

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ESTİTÜSÜ**

**KARAYOLU ULAŞIMINDA TAŞIT POTANSİYELİNİN BULANIK  
ZAMAN SERİSİ MODELLERİ İLE ÖNGÖRÜLMESİ**

**Ümit Can SÖYLEMEZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2019**

**KARAYOLU ULAŞIMINDA TAŞIT POTANSİYELİNİN BULANIK  
ZAMAN SERİSİ MODELLERİ İLE ÖNGÖRÜLMESİ**

**FORECASTING OF VEHICLE POTENTIAL IN LAND  
TRANSPORTATION USING A FUZZY TIME SERIES MODELS**

**Ümit Can SÖYLEMEZ**

Başkent Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

KALİTE Mühendisliğı Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

Yüksek Lisans Tezi Olarak Hazırlanmıştır.

## KABUL VE ONAY SAYFASI

“KARAYOLU ULAŞIMINDA TAŞIT POTANSİYELİNİ BULANIK ZAMAN SERİSİ MODELLERİ İLE ÖNGÖRÜLMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 28/01/2019 tarihinde, **KALİTE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
(Prof. Dr. Ergun ERASLAN)

Üye (Danışman) :.....  
(Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY)

Üye :.....  
(Dr. Öğr. Üyesi Barış KEÇECİ)

**ONAY**

..../..../2019

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 30 / 01 / 2019

Öğrencinin Adı, Soyadı : Ümit Can Söylemez

Öğrencinin Numarası : 21620369

Anabilim Dalı : Kalite Mühendisliği

Programı : Kalite Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Doç. Dr. Didem Kumru Atalay

Tez Başlığı : Karayolu Ulaşımında Taşıt Potansiyelinin Bulanık Zaman Serisi Modelleri İle Öngörülmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 52 sayfalık kısmına ilişkin, 30 / 01 / 2019 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 13'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını" inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası

Onay

... / 01 / 2019

Öğrenci Danışmanı Doç. Dr. Didem Kumru Atalay

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini benimle paylaőan, bana gősterdięi ilgi, emek ve tavsiyeleri ile her zaman yanımda olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Kumru Didem Atalay'a teőekkürlerimi sunarım.

Annem Emine Söylemez'e, babam Yusuf Söylemez'e ve ablalarım Őzlem, Őzgöl, Őzge Söylemez'e eğitim hayatım boyunca verdikleri maddi ve manevi sonsuz destek için çok teşekkür ederim.

**ÖZ**

**KARAYOLLARI ULAŞIMINDA TAŞIT POTANSİYELİNİN BULANIK ZAMAN SERİSİ MODELLERİ İLE ÖNGÖRÜLEMSİ**

ÜMİT CAN SÖYLEMEZ

Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Kalite Mühendisliği Anabilim Dalı

Son yıllarda belirsizlik ve eksik bilgi içeren birçok çalışmada bulanık zaman serileri analizi tahmin problemleri için uygun bir metot olarak seçilmektedir. İstatistiksel zaman serilerinin kısıtlarını barındırmaması ve geçmişe yönelik az sayıda bilgiyi analiz etmekte başarılı sonuçlar vermesi tercih edilme sebeplerini arttırmıştır. Bu çalışmada literatürde önerilmiş olan bulanık zaman serileri yöntemleri geliştirilmiş ve yeni bir model önerilmiştir. Literatürde bulunan bu iki yöntem ve önerilen yöntemler Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı 2000- 2017 taşıt- km verisi üzerinde uygulanmış ve elde edilen öngörüler kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda önerilen yöntem ile elde edilen öngörüler gerçek değerlere daha yakın sonuç verdiği gözlenmiştir. Elde edilen öngörüler ile karayolu planlaması, mühendisliği, işletmesi, güvenliği ve politikalarında iyileştirmeler yapılabileceği düşünülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Karayolları Taşıt Potansiyeli, Bulanık Zaman Serisi, Öngörü

**Danışman:** Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

## **ABSTRACT**

### **FORECASTING OF VEHICLE POTENTIAL IN LAND TRANSPORTATION USING A FUZZY TIME SERIES MODELS**

ÜMİT CAN SÖYLEMEZ

Baskent University, Institute of Science and Engineering

Department of Quality Engineering

In recent years, fuzzy time series analysis has been chosen as a suitable method for prediction problems in many studies containing uncertainty and incomplete data. The fact that it does not contain the limitations of statistical time series and that it can give successful results in analysis of limited data has increased its reasons for being used. In this study, the fuzzy time series methods proposed in the literature have been improved upon and a new method has been proposed. These two methods found in literature and the methods suggested have been applied to the General Directorate for Highways' 2000-2017 Vehicle - km data that was published and the predictions obtained have been compared. As a result of the comparison, it has been observed that the predictions yielded by the suggested method are closer to the real values. With the acquired predictions, it is thought that improvements could be made to Highway planning, engineering, management, safety and policies.

**KEYWORDS:** Potential Vehicle For Highways, Fuzzy Time Series, Forecasting

**Supervisor:** Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY, Baskent University, Department of Industrial Engineering

## İÇİNDEKİLER LİSTESİ

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ULAŞTIRMA KAVRAMI VE KARAYOLU.....</b>	<b>5</b>
<b>3. BULANIK MANTIK VE BULANIK ZAMAN SERİSİ.....</b>	<b>9</b>
3.1. Bulanık Mantık.....	9
3.2. Bulanık Zaman Serisi ve Yöntemleri.....	10
3.2.1. Chen'in Yöntemi.....	12
3.2.2. Huarng'ın Yöntemi.....	14
<b>4. ÖNERİLEN BULANIK ZAMAN SERİLERİ.....</b>	<b>17</b>
4.1. Yüzde 5 Oranına Dayalı Sınıf Aralığı.....	17
4.2. Frekans Ağırlıkları İle Bulanık Zaman Serisi.....	19
<b>5. KARAYOLLARI TAŞIT POTANSİYELİNDE BULANIK ZAMAN SERİSİ YAKLAŞIMI.....</b>	<b>23</b>
5.1. Chen'in Yöntemi ile Taşıtlı- km Verisine Uygulanması.....	24
5.2. Huarng Yöntemi ile Taşıtlı- km Verisine Uygulanması.....	27
5.3. Yüzde 5 Sınıf Aralığı Yöntemi ile Taşıtlı- km Verisine Uygulanması.....	29
5.4. Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Taşıtlı- km Verisine Uygulanması.....	33
5.5. Önerilen Model ile Mevcut Modellerin Karşılaştırması.....	38
<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKLAR LİSTESİ.....</b>	<b>43</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 5.1</b>	Chen' in Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü .....	39
<b>Şekil 5.2</b>	Huang Ortalama Tabanlı Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü.....	39
<b>Şekil 5.3</b>	Huang Dağılım Tabanlı Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü.....	40
<b>Şekil 5.4</b>	Yüzde 5 Sınıf Aralığı Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü .....	41

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge 2.1</b>	Otoyollar, devlet yolları ve il yolları üzerinde seyir ve taşımalar.....	8
<b>Çizelge 3.1</b>	Huarng Açıklık Baz Tablosu.....	15
<b>Çizelge 4.1</b>	Bulanık Zaman Seri Verisi.....	21
<b>Çizelge 4.2</b>	Bulanık Küme Frekans Çizelgesi .....	21
<b>Çizelge 5.1</b>	Taşıtlı- km Verisi .....	23
<b>Çizelge 5.2</b>	Bulanıklaştırma Çizelgesi .....	25
<b>Çizelge 5.3</b>	Bulanık Mantık İlişki Çizelgesi.....	26
<b>Çizelge 5.4</b>	Bulanık Mantık Grup İlişki Çizelgesi.....	26
<b>Çizelge 5.5</b>	Chen Öngörü Çizelgesi.....	26
<b>Çizelge 5.6</b>	Huarng Dağılım Tabanlı Uzunluk Öngörü Çizelgesi .....	28
<b>Çizelge 5.7</b>	Huarng Ortalama Tabanlı Uzunluk Öngörü Çizelgesi.....	29
<b>Çizelge 5.8</b>	Bulanıklaştırma Çizelgesi .....	31
<b>Çizelge 5.9</b>	Bulanık Mantık İlişki Çizelgesi.....	31
<b>Çizelge 5.10</b>	Bulanık Mantık Grup İlişki Çizelgesi .....	32
<b>Çizelge 5.11</b>	% 5 Yöntemi Öngörü Çizelgesi.....	32
<b>Çizelge 5.12</b>	Chen Bulanık Küme Frekans Çizelgesi.....	33
<b>Çizelge 5.13</b>	Chen Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Öngörü Çizelgesi.....	34
<b>Çizelge 5.14</b>	Huarng Ortalama Tabanlı Uzunluk Algoritması Frekans Çizelgesi ..	35
<b>Çizelge 5.15</b>	Huarng Ortalama Tabanlı Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Öngörü Çizelgesi .....	35
<b>Çizelge 5.16</b>	Huarng Dağılım Algoritması Frekans Çizelgesi .....	36
<b>Çizelge 5.17</b>	Huarng Dağılım Tabanlı Frekans Ağırlığı Öngörü Çizelgesi.....	36
<b>Çizelge 5.18</b>	% 5 Sınıf Aralığı Frekans Çizelgesi .....	37
<b>Çizelge 5.19</b>	% 5 Sınıf Aralığı Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Öngörü Çizelgesi .....	37
<b>Çizelge 5.20</b>	Yöntemlerin HKOK ve OMHY Sonuçları.....	38

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
Km	Kilometre
HKOK	Hata Kareleri Ortalaması Karekökü
OMHY	Ortalama Mutlak Yüzdellik Hata

## 1. GİRİŞ

Gelecekte olabilecek durum veya koşulları tahmin etmeye öngörü denir. Öngörü, karar verme mekanizmasına yardımcı olan büyük bir unsurdur. Yapılan öngörüler sayesinde gerçekleşebilecek olan zararlı durumların tespit edilebilmesi ve bu durumlar için önlem alınabilmesi ihtimali sağlamaktadır. Geçmişteki bilgilerden faydalanılarak geleceğe ait öngörü yapılabilir. Öngörü yöntemi kalitatif (nitel) ve kantitatif (nicel) olarak ikiye ayrılır. Kalitatif yöntemler, tecrübeye, kararlara ve bilirkişilerin düşünceleri gibi sübjektif kaynaklara dayanmaktadır. Kantitatif yöntemler, verilerin yapısını açıklayabilen istatistiksel modelleri temel alır. Zaman serileri analizi ise kantitatif yöntemlerdendir.

