5.11 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.

Tablo 5.17: 5.4 modelinin en iyi 25 sonucu.

$$F_4(X) = w_1 + ((w_2X_1 + w_3X_2 + w_4X_3)^{w_5})$$

X_1 =Nüfus, X_2 =GSMH, X_3 =Araç Sayısı

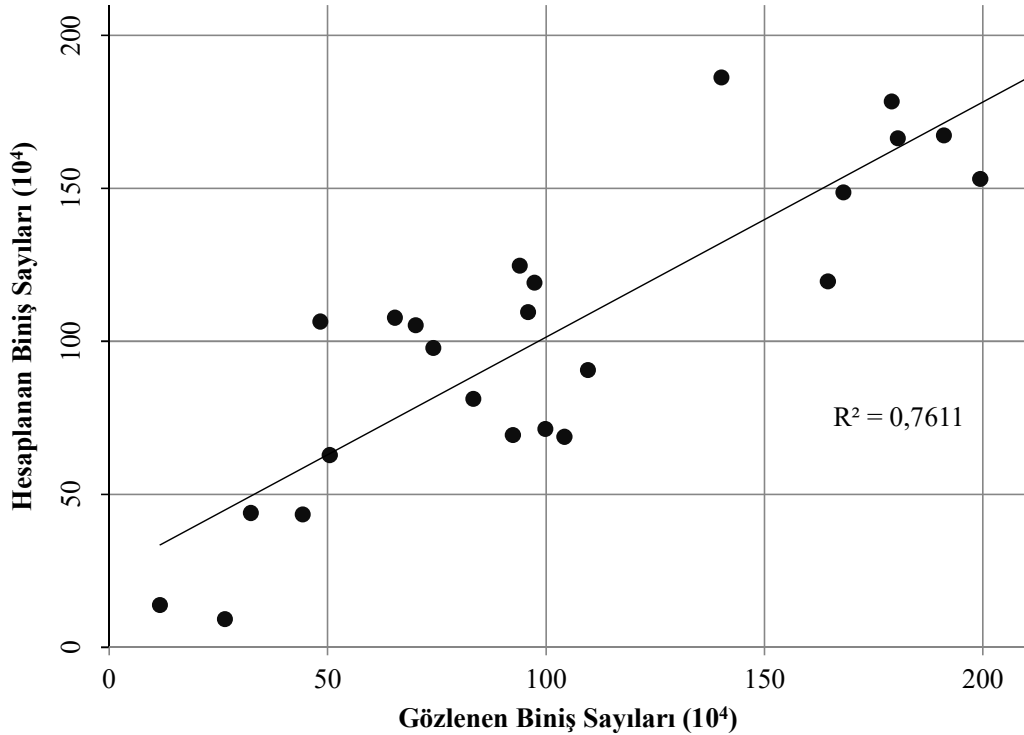
No	CR	F	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	HKO	R ²	NS	HKOK/S	YO
85	0,70	0,40	-5,8691	-4,8890	0,5420	1,5199	2,0883	795,6395	0,7611	0,7610	0,4790	-0,0674
117	0,80	0,40	9,7222	-13,6803	1,3101	4,2799	1,6132	796,6893	0,7607	0,7607	0,4793	0,0355
127	0,80	0,60	36,8676	-24,1752	1,6209	7,8559	1,4847	798,1863	0,7649	0,7603	0,4797	1,8036
120	0,80	0,40	6,2853	-15,1910	1,2293	4,8850	1,5847	798,7897	0,7612	0,7601	0,4799	0,6003
174	0,90	0,80	-4935,9291	8302,1228	4387,0270	3569,1540	0,6219	807,4885	0,7578	0,7575	0,4825	-0,9697
162	0,90	0,60	40,1740	-29,9744	2,4360	9,4643	1,3983	808,1530	0,7606	0,7573	0,4827	1,3129
92	0,70	0,60	41,9759	-35,7671	2,5026	11,5314	1,3354	815,1373	0,7570	0,7552	0,4848	1,2580
121	0,80	0,50	38,8613	-36,9408	2,8034	11,7765	1,3298	815,1513	0,7590	0,7552	0,4848	1,8988
128	0,80	0,60	32,3317	-35,5907	2,5647	11,4564	1,3325	819,8883	0,7578	0,7538	0,4862	1,9081
52	0,60	0,50	2,3717	-26,2746	2,5997	8,1298	1,3798	831,7796	0,7537	0,7502	0,4897	1,8500
169	0,90	0,70	38,6882	-55,0999	4,4947	17,3611	1,2015	835,7515	0,7514	0,7490	0,4909	1,2920
159	0,90	0,50	3,1006	-25,7069	2,9545	7,7333	1,3513	841,5116	0,7473	0,7473	0,4926	-0,0815
133	0,80	0,70	35,6514	-61,0463	5,5559	18,8927	1,1668	844,9816	0,7491	0,7462	0,4936	2,2285
130	0,80	0,60	33,0526	-67,5628	6,2216	20,8558	1,1508	846,6767	0,7509	0,7457	0,4941	2,2253
167	0,90	0,70	33,1509	-70,6263	6,0857	22,0611	1,1372	848,9451	0,7491	0,7450	0,4947	2,1617
51	0,60	0,50	-15,7522	-18,3686	2,2648	5,4927	1,4425	850,1771	0,7452	0,7447	0,4951	-0,6413
89	0,70	0,50	35,7528	-43,5008	5,4413	12,5926	1,2418	854,3425	0,7453	0,7434	0,4963	-0,4105
124	0,80	0,50	38,8638	-71,6038	8,6640	20,8223	1,1231	858,1094	0,7446	0,7423	0,4974	0,5405
122	0,80	0,50	18,6276	-62,4628	7,2611	18,4810	1,1438	858,1439	0,7443	0,7423	0,4974	0,7119
157	0,90	0,50	36,5608	-80,4703	9,5438	23,5044	1,1024	858,6483	0,7464	0,7421	0,4976	1,6133
161	0,90	0,60	-1529,7331	-48,5560	22,2860	23,4933	0,9789	859,5984	0,7420	0,7418	0,4978	0,1562
58	0,60	0,60	18,3900	-58,0392	4,1020	18,8107	1,1628	861,9693	0,7419	0,7411	0,4985	0,6147
16	0,50	0,50	-14,1667	-22,0597	1,8490	7,1183	1,3814	864,8748	0,7403	0,7402	0,4994	0,0948
93	0,70	0,60	0,5243	-82,3618	8,0471	25,3906	1,0827	865,3096	0,7431	0,7401	0,4995	1,9257
160	0,90	0,50	16,6630	-102,9820	11,4466	30,7203	1,0412	869,5787	0,7419	0,7388	0,5007	1,2133

Tablo 5.18: 5.4 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.

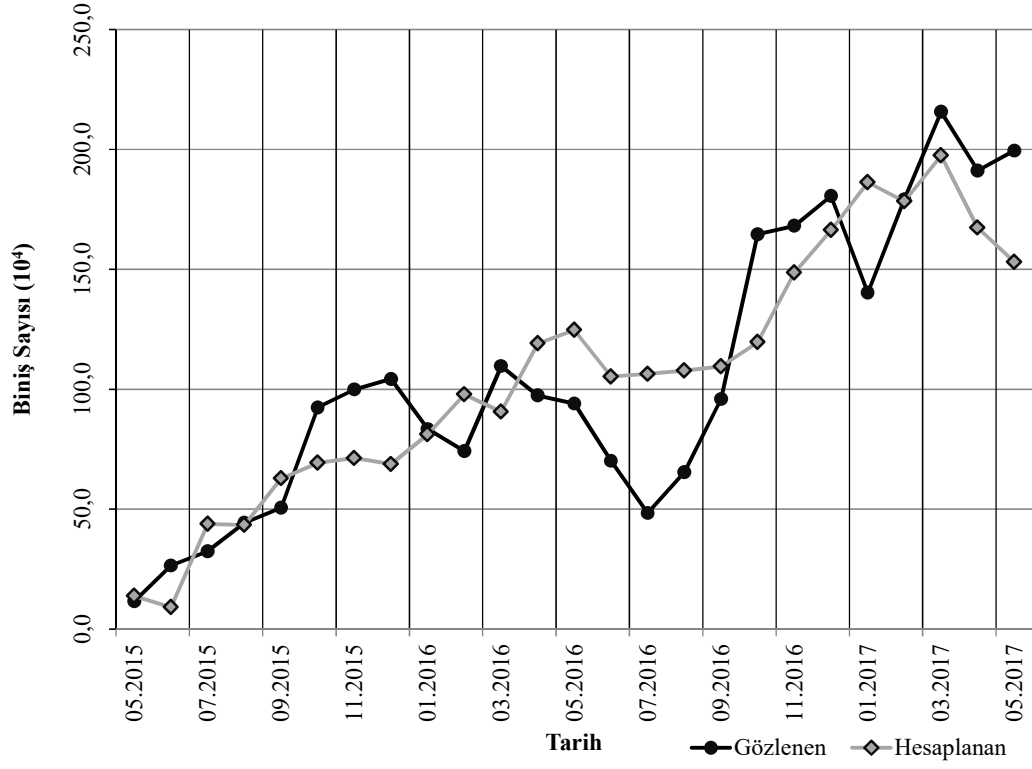
CR	HKO (F ₄)						
	F = 0.20	F = 0.30	F = 0.40	F = 0.50	F = 0.60	F = 0.70	F = 0.80
0,50	1873,234	2347,876	1435,221	864,875	1302,592	1227,383	933,282
0,60	1562,937	1661,246	2362,571	831,780	861,969	1137,630	1291,508
0,70	2288,614	2455,507	<u>795,639</u>	854,342	815,137	873,614	970,342
0,80	2686,375	2752,391	<u>796,689</u>	815,151	<u>798,186</u>	844,982	875,552
0,90	2163,770	2248,655	873,188	841,512	808,153	835,751	807,488

5.4 modelinden elde edilen en iyi parametreler ile oluşturulan biniş sayısı tahmin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$F_4(X) = -5,869 + (-4,889X_1 + 0,542X_2 + 1,52X_3)^{2,088} \quad (5.12)$$

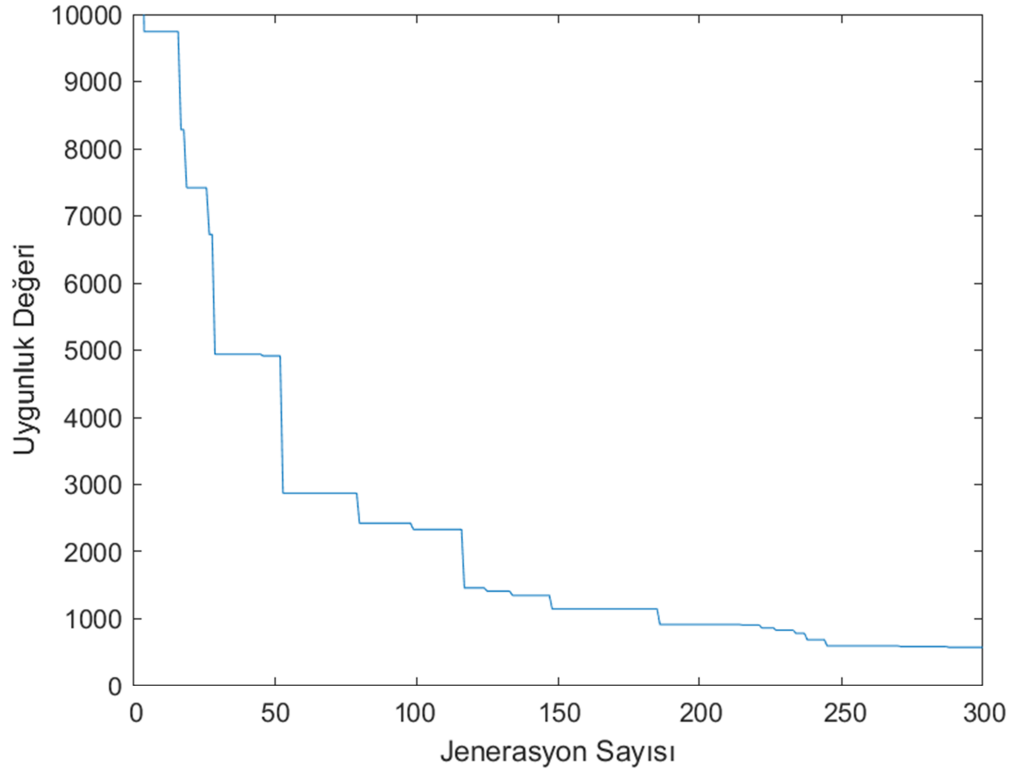


Şekil 5.34: 5.12 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.



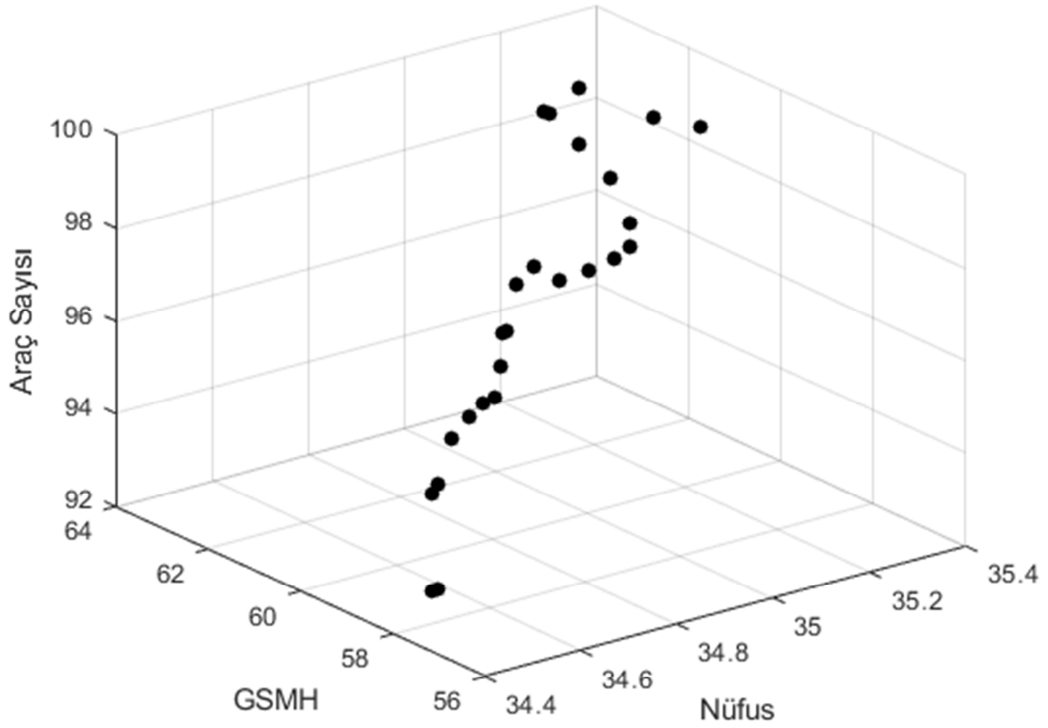
Şekil 5.35: 5.12 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.

Elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alındığında 592,2367 HKO uygunluk değeri ile 5.10 eşitliğinde verilen $F_2(X)$ modeli en uygun model olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 5.36: 5.10 eşitliğinin uygunluk değerinin iterasyona bağlı değişimi.

Fakat en iyi sonucu veren modelin $F_2(X)$ olmasına rağmen Şekil 5.31'e bakıldığında modelin gözlenen biniş sayılarını tahminde yetersiz kaldığı görülmektedir. Bundaki en büyük etkenin giriş verileri olan $[X_1 X_2 X_3]$ vektörlerinin kendi içerisinde farklı özellikteki dağılımları olduğu düşünülerek sonuçları iyileştirmek adına girdi verilerinin saçılımı oluşturulmuştur.



Şekil 5.37: Girdi verilerinin saçılımı.

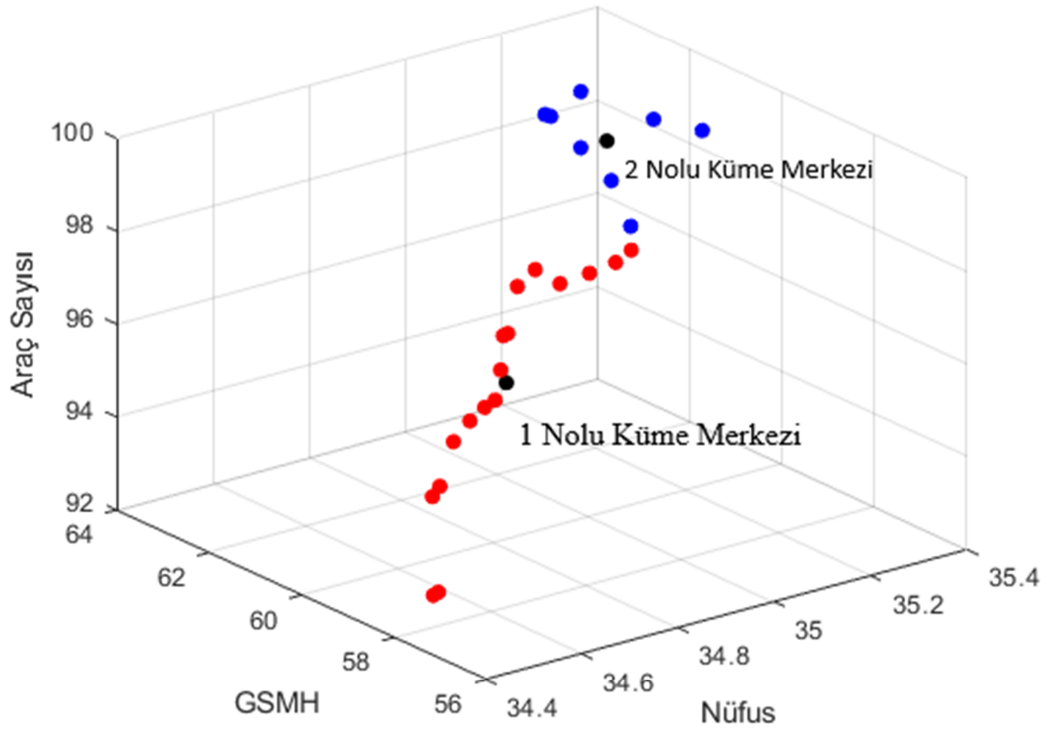
Girdi olarak kullanılan verilerin saçılımı Şekil 5.37’de görülmektedir. Burada görüldüğü kadarı ile veriler büyüdükçe saçılımda bir düzensizlik gözlenmektedir. Veriler üzerinde saçılımın düzgün olduğu kısım ve saçılımın düzensiz olduğu kısım olmak üzere tahmini iki adet kümelemeden bahsedebilmek mümkün olmaktadır.

Düşünülen bu kümelemelerin belirlenmesi için girdi verileri üzerinde k-ortalamar algoritması kullanılarak kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Küme adedi iki olarak belirlenmiş, maksimum iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Uygunluk fonksiyonu olarak 4.2 eşitliğinde belirtilen toplam karesel hatalar kullanılmıştır.