Kadılar (2009) zaman serilerini kronolojik sıra ile gözlemlenen veri olarak tanımlamıştır. Kayıt türlerine göre zaman serilerini kesikli ve sürekli olarak ikiye ayırmıştır. Elektrik sinyalleri, voltaj, ses titreşimleri gibi seriler sürekli zaman serisi olarak tanımlanabilir. Faiz oranı, satış hacmi, üretim miktarı gibi serilerde kesikli zaman serisi olarak tanımlanabilir. Zaman serileri verileri gözlem sıklığına göre yıllık veriler, altı aylık veriler, mevsimsel (çeyrek) veriler, aylık veriler ve günlük veriler olarak adlandırılırlar. Zaman serileri, bir dönem boyunca yukarı ya da aşağı doğru hareket halinde ise trend, belirli aylarda artış ya da azalış gösteriyor ise mevsimsel dalgalanma ve son olarak serinin hareketi belirli bir yapıya uymuyor ise düzensiz hareketler adı verilmektedir[1].

Akdi (2003) istatistik ve iktisadın önemli bir uygulaması olan zaman serilerini, periyodik aralıklar ile tutulmuş olan gözlemlerin sıralanmasıyla elde edilen veri olarak tanımlamıştır. Bilimin her alanında uygulama imkânı olan zaman serilerinin işletme, mühendis, jeofizik, meteoroloji, ziraat gibi bilim alanlarında da sıklıkla uygulamaları ile karşılanabilir. Zaman serilerine örnek olarak, bir fabrikada ihraç edilen aylık ürün, bir karayolunda belli bir periyotta meydana gelen kaza sayısı, yıllık ithalat ve ihracat miktarları, yıllık işsizlik oranları, bir şehirdeki aylık yağış miktarları

gibi birçok örnek verilebilir. Periyodik zaman aralıklarında yapılan gözlem dizisi olarak tanımlanan zaman serileri başka bir ifadeyle rastgele değişkenlerin birbirleriyle korelasyonu olarak da ifade edilebilir.  $T$  indis olmak üzere zaman serisi  $\{x_t: t \in T\}$  şeklinde ifade edilebilir. Bir zaman serisi genellikle doğal sayılar kümesi seçilmesine rağmen, tam sayılar kümesi veya  $T = [0,1]$  gibi sürekli aralıklarda indis kümesi olarak da alınabilir [2].

Wie (1989) bir zaman serisini gözlemlerin sıralı dizisi olarak tanımlamıştır. Zaman serileri birçok farklı alanlarda meydana gelebilir. Zaman serilerinin gözlemlendiği ve üstünde çalışıldığı alanların listesi sonsuzdur. Zaman serileri üzerinde çalışmak için pek çok farklı amaç vardır. Bunların içinde, üretme mekanizmasının anlayışı ve tanımını, gelecekteki değerlerin öngörülmesini ve bir sistemin en iyi şekilde kontrolü bulunabilir. Zaman serisinin gerçek doğası, gözlemlerin bağımlı veya ilişkili olmasıdır ve bundan dolayı gözlemlerin sırası önem arz etmektedir. Dolayısı ile bağımsızlık varsayımına dayanan istatistiksel prosedürler ve teknikler artık uygulanabilir değildir bu durumda farklı metotların kullanılması gerektirmektedir [3].

Talep tahminleri hayatın her alanında kullanıldığından, yanlış tahminler sonucunda hayatta birçok olumsuzluk ile karşı karşıya kalınabilir. Geleneksel tahmin yöntemleri belirsiz koşullar göz ardı edildiğinde gerçeklerden uzak sonuçlar üretebilmektedir ve bu yanlış sonuçlar kullanıcıyı yanlış kararlar almasına neden olabilir[4]. Deterministik sistem matematik ve fizikte sistemin gelecekteki durumlarının gelişmesinde rassallık bulunmayan bir sistemdir[5]. Ancak günlük yaşantımızda bu mümkün değildir. Bir parametrenin tek bir tahmin değerini bulmak araştırmacıyı yanlış sonuçlara götürebilmektedir. İstatistiksel modeller ise gözlemlerin toplanmasında bazı katı kısıtlar altında çalışabilme imkanı sağlamakta ve gözlem sayısı yetersiz olduğunda tahmin modelleri oluşturulamamaktadır. Bulanık mantık araçları belirsizliği en küçük hale indirdiğinden ve istatistiksel modellerin kısıtlamalarına sahip olmadığı için gerçeğe yakın sonuçlar üretmektedir.

Son yıllarda bulanık zaman serisi modelleri çeşitli problemleri çözmek için kullanılmaktadır [6]. Bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh (1965) tarafından ortaya

atılmıştır, ardından Song ve Chissom (1993a, 1993b, 1994) çalışmalarında bulanık zaman serisi kavramını Zadeh'in bulanık küme teorisine dayanarak önermişlerdir. Song ve Chissom bulanık zaman serilerinin tanımını ve modelinin ana hatlarını bulanık ilişkisel denklemler ve yaklaşık muhakeme ile ortaya koymuştur. Bulanık zaman serileri, tarihsel verilerin dilsel değerler olduğu tahmin problemleriyle başa çıkmak için kullanılabilecek yeni bir kavramdır [7]. Fass, Broks ve Kee (2002), Huarng ve Yu (2005), Shin ve Shon (2004), Wang (2002), Yu (2004) çalışmalarında üniversite kayıt tahminlerini Chen (1996), Song ve Chissom (1993b, 1994) çalışmalarında sıcaklık tahminlerini bulanık zaman serisi ile çözümlenmişlerdir [6]. Bulanık zaman serisi ile klasik zaman serisi arasındaki farklılıklardan birisi, klasik zaman serisi analizlerinin doğruluğu için en az 50 gözleme ihtiyaç duyulmasıdır. Bulanık zaman serisi yaklaşımı ile az sayıda gözlem olması durumunda ve doğruluk kısıtının sağlanmadığı durumlarda da gerçeğe daha yakın sonuçlara ulaşabilmektedir [8].

Geçmişten günümüze kadar insanoğlunun bir yerden bir yere hareket istekleri sürekli olarak devam etmiştir. Günlük hayatımızın eksilmez bir parçası olan ulaşım ve taşımacılık teknoloji ve evrimsel süreç ile birlikte gelişen bir hal almıştır. Türkiye'nin jeopolitik konumu göz önüne alındığında Asya ve Avrupa kıtası arasında köprü görevi görüşü ve üç tarafı denizler ile çevreli olması ulaşım ve taşımacılık açısından önemli bir rol oynamasını sağlamıştır. Ülkemizde sırası ile en çok tercih edilen ulaşım çeşitleri karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaşımıdır. Trafik verileri, karayolu ulaştırma sisteminde karar verilmesinde etkin bir karakterdir [9]. Performansa dayalı karar oluşturmak, veri merkezli karar oluşturmak, veri merkezli yönlendiricilik, veriye dayalı problem çözmek, daha etkili karar mekanizması oluşturmak, kuruluş performanslarını ölçmek için trafik sayımları yapılmıştır. Yapılan bu sayımlar karayolu planlaması, mühendisliği, işletmesi, güvenliği, istatistikleri ve politikalarını oluşturmakta kullanılmıştır [10]. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 1950 yılında kurulmuş olup, görevlerinden bir tanesi de trafik bilgilerinin elde edilmesi, değerlendirilmesi, denetlenmesi işlerini yürütmektir. Görev ve sorumluluk altında bulunan otoyol, devlet yolu ve il yolları üzerinde önceden belirlenmiş olan karayolları kesim noktaları ve dilimlerinde trafik ölçümleri yapmakta ve bu ölçümler doğrultusunda analiz ve sonuçlarını sunmaktadır [9].

Kalite kavramı bir ürün veya hizmet kalitesini müşteri istek ve beklentilerini karşılayan özelliklerin toplamıdır. Kullanıcı istekleri hem o anda mevcut olan hem de gelecekte oluşabilecek olanlardır. Başarılı sonuçlar elde edilebilmesi için üreticilerin gelecekte ortaya çıkabilecek istekleri tahmin edip bunları karşılayacak biçimde önlem ve planlamaları yapmalıdır. Ayrıca üreticiler bu istekleri her zaman karşılayabilmelidir [10]. Kalite iyileştirme sürecinde çeşitli yöntemler mevcuttur. İyileştirme, kuruluşların ürün ve hizmetlerinin kalitelerinin olumsuz etkenleri belirleyip bir yandan da kullanıcı memnuniyetinin düzeyini arttırmak için yapılan çalışmalardır [11].