K-ortalamar kümeleme analizi sonuçlarında en iyi kümeleme sonucu olarak 1 nolu kümenin merkezi [34,7438; 59,1400; 95,9982], 2 nolu kümenin merkezi ise [35,1765; 61,4713; 98,9175] olarak bulunmuş ve bu kümelemenin toplam karesel hatası 54,76 olarak bulunmuştur. Kümeleneleme ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

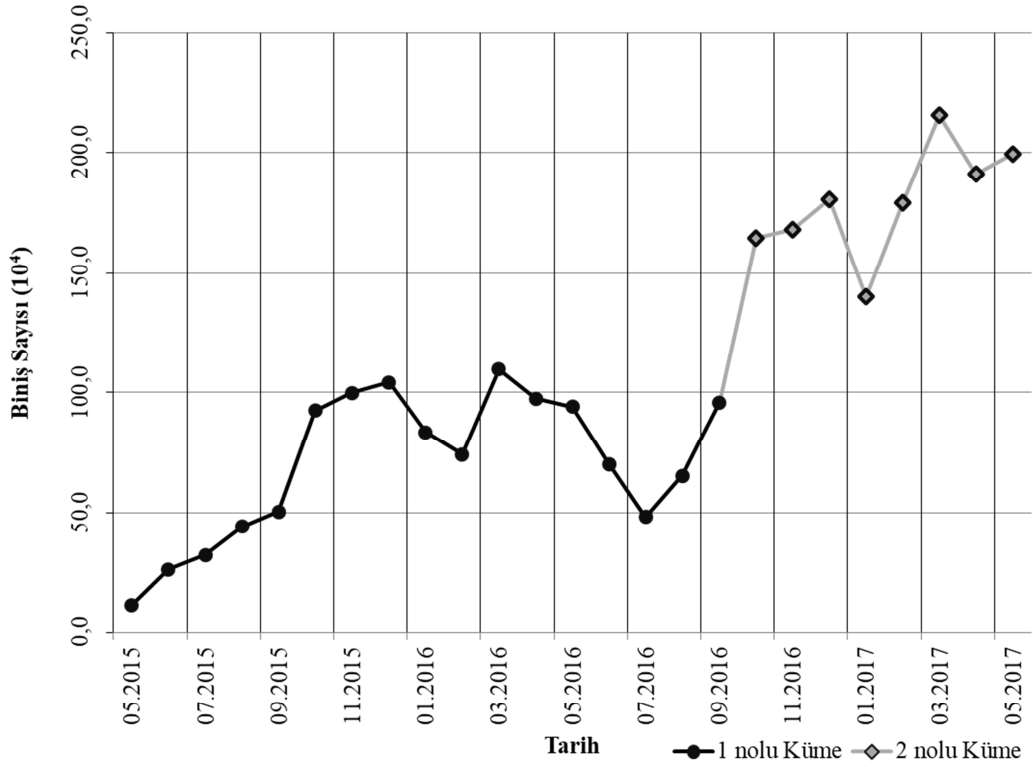
Tablo 5.19: K-ortalamlar kümeleme analizi sonuçları.

Küme No	Nüfus (10^4)		Araç Sayısı (10^2)
	X_1	X_2	
1	34,4521	57,57	93,03
1	34,4876	58,05	92,64
1	34,5240	58,45	94,48
1	34,5605	58,67	94,50
1	34,5967	58,75	95,32
1	34,6337	58,78	95,65
1	34,6701	58,84	95,81
1	34,7072	59,00	95,79
1	34,7445	59,27	96,21
1	34,7805	59,59	96,70
1	34,8177	59,88	96,51
1	34,8542	60,05	97,34
1	34,8910	60,05	97,60
1	34,9271	59,89	97,27
1	34,9636	59,63	97,51
1	34,9997	59,44	97,73
1	35,0350	59,47	97,88
2	35,0704	59,85	98,12
2	35,1048	60,63	98,65
2	35,1394	61,65	98,79
2	35,1672	62,59	98,96
2	35,1933	62,99	98,74
2	35,2200	62,49	99,39
2	35,2456	61,18	99,32
2	35,2709	60,39	99,37



Şekil 5.38: Kümelenmiş girdi verilerinin saçılımı.

Kümeleme işlemi sadece girdi verileri olan X_1 , X_2 ve X_3 değerleri üzerinden yapılmıştır. Gözlenen biniş sayıları kümeleme işlemine dahil edilmemesine rağmen biniş sayıları verileri incelendiğinde sadece girdi verileri kullanılarak yapılan kümelemenin biniş verilerindeki düzensizliği de bağımsız olarak doğru şekilde ayırmış olduğu görülmüştür. Biniş verinin ait olduğu kümeler zamana bağlı olarak aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.39: Gözlenen biniş sayılarının belirlenen kümelere aidiyeti.

K-ortalamalar kümeleme algoritması sonucu ortaya çıkan bu iki küme üzerinde uygulanmak için en iyi model olan 5.2 eşitliği aşağıdaki şekilde revize edilmiştir.

$$d_1(X) = \sqrt{(X_1 - 34,7438)^2 + (X_2 - 59,14)^2 + (X_3 - 95,9982)^2},$$

$$d_2(X) = \sqrt{(X_1 - 35,1765)^2 + (X_2 - 61,4713)^2 + (X_3 - 98,9175)^2},$$

$$d_1 \leq d_2 \text{ ise;} \quad (5.13)$$

$$F(X) = w_1 + w_2 X_1 + w_3 X_2 + w_4 X_3 + w_5 X_1 X_2 + w_6 X_1 X_3 + w_7 X_2 X_3 + w_8 X_1 X_2 X_3,$$

$$d_1 > d_2 \text{ ise;}$$

$$F(X) = w_9 + w_{10} X_1 + w_{11} X_2 + w_{12} X_3 + w_{13} X_1 X_2 + w_{14} X_1 X_3 + w_{15} X_2 X_3 + w_{16} X_1 X_2 X_3,$$

Önerilen 5.13 eşitliğindeki modelin parametrelerinin belirlenmesinde de DGA kullanılmıştır. Parametre sayısının fazla oluşu sebebiyle bu kez jenerasyon sayısı 600 olarak belirlenmiştir. Popülasyon sayısı önceki hesaplamalardaki gibi 30 olarak alınmış ve tüm hesaplamalarda değiştirilmeden kullanılmıştır. Yine farklı değerlerde kullanılarak en iyi sonucun elde edilmesi amaçlanan F değeri [0,10 0,90] aralığında, CR değeri [0,50 0,90] aralığında 0,1 artımla tanımlanmıştır. Her F ve CR değeri ikilisinde çözüm yine 5 kez tekrarlanmıştır. Hesaplamalara ait en iyi çözümler aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.20: 5.13 modelinin en iyi 25 sonucu.

$$d_1 \leq d_2 \text{ ise: } F(X) = w_1 + w_2 X_1 + w_3 X_2 + w_4 X_3 + w_5(X_1 X_2) + w_6(X_1 X_3) + w_7(X_2 X_3) + w_8(X_1 X_2 X_3)$$

$$d_1 > d_2 \text{ ise: } F(X) = w_9 + w_{10} X_1 + w_{11} X_2 + w_{12} X_3 + w_{13}(X_1 X_2) + w_{14}(X_1 X_3) + w_{15}(X_2 X_3) + w_{16}(X_1 X_2 X_3)$$

$X_1 = \text{Nilüfer, } X_2 = \text{GSMH, } X_3 = \text{Amg Sıvısı}$

No	CR	F	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	HKOKS	NS	R ²	HKO	YO
167	0.9	0.6	-6142.321281	5075.595267	-6012.391206	-5864.066508	90.27163275	118.1300451	161.9252665	-3.804189782	-70503.7937	-12398.23995	575330.85181	12768.32	-1405.022202	-2.174586718	-776.7196979	19.75278784	211.5299	0.9365	0.9365	0.24696	-0.4651
168	0.9	0.6	-5293.637699	4779.815089	-5765.724983	-5662.335025	88.31149072	114.9889049	155.474881	-3.669341487	-66165.72486	-10747.54283	52944.27551	11637.52934	-1303.975063	-2.03277643	-712.019754	18.21063407	225.5869	0.9327	0.9327	0.25521	-0.1874
169	0.9	0.6	-6262.332417	5499.748891	-6374.998647	-5806.111845	95.56008596	112.0704006	164.811003	-3.813607254	-64566.52376	-10747.54283	55140.09341	11816.87363	-1368.714681	-2.08626098	-736.1261396	18.91897863	253.828	0.9312	0.9312	0.27053	-4.2651
170	0.9	0.4	-3505959288	50215.19199	-6269.355469	-5812.992445	98.99419246	116.9285287	169.9217681	-3.844672838	-60535.99088	-109500.5001	54383.74523	11991.27324	-1337.697463	-1.901345047	-728.4413953	18.5189464	395.8285	0.8841	0.8811	0.33783	0.08176
171	0.9	0.7	-5991.410204	5326.321266	-6336.524316	-5600.766934	94.07464564	109.1003002	160.5928574	-3.728695046	-64606.36699	-11248.84376	59859.10999	11843.67158	-1493.094461	-2.043304956	-787.4981272	20.27789325	606.6721	0.8479	0.8178	0.41824	3.29953
172	0.9	0.5	-6220.696301	4843.654445	-6205.702935	-5585.156304	99.07915838	112.9577438	159.4264705	-3.773090097	-64962.55622	-11277.45573	54067.83705	11871.40723	-1337.171758	-2.201024281	-720.3863173	18.46421131	716.4266	0.8157	0.7848	0.4545	0.37215
173	0.9	0.5	-5511.787337	4709.342868	-5913.726202	-5851.975792	93.788753	120.8764132	160.8890305	-3.831575663	-65904.78498	-11518.45027	52511.72898	11902.99485	-1266.796259	-2.029625476	-724.7204355	18.31781864	1316.302	0.7069	0.6047	0.61606	-1.919
174	0.9	0.6	-6340.4	4761.86374	-6056.318227	-5632.979927	92.61149256	116.0003677	162.1031577	-3.8440649852	-61768.51239	-111515.09113	59913.22488	11675.78929	-1405.822153	-1.967342588	-745.5616978	19.11486674	1719.091	0.6472	0.4837	0.70444	2.599
175	0.9	0.5	-5408.502168	58583.8	-6500.882296	-5709.039447	96.76041235	107.9091975	163.9828486	-3.752284819	-68382.51001	-11125.09113	59913.22488	11675.78929	-1405.822153	-1.967342588	-745.5616978	19.11486674	20.3965556	1870.126	0.5997	0.4383	0.73431
176	0.9	0.7	-6130.042144	5256.774936	-6207.324969	-5988.44238	91.95474088	119.96845	166.1039019	-3.886177714	-62306.71613	-11391.73813	51899.13653	11791.31633	-1260.034339	-2.020831653	-712.0699908	18.06533652	2048.551	0.6794	0.3847	0.76854	27.3573
177	0.9	0.7	-5638.639815	5001.623664	-6094.067964	-5595.888831	99.0254304	107.6115269	155.6262026	-3.631053879	-68406.44427	-11593.44754	54666.13775	12046.36832	-1349.928969	-2.08487872	-726.8130661	18.61526408	3715.165	0.5032	-0.116	1.03498	5.60091
178	0.9	0.7	-6340.4	4883.264772	-6249.265257	-5728.909292	93.1412949	109.7070919	166.4311959	-3.950381812	-70430.05606	-11240.34443	59879.93177	12007.89311	-1288.219138	-2.070851444	-718.5736255	18.21689915	5062.825	0.5036	-0.518	1.20701	0.719665
179	0.9	0.3	-5414.974618	5107.327	-6340.069118	-5900.321481	96.85707693	122.1241822	166.8706339	-3.96195275	-65858.56698	-10695.98142	56829.60469	11296.90563	-1385.849815	-1.944921676	-769.1964261	19.55182824	5084.378	0.3317	-0.527	1.21078	-0.0281
124	0.80	0.40	-5506.4934	4912.6835	-6222.4158	-5405.3262	96.6649	105.2625	160.6237	-3.7597	-67429.5362	-11189.1105	56520.2821	12368.8646	-1415.5604	-2.194259389	-719.5368906	18.33494841	6133.095	0.3409	-0.842	1.3896	32.4510
173	0.9	0.7	-5263.391196	5177.186669	-6391.827881	-5568.028148	101.1810785	106.6930005	160.3625939	-3.73229143	-65481.3428	-11975.23169	54466.62404	12495.68264	-1361.992301	-2.144259389	-719.5368906	18.55622883	6872.948	0.2566	-1.064	1.40772	37.2938
172	0.80	0.40	-5574.9037	4890.4443	-6386.3837	-5456.1663	98.9174	109.1041	164.5449	-3.8716	-71549.3361	-11137.2249	54835.7893	12111.6875	-1316.9146	-2.116024	-765.5117	19.3276	7835.0562	0.1690	-1.352	1.5030	3.4998
158	0.9	0.3	-5936.813122	5332.032382	-6032.835912	-5719.274468	89.35328258	109.5734546	158.9552073	-3.675017159	-70139.35607	-11229.04645	54588.25218	12478.0238	-1303.121955	-2.202737624	-772.4040411	19.43169255	8101.702	0.2436	-1.453	1.52339	-0.5759
166	0.9	0.5	-6148.61194	4596.817668	-6154.62751	-5394.130762	90.5595349	113.4912542	164.3151416	-3.897317918	-63476.57446	-12603.01449	51278.59991	11994.85463	-1245.587061	-1.9451581244	-779.1275464	17.36312411	8247.083	0.4053	-1.477	1.54204	-0.1997
177	0.9	0.8	-5674.754237	4794.296515	-5869.949072	-5466.396892	88.78581363	112.8440165	158.3800442	-3.75636194	-64391.55844	-11702.81373	57667.92124	11617.03159	-1402.186042	-1.941581244	-779.1275464	19.76566316	8530.346	0.0893	-1.562	1.5683	9.19033
158	0.9	0.4	-5717.499124	4721.55312	-6172.281268	-5631.268151	94.11060289	115.3830185	167.2173194	-3.955180175	-61127.62886	-11466.31129	55586.32236	11954.37708	-1405.726724	-2.061950468	-718.7191504	18.66928135	8922.831	0.2954	-1.68	1.60397	-0.1135
123	0.80	0.40	-5661.2998	4980.6861	-6271.6220	-5459.7328	88.2977	108.9642	167.9889	-3.9078	-63793.6893	-11568.0410	55176.9976	1181.82697	-1340.2652	-2.0017829	-753.05999	19.1023	8996.5918	0.2705	-1.7021	1.6106	-28.4186
121	0.80	0.40	-5803.1036	5305.0978	-6055.5364	-5954.9485	92.5638	115.8245	161.7536	-3.7693	-64942.8213	-11173.0020	56333.5510	11772.2390	-1359.5071	-2.044985	-781.6372	19.7827	9386.1170	0.3631	-1.8191	1.6451	7.4983
160	0.9	0.4	-6273.405713	5513.641976	-6280.552297	-6055.543896	91.81432313	117.2155278	170.4108028	-3.951933356	-64070.48793	-11163.04787	54940.91398	12332.25836	-1316.933424	-2.201078312	-776.9446681	19.62461275	9411.371	0.2471	-1.827	1.6473	-0.2207

Tablo 5.21: 5.13 modelinde farklı CR ve F parametre denemelerinden elde edilen HKO değerleri.

HKO (F)									
CR	F = 0.10	F = 0.20	F = 0.30	F = 0.40	F = 0.50	F = 0.60	F = 0.70	F = 0.80	F = 0.90
0,50	13631,49	25037,11	17365,92	92194,10	92066,60	25122,44	19183,97	63660,01	83314,36
0,60	89547,65	27365,92	22046,21	84310,88	62790,28	14564,72	87007,49	12132,36	12294,13
0,70	29127,61	73500,79	12338,68	17877,85	39522,84	53553,42	54761,95	47933,84	43133,59
0,80	91233,81	13094,94	16895,57	6697,19	16308,69	21497,36	22608,53	55470,80	75496,31
0,90	12596,30	17721,33	6133,095	395,828	716,427	<u>211,530</u>	606,672	8530,346	12308,840

Farklı CR ve F değerlerinin denenmesi ile elde edilen Tablo 5.21'e göre en iyi uygunluk değeri $CR = 0,90$ ve $F = 0,60$ değeri kullanılarak elde edilmiştir. Modelin belirlenmesi gereken değişken adedinin çok oluşu nedeniyle bu CR ve F değerleri üzerinde odaklanılarak daha iyi bir sonuca ulaşılabilmesi düşünülmüştür ve F değeri $[0,50 \ 0,70]$ aralığında, CR değeri ise $[0,85 \ 0,90]$ aralığında tanımlanarak bu aralıklarda DGA ile tekrar çözüm gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu çözümün sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.22: 5.13 modelinin daraltılan aralıkta en iyi 25 sonucu.

$$d_1 \leq d_2 \text{ ise: } F(X) = w_1 + w_2 X_1 + w_3 X_2 + w_4 X_3 + w_5(X_1 X_2) + w_6(X_1 X_3) + w_7(X_2 X_3) + w_8(X_1 X_2 X_3)$$

$$d_1 > d_2 \text{ ise: } F(X) = w_9 + w_{10} X_1 + w_{11} X_2 + w_{12} X_3 + w_{13}(X_1 X_2) + w_{14}(X_1 X_3) + w_{15}(X_2 X_3) + w_{16}(X_1 X_2 X_3)$$