Tüm bu bilgiler doğrultusunda, bu tez çalışmasında literatürde bulunan bulanık zaman serisi modellerine alternatif olarak yeni iki yaklaşım sunulmuştur. Önerilen yaklaşımlar karayollarında araç sayısının tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Uygulama aşamasında tahmin sonuçları var olan model tahminleri ile karşılaştırılmış ve performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Önerilen yöntemlerin performans ölçütlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Tahmin teknikleri konusunda bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda rahatlıkla kullanılacak yeni iki yaklaşım literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada 2. bölümde ulaştırma kavramı ve karayolu tanımından bahsedilmiştir, 3. bölümde bulanık mantık ve bulanık zaman serisi tanımlanmış ve önemli tanımlar verilmiştir, 4. bölümde önerilen bulanık zaman serileri tanımlanmıştır, 5. bölümde de karayolu araç potansiyelinde bulanık zaman serisi yaklaşımı ve önerilen yöntem ile karşılaştırmalardan bahsedilmiştir ve 6. bölümde sonuçlardan bahsedilmiştir.

## 2. ULAŖTIRMA KAVRAMI VE KARAYOLU

UlaŖtırma, insanlığın tarihi kadar eskidir. İnsanları ve eŖyaları kısa zamanda, az maliyette ve güvenli bir Ŗekilde taŖımak ulaŖtırmanın amacıdır. Eski zamanlarda hayvanlar ile gerçekteŖtirilen ulaŖım, tekerleğin icadı ile önemli bir çözüme kavuŖmuŖtur. Teknolojinin geliŖimine paralel olarak ulaŖtırma araçları da geliŖmiŖtir. İnsan hayatı ile bütün olan ulaŖtırma sistemi, ekonomik ve sosyal etkileriyle toplumu sürekli geliŖtiren bir yapıya sahiptir. UlaŖtırma sistemi bir ÷lkede ekonomik, sosyal ve kültürel faaliyetlerin canlanmasında etkin bir role sahiptir. Ülkenin geliŖmiŖlik seviyesi o ÷lkede ki ulaŖtırma sisteminin yeterliliği ve uygunluğu ile doğru oranda iliŖkilidir. GeliŖmekte olan ÷lkeler ulaŖtırma yöntemlerini araŖtırıp bire bir inceleyerek ulaŖtırma sisteminin, kaliteli, çevreye uyumlu ve ekonomik hale getirmenin yollarını aramaktadır. UlaŖtırma sektörü diğer sektörler gibi ürün üretebilen bir sektör değildir ancak diğer sektörler üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. UlaŖtırma sektörü bir hizmet sektörü olduğu için depolama yapılması mümkün değildir. Bu sebepten dolayı, ihtiyaç duyulan yere ihtiyaç duyulduğu miktarda sunulmalıdır. Aksi takdirde ihtiyaçtan fazla ulaŖım imkânı sunmak ÷lke ekonomisi için kayıp teŖkil etmektedir. UlaŖım politikalarının ÷lke koŖullarına uygun olarak tanımlanması ve dikkatli bir Ŗekilde uygulanması gerekmektedir [13].

UlaŖtırma sistemi, her biri kendine özgü ağı, taŖıt filosu ve iŖletme öğesine sahip olan karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu alt sistemlerinin bir araya gelmesi ile oluŖmaktadır. ÷lkemizde Cumhuriyet'in ilk yıllarında demiryolu ve denizyolu ulaŖtırma alanında yapılan yatırım, ticaret ve sanayi alanında önemli katkılarda bulunmuŖtur. Daha sonraki yıllarda demiryolu ulaŖımının ÷lke bütününe yayılamaması yüzünden; karayolu ulaŖımı hızlı ve esnek olmasından ötürü diğer ulaŖım türlerine göre daha fazla geliŖme göstermiŖtir [14]. BaŖka bir deyiŖle karayolu taŖımacılıđının tercih edilmesindeki baŖlıca sebepler noktalar arası aktarmasız ulaŖım olanağı vermesi, taŖıma kapasitesi ve güzergâh seçiminde esneklik sağlaması, yüklerin daha kolay ve belli mesafelere kadar daha hızlı taŖınabilmesidir [15].



Yayla (2006)' ya göre karayolu, tüm kara taşıtları ve yaya ulaşımı için güvenlik parametresi göz önünde bulundurularak belli standartlara göre yapılmış ve işaretlenmiş kamu hizmetine açık arazi şeridi, yol, otoyol, köprüler ve benzeri yapı alanları olarak tanımlanmıştır [16]. Karayolları Genel Müdürlüğü ise karayolunu, trafik için kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi, yol, otoyol, köprüler ve benzeri yapı ve alanlar olarak tanımlamıştır [17].

1950 yılında kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ilk hedefi, ülkenin bütün noktalarına ulaşabilmektir. O yıllarda az sayıda motorlu taşıt olduğundan, yüksek standartlı yollara ihtiyaç duyulmamıştır. 1950- 1960 yılları arasında yapılan çalışmaların amacı sağlık, eğitim gibi toplumsal hizmetlerin ülkenin bütün noktalarına, iklim koşulları fark etmeksizin, ulaştırabilmektir. Yollar bu dönemde kademeli inşaat sistemi gereği, bir yandan trafik yoğunluğuna uygun olarak iyileştirilmektedir. Diğer yandan ise yeni rotalar belirlenerek modern ölçülere uygun yol çeşitleriyle ülkenin ekonomik bölgeleri arasında yeni bağlantılar kurulması hedeflenmektedir. 1960'lı yıllarda, sürat teknikleri uygulanarak, Türkiye'nin o zaman için ihtiyaç duyduğu 60.000 km'lik yol ağı oluşturulmuştur. 1970 yılında motorlu taşıt sanayiinin kurulması ile karayolu politikasına yeni boyutlar katılmıştır. Trafik sıklığı olan bazı ana yollarda ve büyük şehir çevrelerinde çok şeritli yolların yapımı daha ekonomik olmuştur. Ekonomik değerlendirmelerin önem kazandığı bu tip yolların planlanması, finansmanı, projelendirilmesi ve yapımı diğer yollara göre karmaşık olduğundan yeni bir teknoloji gerekmiştir. Türkiye coğrafi konumundan gereği olarak Avrupa, Asya ve Afrika kıtaları arasında ulaştırma bağlantıları oluşturmak amacıyla büyük çaba gösteren ülkelerden birisidir. Türkiye'nin karayolları ağı sistemi, kendi ulusal gelişimi için aynı zamanda bulunduğu bölgede bütünlüğü korumak ve genel anlamda gelişmenin sağlanabilmesi için gereklilik teşkil etmektedir [18].

Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğu altında bulunan karayollarının uzunluğu Ocak 2018 tarihi itibarıyla 67.119 km olup, 3 sınıf yoldan oluşmaktadır [15]. Otoyol, yüksek standartlara sahip, trafik seyirinde asgari hız sınırlaması uygulanan, seyahat hızı yüksek ve üzerinde erişme kontrolünün uygulandığı karayoludur. İl yolu,

belediyeler ve diğ er kurumların sorumluluğ unda bulunan yollar dışında kalan illeri birbirine, devlet yollarını limanlara, tersanelere, hava alanlarına, demiryolu istasyonlarına ve kamu ihtiyaçlarının gerektirdiğ i diğ er yerlere bağlayan ve bir il sınırı içinde başlayıp biten karayoludur. Devlet yolu, belediyeler veya diğ er kurumların sorumluluğ unda bulunan yollar dışında kalan ve transit trafiğ i illere, limanlara, tersanelere, hava alanlarına, demiryolu istasyonlarına ve sınır kapılarına kesintisiz olarak ulaştıran ana karayoludur [17].

Trafik verisine, karayolu planlaması, projelendirilmesi, yapım, bakım ve işletmesi ile ilgili çalışmaların ölçülü ve bilimsel bir şekilde yapılması amacıyla proje sürecinin her aşamasında gereksinim duyulmaktadır. Bu veriler sayesinde, karayolu yatırımlarının elverişli olup olmadığı, hangi dönemde elverişli olacağı, bölgenin gelişimine nasıl bir katkı sağlayacağı, yol güvenliğinin sağlanması ve etkin işletilmesi gibi hususlarda karar ve politikalar oluşturulur. Trafik verisi kamu, özel sektörlerin ve araştırma kuruluşlarının ihtiyaç duyduğu önemli bir veridir. Bu nedenle ulaşılabilir ve güvenilebilir olması önem taşımaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü bu nedenle trafik verilerinin daha doğru ve hassas elde edilebilmesi için çalışmalarını arttırmış ve hızlandırmıştır. Trafik sayım sistemleri yol üzeri sistemler ve yol kenarı sistemler olarak iki grupta incelenebilir. Yol üzeri sistemlerinde, havalı hortum sistemleri, manyetik sarımlı sistemler, piezo elektrik sensörlü sistemler gibi sistemler kullanılmaktadır. Yol kenarı sistemlerinde ise en çok tercih edilen el sayımlarıdır. Son yıllarda Akıllı Ulaşım Sistemi kapsamında trafik yönetimi uygulamalarındaki ilerlemeler, video görüntülü sistemler, pasif ve aktif kızılötesi, ultrasonik, radar, lazer, mikrodalga gibi yol kenarı sayım sistemlerinin gelişmesini sağlamıştır [19].