$X_1 = \text{Nüfus}, X_2 = \text{GSML}, X_3 = \text{Amp Stays}$

No	CK	F	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇	w ₈	w ₉	w ₁₀	w ₁₁	w ₁₂	w ₁₃	w ₁₄	w ₁₅	w ₁₆	HKO	R ²	NS	HKOKS	YO
11	0,9010,50	-5764,4688	5077,7710	-6164,9793	94,4788	112,4363	160,2042	-3,7522	-66902,9657	-11461,2379	55635,4783	11989,8877	-1368,5289	-205,8253	19,0291	207,9289	0,9376	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,2449	0,0006
53	0,9010,57	-5766,2729	5077,4159	-6164,4471	94,4820	112,4529	160,2067	-3,7524	-66905,7810	-11462,8192	55637,7679	11991,1258	-1368,4808	-205,8490	19,0306	207,9394	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,2449	-0,0050
47	0,9010,57	-5760,7689	5077,0228	-6163,9942	94,4703	112,4526	160,2093	-3,7525	-66913,6187	-11462,9186	55635,9006	11990,0589	-1368,4293	-205,8148	19,0301	207,9814	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,2449	-0,0012
55	0,9010,53	-5762,8123	5077,2331	-6164,2329	94,4648	112,4512	160,2112	-3,7525	-66898,9990	-11462,1021	55627,1834	11990,1777	-1368,4471	-205,8271	19,0300	208,0123	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,2449	0,0031
61	0,9010,67	-5779,3218	5075,6301	-6162,2106	94,4853	112,4602	160,1792	-3,7520	-66912,9702	-11462,5690	55629,2600	11990,9450	-1368,7693	-205,8505	19,0305	208,0123	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,2449	0,1668
2	0,9010,50	-5758,8555	5077,5945	-6164,5246	94,4767	112,4586	160,2197	-3,7527	-66904,1046	-11462,5885	55629,3146	11990,5464	-1368,5265	-205,8429	19,0312	208,0545	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	0,2449	0,0008
56	0,9010,57	-5770,1447	5078,6598	-6165,4579	94,4890	112,4706	160,2232	-3,7529	-66867,6735	-11466,2718	55643,6250	11991,8887	-1368,5994	-205,8257	19,0306	208,8197	0,9373	0,9373	0,9372	0,9372	0,9372	0,2454	-0,0096
51	0,9010,53	-5747,8912	5077,6242	-6166,1914	94,4626	112,4577	160,2486	-3,7530	-66893,2740	-11463,4634	55638,5723	11990,7587	-1368,5356	-205,8328	19,0313	208,9433	0,9372	0,9372	0,9372	0,9372	0,9372	0,2454	0,0113
48	0,8350,57	-5772,5715	5076,2297	-6164,5371	94,4801	112,4373	160,2007	-3,7520	-66965,9655	-11461,9007	55610,0894	11989,3752	-1368,7945	-205,7945	19,0279	209,0444	0,9372	0,9372	0,9372	0,9372	0,9372	0,2455	-0,1372
54	0,8350,57	-5759,7610	5076,0491	-6162,7704	94,4390	112,4319	160,1558	-3,7511	-66905,0648	-11459,9981	55620,9914	11988,6763	-1368,1403	-205,7780	19,0245	209,0444	0,9372	0,9372	0,9372	0,9372	0,9372	0,2455	-0,0813
52	0,9010,50	-5749,0690	5077,5007	-6164,5937	94,4447	112,5211	160,2525	-3,7536	-66893,5756	-11464,6482	55620,1939	11992,0875	-1368,0098	-205,8772	19,0301	209,1170	0,9373	0,9373	0,9372	0,9372	0,9372	0,2455	0,3109
65	0,9010,67	-5755,5996	5078,7801	-6167,0416	94,4967	112,4747	160,2655	-3,7536	-67003,5941	-11465,4344	55644,7471	11993,4267	-1368,3678	-205,8943	19,0352	211,6812	0,9366	0,9364	0,9364	0,9364	0,9364	0,2471	-0,0008
60	0,8350,50	-5758,1455	5077,5913	-6164,9440	94,4613	112,4318	160,2100	-3,7522	-66893,7802	-11462,1538	55634,6308	11988,0622	-1368,3442	-205,7572	19,0287	211,8409	0,9374	0,9364	0,9364	0,9364	0,9364	0,2471	1,7380
10	0,9010,70	-5753,2588	5077,2566	-6163,7939	94,4661	112,4279	160,1875	-3,7520	-66920,6005	-11458,7454	55624,1866	11988,4926	-1368,4306	-205,7800	19,0294	212,5075	0,9368	0,9364	0,9364	0,9364	0,9364	0,2477	-0,6642
45	0,9010,57	-5854,5826	5066,9489	-6154,1630	94,2950	112,4891	160,1487	-3,7520	-66798,0619	-11468,0567	55610,9203	11987,7745	-1367,6274	-205,7152	19,0154	212,7516	0,9364	0,9364	0,9361	0,9361	0,9361	0,2477	-0,6642
37	0,8350,53	-5759,7360	5078,4148	-6166,6800	94,6501	112,4741	160,2784	-3,7533	-66938,7031	-11477,6341	55670,9285	12003,1472	-1369,1954	-206,0101	19,0394	213,7937	0,9365	0,9365	0,9358	0,9358	0,9358	0,2483	0,0656
8	0,9010,70	-5769,3862	5082,2599	-6170,9408	94,4680	112,4565	160,2213	-3,7527	-66982,0068	-11461,0985	55600,0313	11991,3515	-1368,5458	-205,8717	19,0347	214,3900	0,9360	0,9360	0,9356	0,9356	0,9356	0,2487	-0,0818
49	0,9010,67	-5765,7288	5080,2991	-6168,3510	94,4390	112,4938	160,1054	-3,7497	-66909,4317	-11457,0926	55585,4652	11984,6529	-1368,9720	-205,7553	19,0139	214,7998	0,9368	0,9368	0,9356	0,9356	0,9356	0,2487	-1,9259
44	0,8350,53	-5763,5964	5076,9071	-6165,0547	94,5390	112,5409	160,2198	-3,7534	-66965,7704	-11467,1295	55645,4452	11997,6133	-1369,0111	-205,9036	19,0370	215,8950	0,9354	0,9352	0,9352	0,9352	0,9352	0,2495	0,4869
16	0,8350,57	-5764,0241	5078,3292	-6164,9545	94,4583	112,4434	160,0881	-3,7503	-66885,1719	-11463,8512	55677,6708	11992,2369	-1368,5995	-205,8369	19,0319	216,0400	0,9367	0,9350	0,9350	0,9350	0,9350	0,2498	-0,2521
15	0,9010,70	-5681,1934	5070,0711	-6157,8552	94,3369	112,2718	160,1110	-3,7497	-66988,7288	-11450,3724	55594,1852	11986,5930	-1365,7723	-205,9460	19,0312	216,4717	0,9350	0,9348	0,9348	0,9348	0,9348	0,2501	-1,1850
17	0,9010,63	-5769,2597	5084,7190	-6175,5137	94,7014	112,8341	160,6479	-3,7633	-67106,4348	-11466,1283	55738,2883	12002,9382	-1370,4063	-206,1604	19,0722	217,9020	0,9352	0,9347	0,9347	0,9347	0,9347	0,2503	-1,0602
41	0,8350,50	-5767,9741	5068,3372	-6166,0629	94,5286	112,4747	160,2948	-3,7528	-67046,3992	-11471,0682	55660,3731	12003,5342	-1368,8355	-206,0029	19,0414	218,2926	0,9348	0,9344	0,9344	0,9344	0,9344	0,2509	-1,0007
12	0,8350,60	-5751,4641	5076,8281	-6164,9316	94,4577	112,4555	160,2068	-3,7523	-66921,9132	-11459,3803	55611,0622	11988,1516	-1368,3484	-205,8425	19,0288	219,3009	0,9364	0,9364	0,9364	0,9364	0,9364	0,2516	-0,0999

Tablo 5.23: 5.13 modelinde belirlenen CR ve F parametre değerleriyle elde edilen HKO değerleri.

CR	HKO (F)						
	F = 0.50	F = 0.53	F = 0.57	F = 0.60	F = 0.63	F = 0.67	F = 0.70
0,85	211,841	213,794	209,004	219,501	217,011	217,302	218,293
0,90	<u>207,929</u>	208,012	<u>207,939</u>	208,846	217,302	208,036	212,508

5.13 modelinden elde edilen en iyi parametreler ile oluşturulan biniş sayısı tahmin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$d_1(X) = \sqrt{(X_1 - 34,7438)^2 + (X_2 - 59,14)^2 + (X_3 - 95,9982)^2},$$

$$d_2(X) = \sqrt{(X_1 - 35,1765)^2 + (X_2 - 61,4713)^2 + (X_3 - 98,9175)^2},$$

$d_1 \leq d_2$ ise;

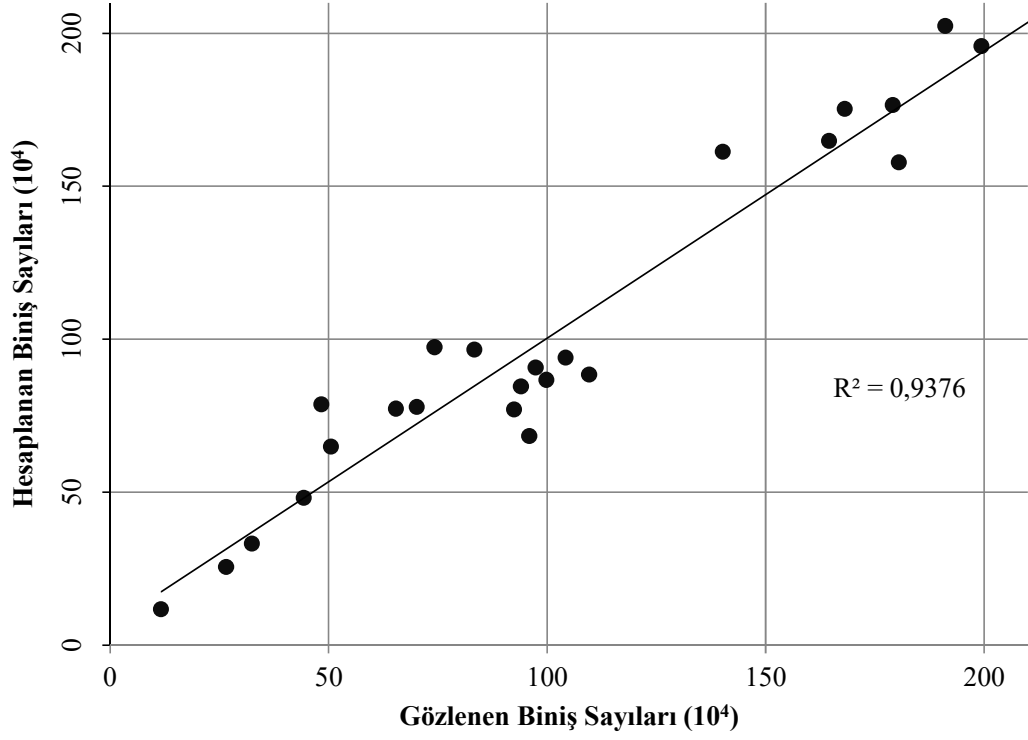
$$F(X) = -5764,47 + 5077,77X_1 - 6164,97X_2 - 5671,97X_3 + 94,48X_1X_2 \quad (5.14)$$