**Çizelge 2.1 Otoyollar, devlet yolları ve il yolları üzerinde seyir ve taşımalar**

Yıl	Taşıt- km				Ton-km				Yolcu- km			
	Toplam	Otoyol	Devlet Yolu	İl Yolu	Toplam	Otoyol	Devlet Yolu	İl Yolu	Toplam	Otoyol	Devlet Yolu	İl Yolu
2000	<b>56.151</b>	6.324	44.216	5.611	<b>161.552</b>	19.732	130.511	11.309	<b>185.681</b>	22.288	147.542	15.851
2001	<b>52.631</b>	5.448	41.918	5.265	<b>151.421</b>	17.209	123.283	10.929	<b>168.211</b>	18.700	135.808	13.703
2002	<b>51.664</b>	6.030	40.504	5.130	<b>150.912</b>	19.388	121.157	10.367	<b>163.327</b>	20.468	128.952	13.907
2003	<b>52.349</b>	6.713	40.505	5.131	<b>152.163</b>	20.331	121.467	10.365	<b>164.311</b>	22.456	127.995	13.860
2004	<b>57.767</b>	7.764	44.328	5.675	<b>156.853</b>	23.735	123.340	9.778	<b>174.312</b>	25.979	132.784	15.549
2005	<b>61.129</b>	9.466	45.818	5.845	<b>166.831</b>	28.504	128.343	9.984	<b>182.152</b>	31.606	134.681	15.865
2006	<b>64.577</b>	11.528	47.055	5.994	<b>177.399</b>	32.926	134.361	10.112	<b>187.593</b>	37.994	133.608	15.991
2007	<b>69.571</b>	12.727	50.459	6.385	<b>181.330</b>	34.452	136.967	9.911	<b>209.115</b>	43.873	147.694	17.548
2008	<b>69.771</b>	13.131	50.255	6.385	<b>181.935</b>	36.925	135.607	9.403	<b>206.098</b>	44.394	144.378	17.326
2009	<b>72.432</b>	13.908	51.932	6.592	<b>176.455</b>	40.515	127.211	8.729	<b>212.464</b>	47.481	147.253	17.730
2010	<b>80.124</b>	14.949	58.159	7.016	<b>190.365</b>	42.941	138.921	8.503	<b>226.913</b>	50.378	158.072	18.463
2011	<b>85.495</b>	15.707	62.276	7.512	<b>203.072</b>	46.893	147.631	8.548	<b>242.265</b>	54.635	167.851	19.779
2012	<b>93.989</b>	16.379	64.661	12.949	<b>216.123</b>	48.751	151.722	15.650	<b>258.874</b>	56.923	172.226	29.725
2013	<b>99.161</b>	17.695	67.915	13.551	<b>224.048</b>	51.081	156.609	16.358	<b>268.178</b>	58.994	178.045	31.139
2014	<b>102.988</b>	18.759	70.246	13.983	<b>234.492</b>	53.729	163.918	16.845	<b>276.073</b>	60.200	183.566	32.307
2015	<b>113.274</b>	20.581	77.273	15.420	<b>244.329</b>	56.875	170.029	17.425	<b>290.734</b>	62.522	193.427	34.785
2016	<b>119.671</b>	21.344	81.202	17.125	<b>253.139</b>	58.279	174.985	19.875	<b>300.852</b>	63.274	199.171	38.407
2017	<b>127.997</b>	23.260	86.507	18.230	<b>262.739</b>	60.407	182.172	20.160	<b>314.734</b>	65.114	209.204	40.416

Çizelge 2.1’de Nisan 2018 yılında yayınlanan 2017 yılı karayolu ulaştırma istatistikleri bulunmaktadır [20]. Taşıt- km, motorlu bir kara taşıt aracının bir kilometre mesafedeki hareketiyle elde edilen trafik ölçü birimidir. Bir örnek ile açıklanacak olursa 5 km uzunluğundaki bir yol kesiminden geçen trafik 100 ise bu yol kesiminden günlük taşıt- km değeri 500 olarak hesaplanır. Taşıt- km değeri yolların ne kadar kullanıldığını ve yollar üzerindeki taşıt hareketliliğinin göstergesidir. Trafik sayım ve sınıflandırma bilgileri dikkate alınarak Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğundaki yollarda gerçekleşen taşıt- km değeri, taşıt sınıflarına göre yıllık bazda hesaplanmaktadır. Ton- km, bir ton yükün bir kilometre mesafe taşınması ile elde edilen trafik ölçü birimidir. Yolcu- km, bir yolcunun bir kilometre mesafeye taşınmasıyla elde edilen trafik ölçü birimidir. Bu değerler taşıma sistemlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasında kullanılır. Bütün taşıma sistemleri aynı birime getirilerek karşılaştırmalar yapılabilir. Ülkeler, bölgeler veya iller arasında ulaşım durumları arasındaki karşılaştırmalar kullanılabilir, bu da gelişimi göstermektedir. Ayrıca bu veriler kaza analizlerinin yapılmasında da kullanılabilirler [12].

### 3. BULANIK MANTIK VE BULANIK ZAMAN SERİSİ

Bu bölümde bulanık mantık ile temel tanımları, bulanık zaman serisi ile temel tanımları, Chen(1996) ve Huarng (2001) yöntemleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

#### 3.1. Bulanık Mantık

Gruplandırma yaparken verilerin hangi sınıfa ait olduğunu kesin olarak tanımlamak bir hedef gibi görülebilir. Sınıflandırma yaparken bazı verilerin ait olduğu gruplar öngörülebilir olurken bazı verileri sınıflandırmak güçtür. Zadeh (1965) bu sınıflandırma problemine bir önermede bulunmuştur. Zadeh bazı gruplamaların bilinen matematiksel anlayışına uyarlamasının zor olduğunu belirtmiştir. Buna rağmen grup ve sınıf oluşturmanın araştırmacılar tarafından tanımlama, enformasyon hakkında iletişim ve soyutlamada önemli bir yer tuttuğunu ortaya koymuştur. Zadeh'in oluşturduğu bulanık kümelerde sınıflar üyelik derecesine göre süreklilik sağlar. Bulanık kümeler araştırmalara bir çıkış noktası oluşturur. Buna göre araştırmacı daha geniş uygulama, sınıflama ve bilgiyi işleme alanına sahip olur. Literatüre üzerinde durulan önemli noktalardan biri ise, bulanık kümelerin kaynağın net tanımlı olmadığı durumlarda da çalışma imkânı sağlamasıdır.

Zadeh'e göre model tanımlaması;  $X$  tüm nesnelere kapsayan bir küme olup,  $x$  ise  $X$ 'in elemanıdır.

$$X = \{x\} \quad (3.1)$$

$X$  kümesine ait  $A$  bulanık serisinin üyelik fonksiyonu  $f_A(x)$  olup, tüm elemanları  $[0,1]$  arasında değerler alır. Burada  $f_A(x)$  fonksiyonu  $x$ 'in  $A$  bulanık serisindeki üyelik derecesini gösterir ve  $f_A(x)$ 'in değeri 1'e yaklaştıkça  $x$ 'in  $A$ 'daki üyelik derecesi yükselir. Bu bağlamda  $f_A(x)$ 'in alacağı 0 ya da 1 değeri  $x$ 'in  $A$ 'ya ait olup olmadığını belirler.

Zadeh'e göre bulanık mantığın temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- i. Bulanık mantığın tanımlı olduğu aralık  $[0,1]$  arasında bir derece ile ifade edilmektedir.
- ii. Bulanık mantık soyut düşünmeye elverişli olduğundan kesin tanımlar yerine, yaklaşık tanımlar kullanılır.
- iii. Bulanık mantık tanımlamaları matematiksel ifadeler yerine sözel ifadelerdir.
- iv. Bulanık sistemler mantıksal sistemleri kapsamaktadır.
- v. Bulanık mantık matematiksel anlamda tanımlamakta zorlandığımız sistemler için uygulama ve anlama açısından uygunluk sağlar [21].

Mamdani ve Assilian 1975 yılında buhar makinesi kontrolünü, bulanık mantık uygulaması ile modelledikten sonra, bulanık mantık çalışmaları dünyanın çeşitli yerlerinde birçok firma tarafından başarılı uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Japonya, Singapur, Kore ve Malezya' da ilgi görmeye başlayan bulanık mantık uygulaması bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolünde kullanılmıştır. Japon mühendisler tarafından birçok cihaz yapımında kullanılan bulanık mantık, 1980 yılından sonra elektrikli süpürge, çamaşır makinesi, asansör, yeraltı treni ve şirket işletme gibi pek çok alanda kullanılmıştır [22]. Bulanık mantığın geçerli olduğu iki durumundan söz edilebilir. Bunlardan birincisi; incelenen vakanın anlaşılmasız ve eksik bilgilerin bulunması durumunda araştırmacının fikir ve düşüncelerine yer vermesidir. İkincisi; insan akıl yürütmesi, algılama ve karar vermesine ihtiyaç duyan hallerdir [23].

### **3.2. Bulanık Zaman Serisi ve Yöntemleri**

İlk olarak bulanık zaman serisi Song ve Chissom (1993-a, 1993- b) tarafından ortaya atılmıştır. Chen (1996) çalışmasında Song ve Chissom tarafından önerilen yöntemi basitleştirmiştir ve karmaşık matris işlemleri yerine bulanık ilişki tablosundan faydalanmıştır. Bulanık zaman serisi yaklaşımları ile ilgili temel tanım ve teoremler aşağıda verilmiştir.

**Tanım 1.**  $Y(t)$  ( $t = \dots 0,1,2, \dots$ )  $t$ 'nin bir fonksiyonu olup,  $t$  reel sayıların bir alt kümesi olsun.  $f_i(t)$  ( $i = 1,2, \dots$ ) bulanık kümeleri  $Y(t)$  üzerinde tanımlı ve  $F(t)$ ,  $f_1(t), f_2(t), \dots$  'nin korelasyonu olduğu söylem evreni olsun. O zaman  $F(t)$ ' ye  $Y(t)$  üzerinde tanımlanmış bir bulanık zaman serisi denir.

Yukarıdaki tanımda  $F(t)$  sözel bir değişken olarak ifade edilebilir ve  $f_i(t)$  fonksiyonu  $F(t)$ ' nin muhtemel sözel değerlerini alır.

Geleneksel zaman serileri ve bulanık zaman serilerinin ana farkı, geleneksel yöntemde reel sayılar için tanımlı olma zorunluluğu bulunmaktayken bulanık zaman serilerinde bu koşul aranmamaktadır.