$$+ 112,44X_1X_3 + 160,20X_2X_3 - 3,75X_1X_2X_3,$$

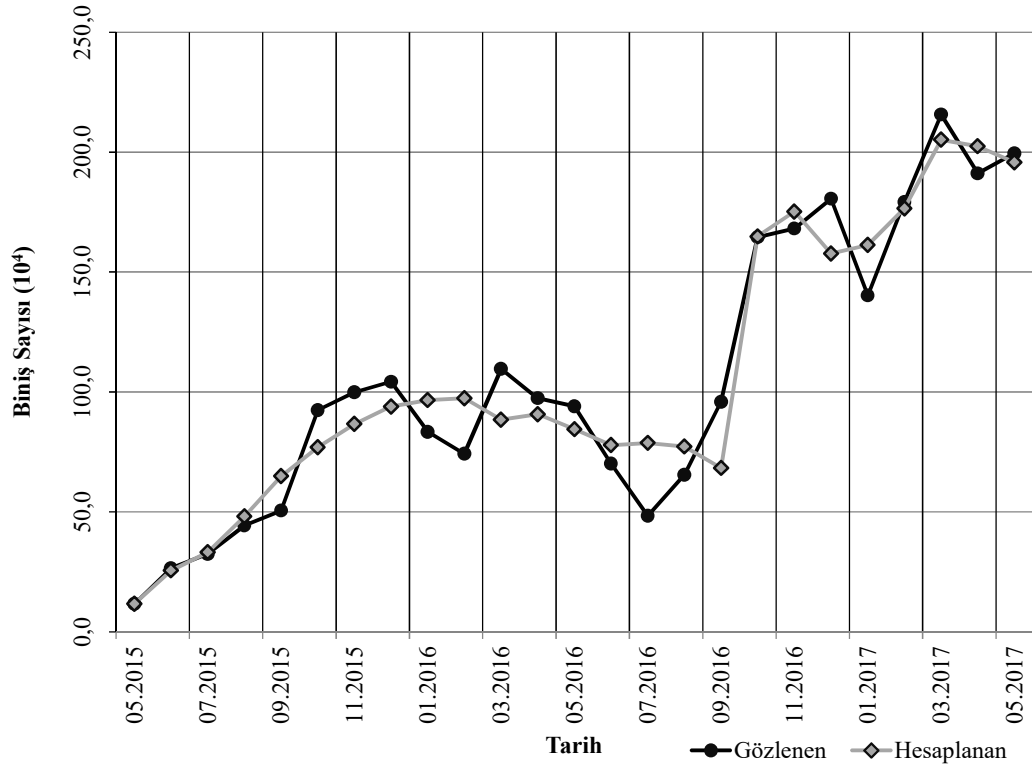
$d_1 > d_2$ ise;

$$F(X) = -66902,97 - 11461,24X_1 + 55635,48X_2 + 11989,89X_3 - 1368,53X_1X_2$$

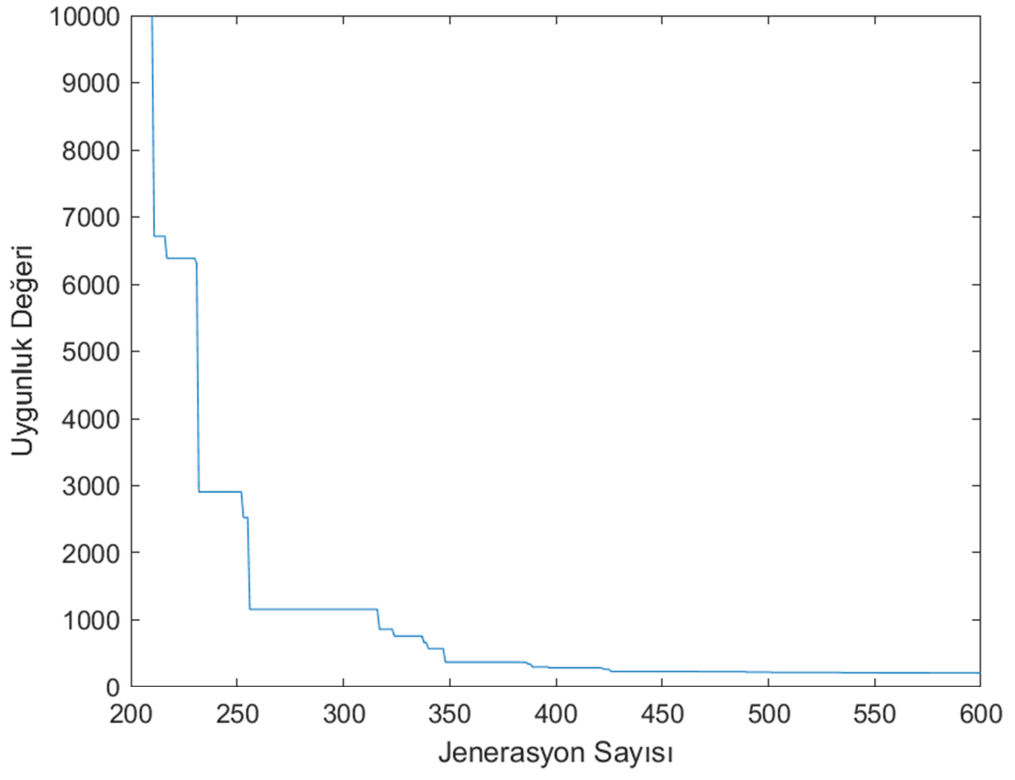
$$- 205,83X_1X_3 - 745,08X_2X_3 + 19,03X_1X_2X_3,$$



Şekil 5.40: 5.14 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayıları arasındaki saçılım.



Şekil 5.41: 5.14 eşitliğinden elde edilen tahmin sayıları ve gözlenen biniş sayılarının değerleri.



Şekil 5.42: 5.14 eşitliğinin uygunluk değerinin iterasyona bağlı değişimi.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma göz önüne alındığında sırasıyla aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilmiştir;

- 1) Kullanılacak olan akıllı kart verileri ile ilgili literatür araştırmalarının yapılması,
- 2) Çalışmada kullanılan diferansiyel gelişim algoritması ile ilgili literatür araştırmalarının yapılması,
- 3) Çalışmada kullanılan k-ortalamlar kümeleme algoritması ile ilgili literatür araştırmalarının yapılması,
- 4) Akıllı kart verilerinin elde edildiği çalışma bölgesi hakkında bilgilendirme,
- 5) Çalışma bölgesinden elde edilen kişisel bazda akıllı kart verileri ile çalışma bölgesinde kart tiplerine göre seyahat davranışları ve seyahat sıklığının belirlenmesi,
- 6) Çalışma bölgesinden elde edilen toplam akıllı kart biniş sayılarının DGA ve k-ortamala kümeleme algoritması ile modellenmesi,
- 7) Sonuçlar ve bulgular hakkında yapılan yorumlamalar.

Çalışma bölgesinden elde edilen kişisel akıllı kart biniş verileri incelendiğinde dikkat çeken ilk sonuç gerçekleşen seyahat frekanslarının genel olarak az oluşudur. Şekil 5.20-22’de görüldüğü üzere günlük ortalama 1 veya 2 kez seyahat eden eşsiz kullanıcıların seyahat sayılarının hafta içi ve hafta sonu fark etmeksizin toplamda yüksek oranda olduğu gözlenmiştir. Günde 3 ve üzeri seyahat gerçekleştiren eşsiz kullanıcı sayılarının az olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin gerçekleşen seyahatlerin çoğunluğunun şehir merkezine tek toplu taşıma aracı ile aktarma gerekmeksizin yapılması olduğunu söylemek doğru olacaktır. Bu durumun hafta sonu hafta içi arasında korunduğu ve sadece oransal bir fark yarattığı görülmüştür.

Tüm biniş verilerinin hafta içi ve hafta sonu ortalama günlük seyahat dağılımı incelendiğinde hafta içi mesai başlama ve bitiş saatlerinde pik yapan biniş verisi

yoğunluğu beklenen bir sonuçtur. Hafta sonu genel olarak daha az bir kullanım ve gün içinde daha düzgün bir dağılım gözlenmiştir.

Kart tipine bağlı gün içindeki biniş dağılımlarına bakıldığında ise Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da tam kart tipi kullanıcıların gün içinde mesai başlangıç ve bitişlerinde pik yaparak yoğunlukla aktif oldukları gözlenmiştir. Hafta sonu gün içine yayılmış bir dağılım gözlenmekle birlikte gün ortasında hafta içi ile benzer miktarda seyahat gözlenmiştir.

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de indirimli kart tipinin gün içindeki biniş dağılımları incelendiğinde yoğunluğunu öğrencilerin oluşturduğu bu gurubun çok yoğun olarak ders başlangıç ve bitiş saatlerinde yüksek aktivite göstermiş olması beklenen bir durumdur. Hafta sonları seyahatlerin gün içine yayıldığı ve görece olarak daha az seyahat gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de 60 yaş kart tipine sahip kullanıcıların yapmış oldukları seyahatlerin düzgün yayılı oluşu ve gün ortasında yoğunluk gösteriyor olması sebebiyle bu seyahatlerin yoğunlukla gezi amacıyla gerçekleştirildiği söylenebilmektedir. Ücretsiz ve tek kullanımlık kart tipi kullanımları Şekil 5.14-17'de görüleceği gibi yorum yapılabilmesine olanak vermeyecek kadar düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.