**Tanım 2.**  $F(t)$  sadece  $F(t - 1)$  tarafından etkileniyorsa buna birinci dereceden bulanık zaman serisi denir. Aralarındaki ilişki Eşitlik (3.2)'de ifade edilebilir.

$$F(t) = F(t - 1) \circ R(t, t - 1) \quad (3.2)$$

burada  $R(t, t - 1)$  fonksiyonu  $F(t)$ ,  $F(t - 1)$  arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

**Tanım 3.**  $R(t, t - 1)$  fonksiyonu  $F(t)$ 'nin birinci dereceden modeli olsun eğer herhangi  $t$ ,  $R(t, t - 1)$ 'den bağımsız ise  $F(t)$  serisi zamandan bağımsız bulanık zaman serisi olarak adlandırılır.

Modelin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki teoremler yardımcı olarak verilmiştir.

**Teorem 1.**  $F(t)$  bulanık zaman serisi olsun, herhangi bir  $t$  için  $F(t) = F(t - 1)$  ise ve  $F(t)$ 'nin sadece sonlu elemanları bulunuyorsa, bu durumda  $F(t)$  zamandan bağımsız bulanık zaman serisidir.

$f_i(t)$ ' nin  $i$  değerlerine karar vermek öznelidir. Aynı evrende zamandan bağımsız ya da zamana bağlı bulanık zaman serileri tanımlanabilir.

**Teorem 2.** Eğer  $F(t)$  bulanık zaman serisi ise  $F(t) = F(t - 1)$  eşitliği (herhangi bir  $t$  için)  $F(t)$  sadece sonlu elemana sahip ise  $m > 0$  olmak koşulu ile Eşitlik (3.3)'de verilmiştir.

$$R(t, t - 1) = \dots f_{i_1}(t - 1) \times f_{j_0}(t) \cup f_{i_2}(t - 2) \times f_{j_1}(t - 1) \cup \dots \cup f_{i_m}(t - m) \times f_{j_{m-1}}(t - m + 1) \quad (3.3)$$

Bu teorem zamanda bağımsız bulanık zaman serileri için birinci dereceden modellerin kolay ve uygun hesaplanmasına yardımcı olur. Eğer  $F(t) = F(t - 1)$  koşulu birbirini takip eden herhangi iki noktada sağlanırsa bu durumda zamandan bağımsız bulanık zaman serisi tanımlanabilir [24].

### 3.2.1. Chen'in Yöntemi

Chen (1996)'da, bulanık zaman serileri kavramına, Song ve Chissom (1994)'ün önerdiği yaklaşımı temel alarak farklı bir metot ile katkıda bulunmuştur. Bu metot aritmetik işlemleri basitleştirmek için ortaya atılmıştır. Zaman serileri modellerinde beklenmedik durumlar olduğunda tarihsel veri modele hemen cevap vermeyebilir. Bu da tutarsız tahminlere yol açar. Chen modelinde uyguladığı dağılım esaslı ve ortalama esaslı aralık uzunlukları metotları ile tahminin tutarlılığının arttırdığını belirtmiştir.

Chen'in bulanık zaman serileri kullanarak oluşturduğu tahmin algoritması aşağıda verilmiştir.

**Adım 1.** Evrensel küme ve aralıklarını tanımla.

Evrensel küme

$$U = (\text{en küçük değer} - d_i, \text{en büyük değer} + d_j) \quad (3.4)$$

biçimde tanımlanır. Burada  $d_i$  ve  $d_j$  araştırmacının belirlediği bütün gözlemleri kapsayacak bir şekilde tanımlanan tam sayıdır. Aralığın uzunluğuna karar verildikten sonra  $U$  eşit aralıklara sahip olma şartı ile  $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$  olacak şekilde parçalara ayrılır.

**Adım 2.** Bulanık kümeler  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ )'leri, evrene ve tarihsel verinin bulanıklığına göre tanımla.

$$A_i = f_{A_i}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_i}(u_k) \div u_k \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3.5)$$

burada  $f_{A_i}(u_k)$   $A_i$  bulanık kümesine ait bulanık fonksiyonu ifade etmektedir ve  $u_i$  alt aralıklarını ifade etmektedir.

**Adım 3.** Gözlemleri bulanıklaştır.

Örneğin, bir veri noktasının en büyük aitlik derecesi  $A_j$ 'nin içindeyse o veri noktası  $A_j$ 'ye bulanıklaştırılır.



**Adım 4.** Bulanık mantık ilişkisini ve grup ilişkisini kur.

Örneğin,  $A_1 \rightarrow A_2, A_1 \rightarrow A_1, A_1 \rightarrow A_3$  bulanık ilişkisi  $A_1 \rightarrow A_1, A_2, A_3$  şeklinde gruplandırılır.

**Adım 5.** Öngörü yap.

$$F(t - 1) = A_j \quad (3.6)$$

*Birinci durum;* Sadece bir adet bulanık mantık ilişkisi vardır. Eğer  $A_i \rightarrow A_j$  o zaman  $F(t)$  'nin öngörü değeri  $A_j$ 'ye eşittir.

*İkinci durum;* Birden fazla bulanık mantık ilişkisi vardır. Eğer  $A_i \rightarrow A_j \cdots A_k$  o zaman öngörü değeri  $A_i, A_j, \cdots, A_k$  ya eşittir.

**Adım 6.** Berraklaştırma işlemi yap.

Sonuçları elde etmek için ağırlık merkezleri metodu uygulanır. Bu metot en sık kullanılan berraklaştırma metodudur [6].

### 3.2.2. Huarng'ın Yöntemi

Bulanık zaman serisi yaklaşımında kritik kararlardan bir tanesi de aralık uzunluğunun seçimidir. Bu seçimin çok büyük olması dalgalanmayı yok edecek, çok küçük olması bulanık zaman serisi ile klasik analiz ayrımını ortadan kaldırmaktadır. Bunun için Huarng (2001) dağılım tabanlı uzunluk ve ortalama tabanlı uzunluk diye iki algoritma önermiştir. Bu yaklaşımlar aşağıda bahsedilmiştir.

**Çizelge 3.1 Huarng Açıklık Baz Tablosu**

Açıklık	Baz
0.1-1	0.1
1.1-10	1
11-100	10
101-1000	100
1001-10000	1000

***Dağılım tabanlı uzunluk için algoritma,***

1. Mutlak farklar ve mutlak farkların ortalamasını hesapla.  
 $A_{i+1}, A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n - 1$ ) arasındaki bütün mutlak farklar hesaplanır.
2. Hesaplanan ortalamaya göre Çizelge 3.1'den faydalanarak aralık uzunluğuna bir baz seç.
3. Adım 2'de bulunan baz kullanılarak mutlak farkların dağılımı sırala.
4. Adım 2'de karar verilen baza göre, mutlak farkların en az yarısından küçük olan en büyük uzunluğu aralık uzunluk olarak seç.

***Ortalama tabanlı uzunluk için algoritma,***

1. Dağılım tabanlı uzunluk algoritmasının ilk adımı uygula.
2. Mutlak farkların ortalamasının yarısını al ve uzunluk olarak kullan.
3. Adım 2'de bulunan uzunluk ile Çizelge 3.1'den faydalanarak aralık uzunluğuna bir baz seç.
4. Karar verilen baza göre uzunluğu yuvarlayıp, aralık uzunluğu olarak seç.

Yukarıda algoritmaları verilen bulanık zaman serileri yöntemlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, örnek bir zaman serisi verisine uygulaması yapılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Uygulama verileri sırasıyla 30, 50, 80, 120, 100 ve 70 olarak alınsın.

*Dağılım tabanlı uzunluk algoritması aşağıdaki gibi işletilebilir,*

1. Mutlak farklar ve mutlak farkların ortalamasını hesapla. Mutlak farklar; 20,30,40,20,30 olarak bulunur. Mutlak farklar ortalaması ise 28'dir.
2. Çizelge 3.1 kullanılarak, mutlak farkların ortalaması 28 değeri açıklık 11-100'e denk geldiğinden aralıklar uzunluğunun bazı 10 olarak seçilir.
3. 30'dan daha büyük mutlak farklara bakıldığında bir tane fark, 20'den daha büyük olan mutlak farklara bakıldığında ise üç tane olduğu görülür.
4. 20 mutlak farkların en az yarısından daha küçük ve aynı zamanda en büyük değer olduğu için aralık uzunluğu 20 olarak seçilir.

*Ortalama tabanlı uzunluk algoritması aşağıdaki gibi işletilebilir,*

1. Dağılım tabanlı uzunluk algoritmasının ilk adımı ile aynıdır. Mutlak farklar ve mutlak farkların ortalamasını hesapla. Mutlak farklar; 20,30,40,20,30 olarak bulunur. Mutlak farklar ortalaması ise 28'dir
2. Mutlak farkların ortalamasının yarısını uzunluk olarak al. Mutlak farklar ortalaması yarısı; 14'dür.
3. Adım 2'de hesaplanan uzunluk ile Çizelge 3.1'den faydalanarak aralık uzunluğunun bazı 10 olarak hesaplanır.
4. Uzunluk 14'ü 10 bazına göre yuvarlama işlemi yapıldığında aralık uzunluğu 10 olarak seçilir [25].

## 4. ÖNERİLEN BULANIK ZAMAN SERİLERİ

Bu bölümde literatürdeki bulanık zaman serisi yöntemlerinden yararlanılarak önerilen iki yeni yöntem tanıtılmış ve açıklanmıştır.