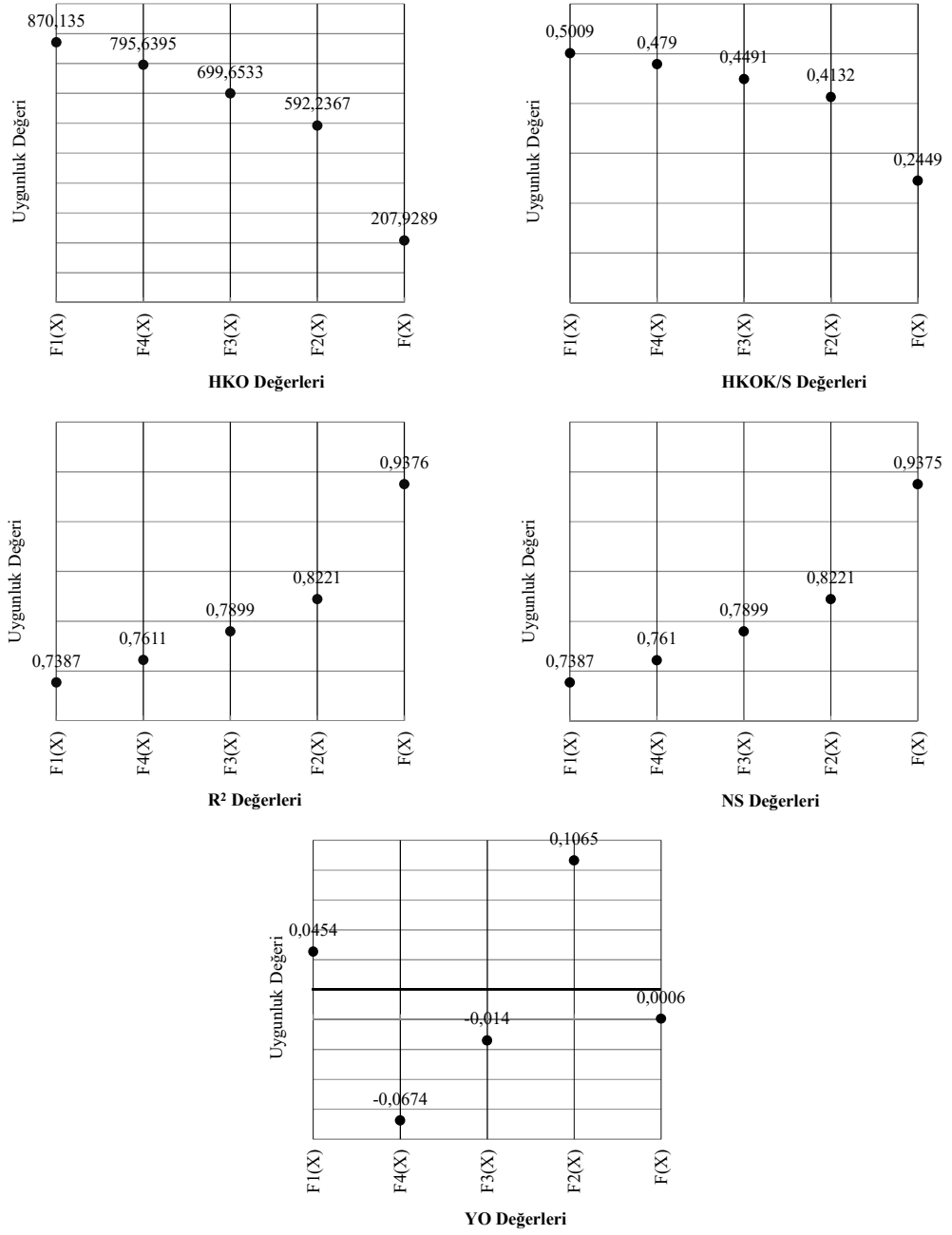
Gerçekleşen seyahatlerin yoğunlukla ev-iş ve ev-okul arasında gerçekleştirildiğini söylemek mümkündür. Gün içerisinde çok sayıda seyahat gerçekleşiyor olmasına rağmen sık seyahat eden kullanıcıların sayısının çok az olması gezi amaçlı seyahatlerin sistemin önemli bir bileşeni olduğunu göstermektedir. Balıkesir ilinde planlanan yeni yatırımlar neticesinde artacak toplu ulaşım modları seyrek toplu taşıma kullanıcılarını sürekli olarak toplu taşıma kullanmaya teşvik edebilir. Bu gibi iyileştirmeler ile kent içi otobüsleri kentin toplu taşıma görevine çok daha fazla katkıda bulunma potansiyeline sahiptir.

İleriye dönük planlanan kentsel ve toplu ulaşım yatırımları için geleceğe dönük toplu ulaşım yükü tahmini yapabilmek büyük bir önem arz etmektedir. Bu amaç ile iki yıl boyunca Balıkesir il merkezinde gerçekleşen aylık toplam biniş sayılarının modellenmesine yönelik ilk olarak dört farklı çok parametrelili model oluşturulmuş ve girdi verisi olarak Balıkesir il merkezindeki nüfusu, ülkemizin gelir düzeyini temsil etmesi açısından satınalma gücü paritesine göre GSMH endeksi ve Balıkesir ilindeki otobüs ve minibüs sayıları toplamı kullanılmıştır.

Oluşturulan modellerin değişkenleri DGA ile belirlenmiş ve 592,2367 HKO uygunluk değeri ile 5.10 eşitliğinde verilen $F_2(X)$ modeli en uygun model olarak belirlenmesine rağmen Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'e bakıldığında gözlenen biniş sayılarını tahminde yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Bunun üzerine girdi verileri olan nüfus, GSMH ve araç sayısı değerleriyle oluşan vektörlerin saçılımına Şekil 5.37'de bakıldığında veriler büyüdükçe düzensizleştiği ve bir kümelenme oluşturduğu görülmüştür. Sadece girdi verileri kullanılarak k-ortalamlar kümeleme algoritması yardımıyla gözlenen bu kümelenmenin kümeleri ve merkezleri belirlenerek kullanılan girdi verileri Şekil 5.38'de verilen iki adet kümeye ayrılmıştır. Sadece girdi verileri üzerinden kümeleme işlemi yapılmış olmasına karşın kümeleme sonuçlarının gözlenen biniş verilerine yansıtılmasıyla biniş verilerinde gözlenen düzensizliğin de belirlenen bu kümeleme yardımıyla giderildiği Şekil 5.39'da görülmüştür. Gerçekleştirilen kümeleme üzerinden daha önce oluşturulan en iyi model güncellenerek değişkenleri tekrar DGA ile belirlenmiş ve 207,9298 HKO uygunluk değeri ile 5.14 eşitliğinde verilen $F(X)$ modeli oluşturulmuştur.

Oluşturulan $F(X)$ modeli $r^2=0,9376$, $NS=0,9375$, $HKOK/S=0,2449$, $YO=0,0006$ değerleri ile Tablo 5.10'da önerilen genel performans derecelendirmelerini yüksek yeterlilik ile sağlamakla birlikte Şekil 5.40 ve 5.41'de de görülebileceği üzere biniş değerlerini oldukça iyi şekilde modellemiştir. Mevcut verilerde oldukça başarılı olan modelin ileriye dönük tahmin konusunda performansı ayrıca denenmelidir.

DGA, her problem için farklı olarak belirlenmesi gereken CR ve F değerleri nedeniyle birçok deneme yapılmasına ihtiyaç duymaktadır. Buna rağmen yapılan denemeler de ve özellikle CR ve F değerleri için optimum dar bir aralık belirlendikten sonra hızlı yakınsama özelliği ile büyük başarı sağlamıştır. Çeşitli sayıda belirlenmesi gereken değişkene sahip modellerin hepsi üzerinde başarı sağlamıştır. Özellikle Şekil 5.42'de görüleceği üzere 16 değişken içeren $F(X)$ modelinde 425 iterasyon sayısına ulaştığında en iyi değeri yakalamış bulunmaktadır. DGA rastgele oluşturulan başlangıç popülasyonu, mutasyon, çaprazlama ve seleksiyon işlemleri ile 16 değişkenli zor bir eşitlikte dahi yerel minimum çözüme takılma riski olmayan ve başlangıç çözümünden bağımsız bir algoritma olduğunu göstermiştir.



Şekil 6.1: Tüm modellerin performans karşılaştırılması.

Kümeleme için kullanılan k-ortalamar algoritmasının başlangıç değerine bağımlı ve yerel minimum noktalarına takılabilen basit bir kümeleme algoritması olduğu konusu kaynaklarda sıklıkla geçmesine rağmen gerek kümelemede kullanılan girdi verilerinin adedinin az oluşu gerek ise girdi verilerinden oluşturulan vektörün üç boyutlu oluşu sebebiyle bahsi geçen olumsuzluklar ile karşılaşmamıştır. DGA ile beraber kullanılarak Şekil 6.1 de görüldüğü gibi her performans kriterinde çok

yüksek oranda başarı artışı sağlamıştır. Basit olması sebebiyle çalışması kolay ve hızlı bir kümeleme algoritma olduğunu, üç boyutlu veya daha az boyutlu veri vektörleri için kolaylıkla ve etkin olarak kullanılabileceğini görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- [1] Shelfer, K. M. and Procaccino, J. D., "Smart card evolution", *Communications Of The ACM*, 45 (7), 83–88, (2002).
- [2] Lu, H. K., "Network smart card review and analysis", *Computer Networks*, 51, 2234–2248, (2007).
- [3] Attoh-Okine, N. O. and Shen, L. D., "Security issues of emerging smart cards fare collection application in mass transit", *Vehicle Navigation And Information Systems Conference*, 523–526, (1995).
- [4] Pelletier, M.-P., Trépanier, M., and Morency, C., "Smart card data use in public transit: A literature review", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19 (4), 557–568, (2011).
- [5] Blythe, P. T., "Improving public transport ticketing through smart cards", *Proceedings Of The ICE - Municipal Engineer*, 157 (1), 47–54, (2004).
- [6] Hendry, M., "Multi-Application Smart Cards: Technology and Applications", *Cambridge University Press*, 227 (2007).
- [7] Dempsey, P. S., "Privacy Issues with the Use of Smart Cards", *SSRN Electronic Journal*, (2015).
- [8] Deri, A., "Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Toplu Ulaşım Yolculuk Talebinin Belirlenmesi ve Sefer Çizelgeleme Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ulaştırma Anabilim Dalı, İzmir, (2012).
- [9] Özuysal, M., Koçer, Uzunoğlu, U. Z., Akpulat, N., Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S., and Ceylan, H., "Akıllı Kart Verilerine Dayalı Güvenilirlik Ölçütlerinin Toplu Ulaşım Atama Modellerine Entegrasyonu", Rapor No: 112M117, (2015).

- [10] Özuysal, M., Çalışkanelli, S. P., and Tanyel, S., "Otobüs duraklarındaki yolcu iniş-biniş zamanları üzerine bir tartışma", *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 22 (6), 460–467, (2016).
- [11] Belbim A.Ş., "The Municipal Data Processing Corporation Of Istanbul [online]", (29 Ekim 2001), <http://www.webcitation.org/6VtppTLqc>, (2015).
- [12] Bagchi, M. and White, P., "What role for smart-card data from bus systems?", *Municipal Engineer*, 157 (1), 39–46, (2004).
- [13] Bagchi, M. and White, P. R., "The potential of public transport smart card data", *Transport Policy*, 12 (5), 464–474, (2005).
- [14] Deakin, E. and Kim, S., "Transportation Technologies: Implications for Planning", *Journal Of Transport And Land Use*, 8-27, (2001).
- [15] Cunningham, R. F., "Smart card applications in integrated transit fare, parking fee and automated toll payment systems-the MAPS concept", *Proceedings Of 1993 IEEE National Telesystems Conference*, 21–25, (1993).
- [16] McDonald, N., "Multipurpose Smart Cards in Transportation: Benefits and Barriers to Use", *University of California Transportation Center*, 1–27, (2000).
- [17] Ibrahim, M., "Car ownership and attitudes towards transport modes for shopping in Singapore", *Transportation*, 30 (4), 435–457, (2003).
- [18] Utsunomiya, M., Attanucci, J., and Wilson, N., "Potential Uses of Transit Smart Card Registration and Transaction Data to Improve Transit Planning", *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, 1971, 119–126, (2006).
- [19] Chira-Chavala, T. and Coifman, B., "Effects of Smart Cards on Transit Operators", *Transportation Research Record*, 1521 (1), 84–90, (1996).
- [20] Agard, B., Morency, C., and Trépanier, M., "Mining Public Transport User Behaviour from Smart Card Data", *IFAC Proceedings Volumes*, 39 (3), 399–404, (2006).

- [21] Trépanier, M., Ph, D., Eng, P., and Corresponding, A., "Enhancing household travel surveys using smart card data", *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, 1–15, (2009).
- [22] Trépanier, M. and Morency, C., "Assessing transit loyalty with smart card data", *12th World Conference On Transport Research, Lisbon, Portugal*, (2010).
- [23] Morency, C., Trépanier, M., and Agard, B., "Measuring transit use variability with smart-card data", *Transport Policy*, 14 (3), 193–203, (2007).
- [24] Munizaga, M., Palma, C., and Mora, P., "Public transport OD matrix estimation from smart card payment system data", *12th World Conference On Transport Research*, (2988), 1–16, (2010).
- [25] Hofmann, M., Wilson, S. P., and White, P., "Automated identification of linked trips at trip level using electronic fare collection data", *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, 4, 1–18, (2009).
- [26] White, P., Bagchi, M., Bataille, H., and East, S. M., "The role of smartcard data in public transport", *12th World Conference On Transport Research, Lisbon, Paper*, (1461), (2010).
- [27] Trépanier, M., Morency, C., and Agard, B., "Calculation of Transit Performance Measures Using Smartcard Data", *Journal Of Public Transportation*, 12 (1), 79–96, (2009).
- [28] Hickman, M., "Robust passenger itinerary planning using transit AVL data", *IEEE Conference On Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2002–Janua, 840–845, (2002).
- [29] Chapleau, R. and Chu, K. K. A., "Modeling Transit Travel Patterns from Location-Stamped Smart Card Data Using a Disaggregate Approach.", *11th World Conference On Transport Research*, (2007).
- [30] Bundayn, B. D. and Garside, G. R., *Optimisation Methods in Pascal*, London : Edward Arnold, (1987).

- [31] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Massachusetts : Addison Wesley, (1989).
- [32] Rechenberg, I., *Evolutionary Strategies: Optimizing Technical Systems with Principles of Biological Evolution*, Stuttgart : Frommann-Holzboog Verlag, (1973).
- [33] Storn, R. and Price, K., "Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces", *Journal Of Global Optimization*, 11 (4), 341–359, (1997).
- [34] Okkan, U. and Gedik, N., "Doğrusal Olmayan Bir Taşkın Öteleme Modelinin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Kalibrasyonu", *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 7 (1), 114–121, (2017).
- [35] Onwubolu, G. and Davendra, D., "Scheduling flow shops using differential evolution algorithm", *European Journal Of Operational Research*, 171 (2), 674–692, (2006).
- [36] Abou El Ela, A. A., Abido, M. A., and Spea, S. R., "Optimal power flow using differential evolution algorithm", *Electric Power Systems Research*, 80 (7), 878–885, (2010).
- [37] Karaboga, N. and Cetinkaya, B., "Design of Digital FIR Filters Using Differential Evolution Algorithm", *Circuits, Systems & Signal Processing*, 25 (5), 649–660, (2006).
- [38] Reddy, M. J. and Kumar, D. N., "Multiobjective Differential Evolution with Application to Reservoir System Optimization", *Journal Of Computing In Civil Engineering*, 21 (2), 136–146, (2007).
- [39] Tang, H., Xue, S., and Fan, C., "Differential evolution strategy for structural system identification", *Computers And Structures*, 86 (21–22), 2004–2012, (2008).
- [40] Slowik, A. and Bialko, M., "Training of artificial neural networks using differential evolution algorithm", *2008 Conference On Human System Interactions*, 60–65, (2008).

- [41] Jain, A. K., "Data clustering: 50 years beyond K-means", *Pattern Recognition Letters*, 31 (8), 651–666, (2010).
- [42] Frigui, H. and Krishnapuram, R., "A robust competitive clustering algorithm with applications in computer vision", *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 21 (5), 450–465, (1999).
- [43] Erman, J., Arlitt, M., and Mahanti, A., "Traffic classification using clustering algorithms", *Proceedings Of The 2006 SIGCOMM Workshop On Mining Network Data - MineNet '06*, 281–286, (2006).
- [44] Iwayama, M. and Tokunaga, T., "Hierarchical Bayesian clustering for automatic text classification", *Proceedings Of The 14th International Joint Conference On Artificial Intelligence-Volume 2*, 1322–1327, (1995).
- [45] Weijermars, W. and van Berkum, E., "Analyzing highway flow patterns using cluster analysis", *Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems*, 831–836, (2005).
- [46] Bartin, B., Ozbay, K., and Lyigun, C., "Clustering-based methodology for determining optimal roadway configuration of detectors for travel time estimation", *Transportation Research Record*, 2000 (2000), 98–105, (2007).
- [47] Papagiannakis, A., Bracher, M., and Jackson, N., "Utilizing Clustering Techniques in Estimating Traffic Data Input for Pavement Design", *Journal Of Transportation Engineering*, 132 (11), 872–879, (2006).
- [48] Crespo, F. and Weber, R., "A methodology for dynamic data mining based on fuzzy clustering", *Fuzzy Sets And Systems*, 150 (2), 267–284, (2005).
- [49] Sarle, W. S., Jain, A. K., and Dubes, R. C., "Algorithms for Clustering Data", *Technometrics*, 32 (2), 227, (1990).
- [50] Hartigan, J. A., Spath, H., and Ryzin, J. Van, "Clustering Algorithms", *Journal Of Marketing Research*, 18 (4), 487, (1981).
- [51] Anderberg, M. R., "Cluster analysis for applications", *Probability And Mathematical Statistics*, 1, 359, (1973).

- [52] Tan, P.-N., Steinbach, M., and Kumar, V., *Introduction to Data Mining*, Boston : Pearson Addison Wesley, (2005).
- [53] Özkan, Y., *Veri Madenciliği Yöntemleri*, İstanbul : Papatya Yayıncılık Eğitim, (2008).
- [54] Bishop, C. M., *Pattern Recognition and Machine Learning*, New York : Springer, (2006).
- [55] Steinhaus, H., "Sur la division des corps materiels en parties", *Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences*, 4 (3), 801–804, (1956).
- [56] Lloyd, S. P., "Least Squares Quantization in PCM", *IEEE Transactions On Information Theory*, 28 (2), 129–137, (1982).
- [57] Ball, G. H. and Hall, D. J., "ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification", *Analysis*, 1–79, (1965).
- [58] MacQueen, J. B., "Some methods for classification and analysis of multivariate observations", *Proceedings Of The 5th Berkeley Symposium On Mathematics Statistics And Probability*, 1 (14), 281–297, (1967).
- [59] Meilă, M., "The uniqueness of a good optimum for K-means", *Proceedings Of The 23rd International Conference On Machine Learning - ICML '06*, 625–632, (2006).
- [60] Mao, J. and Jain, A. K., "A self-organizing network for hyperellipsoidal clustering (HEC)", *IEEE Transactions On Neural Networks*, 7 (1), 16–29, (1996).
- [61] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, "2016 Mali Yılı Faaliyet Raporu", (2016).
- [62] Ma, X., Wu, Y. J., Wang, Y., Chen, F., and Liu, J., "Mining smart card data for transit riders' travel patterns", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 36 (February 2016), 1–12, (2013).

- [63] Paulley, N., Balcombe, R., Mackett, R., Titheridge, H., Preston, J., Wardman, M., Shires, J., and White, P., "The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership", *Transport Policy*, 13 (4), 295–306, (2006).
- [64] Balcombe, R., Mackett, R., Paulley, N., Preston, J., Shires, J., Titheridge, H., Wardman, M., and White, P., "The demand for public transport: a practical guide", *Transport Policy*, 13, 295–306, (2004).
- [65] Türkiye İstatistik Kurumu, "Adrese Dayalı Kayıt Sistemi Sonuçları [online]", (29 Ekim 2017), <http://www.tuik.gov.tr>, (2017).
- [66] OECD (2017), "Gross Domestic Product [online]", (29 Ekim 2017), <http://dx.doi.org/10.1787/b86d1fc8-en>, (2017).
- [67] Türkiye İstatistik Kurumu, "Motorlu Kara Taşıt Sayısı [online]", (29 Ekim 2017), <http://www.tuik.gov.tr>, (2017).
- [68] Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., "River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles", *Journal Of Hydrology*, 10 (3), 282–290, (1970).
- [69] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith, "Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations", *Transactions Of The ASABE*, 50 (3), 885–900, (2007).