### 4.1. Yüzde 5 Oranına Dayalı Sınıf Aralığı

**Adım 1.** Evrensel kümeyi tanımla.

Evrensel küme  $U$ ,

$$U = (u_{enküçük} - d_a, u_{enbüyük} + d_a) \quad (4.1)$$

biçiminde tanımlanır.  $u_{enküçük}$  ile  $u_{enbüyük}$  değerleri gözlemlerimizin içlerinden bulunan en büyük ve en küçük değerleri ifade eder.  $d_a$  pozitif tam sayı olmak koşu ile evrensel kümede bulunan bütün gözlemleri kapsayacak biçimde tanımlanır. Aralık uzunluğu evrensel kümenin % 5'lik parçalanmaları şeklinde eşit aralıklarla 20 tane parçaya ayrılır. Bu durumda evrensel küme

$$U = (u_{\%5}, u_{\%5}, \dots, u_{\%5}) \quad (4.2)$$

Biçiminde ifade edilir, burada,  $u_{\%5}$  evrensel kümedeki gözlemlerin eşit parçalara bölünmüş alt aralıklarını ifade etmektedir.

**Adım 2.** Evrensel küme ve %5 aralık uzunlukları dikkate alınarak  $A_i$  bulanık kümelerini oluştur.

$A_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, 20$ ) oluşturulan alt aralıklara karşılık gelen bulanık kümeler,

$$A_i = f_{A_i}(u_{\%5}) \div u_{\%5} + \dots + f_{A_i}(u_{\%5}) \div u_{\%5} \quad i = 1, 2, \dots, 20 \quad (4.3)$$

biçiminde tanımlanır.  $f_{A_i}$ ,  $A_i$  bulanık kümesine ait bulanık fonksiyonu ifade etmektedir.

**Adım 3.** Her bir gözlemi bulunduğu aralığın en büyük aitlik derecesine göre, sahip olduğu bulanık küme ile eleştirilerek bulanıklaştır.

**Adım 4.** Bulanık Mantık ilişkisi ve grup ilişkisini kur.

$(t - 1)$  gözleminin ait olduğu bulanık küme  $A_i$  olsun.  $t$  gözleminin ait olduğu bulanık küme ise  $A_j$  olsun. Bulanık mantık ilişkisi kurulurken,  $(t - 1)$  gözleminin ait olduğu bulanık kümeden,  $t$  gözleminin ait olduğu bulanık kümesine çıkartılan ok ile gösterilir, tanımlanan bu ilişki  $A_i \rightarrow A_j$  şeklindedir.

Oluşturulmuş olan bulanık mantık ilişkileri gruplandırılır. Eğer bulanık küme tek bir tip mantıksal ilişkiye sahipse, örneğin  $A_i \rightarrow A_j$  ise bulanık mantık grubu da  $A_i \rightarrow A_j$  şeklinde kurulur. Birden fazla mantıksal ilişkiye sahip ise, örneğin  $A_i \rightarrow A_j$ ,  $A_i \rightarrow A_k$ ,  $A_i \rightarrow A_l$  ise bulanık grup ilişkisi  $A_i \rightarrow A_j, A_k, A_l$  şeklinde kurulur.

**Adım 5.** Öngörü yap.

$t$  gözlemine karşılık gelen bulanık kümenin, bulanık mantık grup ilişkisi bir tane yani  $A_i \rightarrow A_j$  şeklinde ise öngörüsü  $A_j$ 'dir. Eğer bulanık mantık ilişkisi grup ilişkisi birden fazla ise yani  $A_i \rightarrow A_j \dots A_k$  ise öngörü değeri  $A_j \dots A_k$  eşittir.

**Adım 6.** Berraklaştırma işlemi yap.

$(t + 1)$  gözleminin kestirim değerini hesaplamak için  $t$  gözleminin sahip olduğu bulanık kümeye bakılır.  $t$  gözleminin sahip olduğu bulanık kümenin, bulanık küme grup ilişkisi bir tane yani  $A_i \rightarrow A_j$  şeklinde ise  $A_j$  bulanık kümesine karşılık gelen  $u_j$  kümesinin orta noktası olan  $m_j$  kestirim değeri olur. Eğer  $t$  gözleminin sahip olduğu bulanık kümenin, bulanık küme grup ilişkisi birden fazla yani  $A_i \rightarrow A_1, A_2 \dots A_k$  şeklinde ise  $A_1, A_2 \dots A_k$  bulanık kümelerine karşılık gelen  $u_1, u_2 \dots u_k$  kümelerinin orta noktaların  $m_1, m_2, \dots, m_k$ 'nin ortalaması yani

$$\frac{m_1 + m_2 \dots + m_k}{k} \quad (4.4)$$

kestirim değeri olur.

## 4.2. Frekans Ağırlıkları İle Bulanık Zaman Serisi

**Adım 1.** Evrensel küme  $U$ 'yu tanımla.

$$U = (u_{enküçük} - d_a, u_{enbüyük} + d_a) \quad (4.5)$$

biçiminde tanımlanır.  $u_{enküçük}$  ile  $u_{enbüyük}$  değerleri gözlemlerimizin içlerinden bulunan en büyük ve en küçük değerleri ifade eder.  $d_a$  pozitif tam sayı olmak koşulu ile evrensel kümede bulunan bütün gözlemleri kapsayacak biçimde tanımlanır. Aralık uzunluğuna karar verildikten sonra evrensel küme eşit aralıklara sahip olma şartı ile parçalara ayrılır.

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_k) \quad (4.6)$$

$u_1, u_2, \dots, u_k$  evrensel kümedeki gözlemlerin eşit parçalara bölünmüş alt aralıklarını ifade etmektedir.

**Adım 2.** Evrensel küme ve sınıf aralıkları dikkate alınarak  $A_i$  bulanık kümelerini oluştur.

$$A_i = f_{A_i}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_i}(u_k) \div u_k \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4.7)$$

$A_i$  oluşturulan alt aralıklara karşılık gelen bulanık kümeleri ifade etmektedir.  $f_{A_i}$ ,  $A_i$  bulanık kümesine ait bulanık fonksiyonu ifade etmektedir.

**Adım 3.** Her bir gözlemi bulunduğu aralığın en büyük aitlik derecesine göre sahip olduğu bulanık küme ile eleştirilerek bulanıklaştır.

**Adım 4.** Bulanık Mantık ilişkisi, grup ilişkisi ve gözlemlerin eşleştiği bulanık kümelere göre bulanık kümelerin frekans tablosunu kur.

$(t - 1)$  gözleminin ait olduğu bulanık küme  $A_i$  olsun,  $t$  gözleminin ait olduğu bulanık küme de  $A_j$  olsun. Bulanık mantık ilişkisi kurulurken  $(t - 1)$  gözleminin ait olduğu bulanık kümesinden  $t$  gözleminin ait olduğu bulanık kümesine çıkartılan ok ile gösterilir, tanımlanan bu ilişki  $A_i \rightarrow A_j$  şeklindedir.

Oluşturulmuş olan bulanık mantık ilişkileri gruplandırılır. Eğer bulanık küme tek bir tip mantıksal ilişkiye sahipse, örneğin  $A_i \rightarrow A_j$  ise bulanık mantık grubu da  $A_i \rightarrow A_j$  şeklinde kurulur. Birden fazla mantıksal ilişkiye sahip ise, örneğin  $A_i \rightarrow A_j, A_i \rightarrow A_k, A_i \rightarrow A_l$  ise bulanık grup ilişkisi  $A_i \rightarrow A_j, A_k, A_l$  şeklinde kurulur.

Gözlemlerin hepsi birer bulanık kümeye sahip olduktan sonra, bulanık kümelerin kaç tane gözleme karşılık geldiği hesaplanır. Bulanık küme frekans tablosunun daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda bir örnek ile açıklanmıştır.

**Çizelge 4.1 Bulanık Zaman Seri Verisi**

No	Gözlem	Bulanık Küme
1	185.681	A <sub>4</sub>
2	168.211	A <sub>1</sub>
3	163.336	A <sub>1</sub>
4	164.305	A <sub>1</sub>
5	174.312	A <sub>2</sub>
6	182.137	A <sub>3</sub>
7	187.593	A <sub>4</sub>
8	209.001	A <sub>7</sub>
9	206.098	A <sub>7</sub>
10	212.464	A <sub>8</sub>

Çizelge 4.1'de 10 tane gözlem ve bu gözlemlere karşılık gelen bulanık kümeler bulunmaktadır. Gözlemlere karşılık gelen bulanık kümelerin frekansları aşağıdaki gibi çıkartılır.

**Çizelge 4.2 Bulanık Küme Frekans Çizelgesi**

Bulanık Küme	Frekans
A <sub>1</sub>	3
A <sub>2</sub>	1
A <sub>3</sub>	1
A <sub>4</sub>	2
A <sub>5</sub>	0
A <sub>6</sub>	0
A <sub>7</sub>	2
A <sub>8</sub>	1



**Adım 5.** Öngörü yap.

$t$  gözlemine karşılık gelen bulanık kümenin, bulanık mantık grup ilişkisi bir tane yani  $A_i \rightarrow A_j$  şeklinde ise öngörüsü  $A_j$ 'dir. Eğer bulanık mantık ilişkisi grup ilişkisi birden fazla ise yani  $A_i \rightarrow A_j \cdots A_k$  ise öngörü değeri  $A_j \cdots A_k$  eşittir.

**Adım 6.** Berraklaştırma işlemi yap.

$(t + 1)$  gözleminin kestirim değerini hesaplamak için  $t$  gözleminin sahip olduğu bulanık kümeye bakılır.  $t$  gözleminin sahip olduğu bulanık kümenin, bulanık küme grup ilişkisi bir tane yani  $A_i \rightarrow A_j$  şeklinde ise  $A_j$  bulanık kümesine karşılık gelen  $u_j$  kümesinin orta noktası olan  $m_j$  kestirim değeri olur. Eğer  $t$  gözleminin sahip olduğu bulanık kümenin, bulanık küme grup ilişkisi birden fazla yani  $A_i \rightarrow A_j, \cdots, A_k$  şeklinde ise  $A_j, \cdots, A_k$  bulanık kümelerine karşılık gelen  $u_j, \cdots, u_k$  kümelerinin orta noktaları  $m_j, \cdots, m_k$  ile bulanık kümelerin frekansları  $f_{A_i}, \cdots, f_{A_k}$ 'nin çarpımlarının toplamının alınması ve bu toplamın frekanslar toplamına bölünmesiyle yani

$$\frac{f_{A_i} \times m_i + \cdots + f_{A_k} \times m_k}{f_{A_i} + \cdots + f_{A_k}} \quad (4.8)$$

biçiminde hesaplanarak kestirim değeri bulunur.

## 5. KARAYOLLARI TAŞIT POTANSİYELİNDE BULANIK ZAMAN SERİSİ YAKLAŞIMI

Önerilen ve literatürde bulunan bulanık zaman serisi modelleri Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanmış olan otoyolları, devlet yolları ve il yolları üzerinde seyir ve taşımalar veri setinde bulunan Taşıtlar- km verilerine uygulanmıştır. Taşıtlar- km verisi aşağıdaki Çizelge 5.1 de verilen 2000 ile 2017 yılları arasında gerçekleşmiş olan 18 gözlemden oluşmaktadır.

**Çizelge 5.1 Taşıtlar- km Verisi**

Yıl	Taşıtlar- km			
	Toplam	Otoyol	Devlet Y.	İl Yolu
2000	<b>56.151</b>	6.324	44.216	5.611
2001	<b>52.631</b>	5.448	41.918	5.265
2002	<b>51.664</b>	6.030	40.504	5.130
2003	<b>52.349</b>	6.713	40.505	5.131
2004	<b>57.767</b>	7.764	44.328	5.675
2005	<b>61.129</b>	9.466	45.818	5.845
2006	<b>64.577</b>	11.528	47.055	5.994
2007	<b>69.571</b>	12.727	50.459	6.385
2008	<b>69.771</b>	13.131	50.255	6.385
2009	<b>72.432</b>	13.908	51.932	6.592
2010	<b>80.124</b>	14.949	58.159	7.016
2011	<b>85.495</b>	15.707	62.276	7.512
2012	<b>93.989</b>	16.379	64.661	12.949
2013	<b>99.161</b>	17.695	67.915	13.551
2014	<b>102.988</b>	18.759	70.246	13.983
2015	<b>113.274</b>	20.581	77.273	15.420
2016	<b>119.671</b>	21.344	81.202	17.125
2017	<b>127.997</b>	23.260	86.507	18.230

Çizelge 5.1'deki veriler kullanılarak öncelikle literatürde bulunan bulanık zaman serisi modellerinden Chen (1996) ve Huarng (2001) yöntemleri uygulanmış ve tahmin sonuçları sunulmuştur.

## 5.1. Chen'in Yöntemi ile Taşıtlı-km Verisine Uygulanması

**Adım 1.** Evrensel küme  $U = (51000,13500)$  olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan evrensel kümenin 7 eşit aralığa bölünmüş hali aşağıda verilmiştir.

$$u_1 = (51000, 63000)$$

$$u_2 = (63000, 75000)$$

$$u_3 = (75000, 87000)$$

$$u_4 = (87000, 99000)$$

$$u_5 = (99000, 111000)$$

$$u_6 = (111000, 123000)$$

$$u_7 = (123000, 135000)$$

**Adım 2.** Bulanık kümeler, evrensel küme ve tarihsel verinin bulanıklığına göre tanımlanmıştır.

$$A_1 = f_{A_1}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_7}(u_7) \div u_7$$

$$A_2 = f_{A_2}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_7}(u_7) \div u_7$$

$$A_3 = f_{A_3}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_7}(u_7) \div u_7$$

$$A_4 = f_{A_4}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_4}(u_7) \div u_7$$

$$A_5 = f_{A_5}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_5}(u_7) \div u_7$$

$$A_6 = f_{A_6}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_6}(u_7) \div u_7$$

$$A_7 = f_{A_7}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_7}(u_7) \div u_7$$

**Adım 3.** Taşıt- km gözlemleri en büyük üyelik derecesine göre bulanıklaştırılmıştır.

**Çizelge 5.2 Bulanıklaştırma Çizelgesi**

Yıllar	Gözlem	Bulanıklaştırma
2000	56.151	A <sub>1</sub>
2001	52.631	A <sub>1</sub>
2002	51.664	A <sub>1</sub>
2003	52.349	A <sub>1</sub>
2004	57.767	A <sub>1</sub>
2005	61.129	A <sub>1</sub>
2006	64.577	A <sub>2</sub>
2007	69.571	A <sub>2</sub>
2008	69.771	A <sub>2</sub>
2009	72.432	A <sub>2</sub>
2010	80.124	A <sub>3</sub>
2011	85.495	A <sub>3</sub>
2012	93.989	A <sub>4</sub>
2013	99.161	A <sub>5</sub>
2014	102.988	A <sub>5</sub>
2015	113.274	A <sub>6</sub>
2016	119.671	A <sub>6</sub>
2017	127.997	A <sub>7</sub>

**Adım 4.** Bulanık mantık ilişkisi ve grup ilişkisi Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'deki gibi kurulmuştur.

**Çizelge 5.3 Bulanık Mantık İlişki Çizelgesi**

$A_1 \rightarrow A_1$	$A_1 \rightarrow A_2$	$A_2 \rightarrow A_2$
$A_2 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_4$
$A_4 \rightarrow A_5$	$A_5 \rightarrow A_5$	$A_5 \rightarrow A_6$
$A_6 \rightarrow A_7$		

**Çizelge 5.4 Bulanık Mantık Grup İlişki Çizelgesi**

Bulanık Mantık Grup İlişkisi		
Grup 1	$A_1 \rightarrow A_1$	$A_1 \rightarrow A_2$
Grup 2	$A_2 \rightarrow A_2$	$A_2 \rightarrow A_3$
Grup 3	$A_3 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_4$
Grup 4	$A_4 \rightarrow A_5$	
Grup 5	$A_5 \rightarrow A_5$	$A_5 \rightarrow A_6$
Grup 6	$A_6 \rightarrow A_6$	$A_6 \rightarrow A_7$

**Adım 5. ve Adım 6.** Öngörü ve berraklaştırma adımları yapılmıştır. Berraklaştırma işlemi Bölüm 3.2.1’de verilen Chen Yöntemine göre, ağırlık merkezi metodu uygulanarak yapılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen öngörü değerleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5 Chen Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değer
2000	56.151	
2001	52.631	63.000
2002	51.664	63.000
2003	52.349	63.000
2004	57.767	63.000
2005	61.129	63.000
2006	64.577	63.000
2007	69.571	75.000
2008	69.771	75.000
2009	72.432	75.000
2010	80.124	75.000
2011	85.495	87.000
2012	93.989	87.000
2013	99.161	105.000
2014	102.988	117.000
2015	113.274	117.000
2016	119.671	123.000
2017	127.997	123.000
2018		123.000

## 5.2. Huarng Yöntemi ile Taşıt- km Verisine Uygulanması

Huarng yöntemi dağılım tabanlı uzunluk algoritması ve ortalama tabanlı uzunluk algoritması olarak Taşıt- km verisi üzerinde ayrı ayrı uygulanmıştır. Dağılım tabanlı uzunluk algoritmasına göre, Taşıt- km verisine uygulaması aşağıdaki gibidir.

1. Mutlak farklar ve mutlak farklar ortalaması hesaplanmıştır. Mutlak farklar sırasıyla 3.520, 967, 685, 5.418, 3.362, 3.448, 4.994, 200, 2.661, 7.692, 5.371, 8.494, 5.172, 3.827, 10.286, 6.397, 8.326 olarak hesaplanmıştır.  
Mutlak farkların ortalaması ise 4.754,12 olarak bulunmuştur.
2. Hesaplanan mutlak farkların ortalamasına göre Çizelge 3.1'deki Huarng'ın baz tablosundan faydalanarak, baz değeri 1000 olarak elde edilmiştir.
3. Hesaplanan mutlak farklar sıralanmıştır.
4. Adım 2'de karar verilen baza göre ilk farkların en az yarısından küçük olan en büyük uzunluk aralığı 5.000, sınıf uzunluk aralığı olarak alınır.

Aralık uzunluğu dağılım tabanlı uzunluk algoritmasına göre hesaplandıktan sonra Chen'in yöntemi uygulanarak öngörü değerleri Çizelge 5.6'daki gibi elde edilmiştir.

**Çizelge 5.6 Huarng Dağılım Tabanlı Uzunluk Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değer
2000	56.151	
2001	52.631	58.500
2002	51.664	56.000
2003	52.349	56.000
2004	57.767	56.000
2005	61.129	58.500
2006	64.577	66.000
2007	69.571	66.000
2008	69.771	71.000
2009	72.432	71.000
2010	80.124	78.500
2011	85.495	83.500
2012	93.989	93.500
2013	99.161	98.500
2014	102.988	103.500
2015	113.274	113.500
2016	119.671	118.500
2017	127.997	128.500
2018		128.500

Huarng yönteminin ortalama tabanlı uzunluk algoritmasının, Taşıtl- km verisine uygulaması aşağıdaki gibidir.

1. Mutlak fark ve mutlak farkların ortalaması dağılım tabanlı uzunluk algoritmasındaki gibi hesaplanır.
2. Mutlak farkların ortalamasının yarısı alınır ve 2377,06 olarak bulunur ve uzunluk olarak kullanılır.
3. Adım 2'de hesaplanan uzunluk ile çizelge 3.1'deki Huarng'ın baz tablosundan faydalanarak, baz değeri 1000 olarak hesaplanır.
4. Karar verilen baz, mutlak farkların ortalamasına göre yuvarlanarak aralık uzunluğu 2000 olarak bulunur.

Aralık uzunluğu ortalama tabanlı uzunluk algoritmasına göre hesaplandıktan sonra Chen'in yöntemi uygulanarak öngörü değerleri Çizelge 5.7'deki gibi elde edilmiştir.

**Çizelge 5.7 Huarng Ortalama Tabanlı Uzunluk Öngörü Çizlegesı**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değeri
2000	56.151	
2001	52.631	52.000
2002	51.664	55.000
2003	52.349	55.000
2004	57.767	55.000
2005	61.129	62.000
2006	64.577	64.000
2007	69.571	70.000
2008	69.771	71.000
2009	72.432	71.000
2010	80.124	80.000
2011	85.495	86.000
2012	93.989	94.000
2013	99.161	100.000
2014	102.988	102.000
2015	113.274	114.000
2016	119.671	120.000
2017	127.997	128.000
2018		128.000

### 5.3. Yüzde 5 Sınıf Aralığı Yöntemi ile Taşııt- km Verisine Uygulanması

Taşııt- km verisine önerilen yüzde 5 sınıf aralığı yöntemi uygulaması aşağıdaki gibidir.

**Adım 1.** Evrensel Küme tanımlanmıştır.

Taşııt- km verisinin en küçük ve en büyük değeri sırası ile 51.664 ve 127.997'dir. Bütün gözlemleri kapsayacak şekilde en küçük değerinden pozitif tam sayı çıkarılıp, en büyük değere de pozitif tam sayı eklendiğinde evrensel küme



$U = (51.000, 135.000)$  olarak tanımlanmıştır. Aralık uzunlukları evrensel kümenin %5 payını kapsayacak şekilde aşağıdaki gibi 20 tane alt aralıklara bölünmüştür.

$$u_1 = (51.000, 55.200)$$

$$u_2 = (55.200, 59.400)$$

$$u_3 = (59.400, 63.600)$$

$$u_4 = (63.600, 67.800)$$

$$u_5 = (67.800, 72.000)$$

$$u_6 = (72.000, 76.200)$$

$$u_7 = (76.600, 80.400)$$

$$u_8 = (80.400, 84.600)$$

$$u_9 = (86.600, 88.800)$$

$$u_{10} = (88.800, 93.000)$$

$$u_{11} = (93.000, 97.200)$$

$$u_{12} = (97.200, 101.400)$$

$$u_{13} = (101.400, 105.600)$$

$$u_{14} = (105.600, 109.800)$$

$$u_{15} = (109.800, 114.000)$$

$$u_{16} = (114.000, 118.200)$$

$$u_{17} = (118.200, 122.400)$$

$$u_{18} = (122.400, 126.600)$$

$$u_{19} = (126.600, 130.800)$$

$$u_{20} = (130.800, 135.000)$$

**Adım 2.** Evrensel küme ve %5 pay edilmiş alt aralıkları dikkate alınarak bulanık kümeler oluşturulmuştur.

$$A_1 = f_{A_1}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_1}(u_{20}) \div u_{20}$$

$$A_2 = f_{A_2}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_2}(u_{20}) \div u_{20}$$

⋮

$$A_{19} = f_{A_{19}}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_{19}}(u_{20}) \div u_{20}$$

$$A_{20} = f_{A_{20}}(u_1) \div u_1 + \dots + f_{A_{20}}(u_{20}) \div u_{20}$$

**Adım 3.** Her bir taşıt- km gözlemi bulunduğu aralığın en büyük aitlik derecesine göre sahip olduğu bulanık küme ile eleştirilerek bulanıklaştırılmış ve Çizelge 5.8'de verilmiştir.

**Çizelge 5.8 Bulanıklaştırma Çizelgesi**

Yıllar	Gözlem	Bulanıklaştırma
2000	56.151	A <sub>2</sub>
2001	52.631	A <sub>1</sub>
2002	51.664	A <sub>1</sub>
2003	52.349	A <sub>1</sub>
2004	57.767	A <sub>2</sub>
2005	61.129	A <sub>3</sub>
2006	64.577	A <sub>4</sub>
2007	69.571	A <sub>5</sub>
2008	69.771	A <sub>5</sub>
2009	72.432	A <sub>6</sub>
2010	80.124	A <sub>7</sub>
2011	85.495	A <sub>9</sub>
2012	93.989	A <sub>11</sub>
2013	99.161	A <sub>12</sub>
2014	102.988	A <sub>13</sub>
2015	113.274	A <sub>15</sub>
2016	119.671	A <sub>17</sub>
2017	127.997	A <sub>19</sub>

**Adım 4.** Bulanık mantık ilişkisi ve grup ilişkisi Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'daki gibi kurulmuştur.

**Çizelge 5.9 Bulanık Mantık İlişki Çizelgesi**

A <sub>2</sub> →A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> →A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> →A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> →A <sub>3</sub>
A <sub>3</sub> →A <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> →A <sub>5</sub>	A <sub>5</sub> →A <sub>5</sub>	A <sub>5</sub> →A <sub>6</sub>
A <sub>6</sub> →A <sub>7</sub>	A <sub>7</sub> →A <sub>9</sub>	A <sub>9</sub> →A <sub>11</sub>	A <sub>11</sub> →A <sub>12</sub>
A <sub>12</sub> →A <sub>13</sub>	A <sub>13</sub> →A <sub>15</sub>	A <sub>15</sub> →A <sub>17</sub>	A <sub>17</sub> →A <sub>19</sub>

**Çizelge 5.10 Bulanık Mantık Grup İlişki Çizelgesi**

Bulanık Mantık İlişkisi		
Grup 1	$A_1 \rightarrow A_1$	$A_1 \rightarrow A_2$
Grup 2	$A_2 \rightarrow A_1$	$A_2 \rightarrow A_3$
Grup 3	$A_3 \rightarrow A_4$	
Grup 4	$A_4 \rightarrow A_5$	
Grup 5	$A_5 \rightarrow A_5$	$A_5 \rightarrow A_6$
Grup 6	$A_6 \rightarrow A_7$	
Grup 7	$A_7 \rightarrow A_9$	
Grup 8	$A_9 \rightarrow A_{11}$	
Grup 9	$A_{11} \rightarrow A_{12}$	
Grup 10	$A_{12} \rightarrow A_{13}$	
Grup 11	$A_{13} \rightarrow A_{15}$	
Grup 12	$A_{15} \rightarrow A_{17}$	
Grup 13	$A_{17} \rightarrow A_{19}$	

**Adım 5. ve Adım 6.** Öngörü, berraklaştırma adımları uygulanır. Berraklaştırma işlemi Bölüm 3.2.1’de verilen Chen Yöntemine göre, ağırlık merkezi metodu uygulanarak yapılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen öngörü değerleri Çizelge 5.11’de verilmiştir.

**Çizelge 5.11 % 5 Yöntemi Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gözlem Değeri	Öngörü Değeri
2000	56.151	
2001	52.631	57.300
2002	51.664	55.200
2003	52.349	55.200
2004	57.767	55.200
2005	61.129	57.300
2006	64.577	65.700
2007	69.571	69.900
2008	69.771	72.000
2009	72.432	72.000
2010	80.124	78.300
2011	85.495	86.700
2012	93.989	95.100
2013	99.161	99.300
2014	102.988	103.500
2015	113.274	111.900
2016	119.671	120.300
2017	127.997	128.700
2018		128.700

#### 5.4. Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Taşıt- km Verisine Uygulanması

Önerilen frekans ağırlığı yönteminin, literatürdeki ve önerilen yöntemden farkı frekans tablosunun oluşturulması ve berraklaştırma işlemi yapılırken oluşturulan frekans tablosundan yararlanarak hesaplama işleminde frekans ağırlıklarının kullanılmış olmasıdır. Frekans ağırlığı yöntemi Chen'in yöntemi, Huarng'ın yöntemi ve %5 sınıf aralığı yöntemi içinde ayrı ayrı uygulanılmıştır. Uygulanan frekans ağırlığı yöntemi aşağıda verilmiştir.

Chen'in yöntemine uygulandığında, 7 adet bulanık küme için frekans tablosu Çizelge 5.12'de verilmiştir.

**Çizelge 5.12 Chen Bulanık Küme Frekans Çizelgesi**

Bulanık Küme	Frekans
A <sub>1</sub>	6
A <sub>2</sub>	4
A <sub>3</sub>	2
A <sub>4</sub>	1
A <sub>5</sub>	2
A <sub>6</sub>	2
A <sub>7</sub>	1

Frekans tablosu oluşturulduktan sonra berraklaştırma adımında ağırlık merkezi metodu yerine frekans ağırlıklı yöntemi,  $\frac{f_{A_i} \times m_i + \dots + f_{A_k} \times m_k}{f_{A_i} + \dots + f_{A_k}}$  formülü yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen öngörü değerleri Çizelge 5.13'de verilmiştir.

**Çizelge 5.13 Chen Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değer
2000	56.151	
2001	52.631	61.800
2002	51.664	61.800
2003	52.349	61.800
2004	57.767	61.800
2005	61.129	61.800
2006	64.577	61.800
2007	69.571	73.000
2008	69.771	73.000
2009	72.432	73.000
2010	80.124	73.000
2011	85.495	85.000
2012	93.989	85.000
2013	99.161	105.000
2014	102.988	111.000
2015	113.274	111.000
2016	119.671	121.000
2017	127.997	121.000
2018		121.000

Huarng'ın dağılım tabanlı uzunluk algoritması ve ortalama tabanlı uzunluk algoritmasına göre frekans ağırlığı yöntemi ayrı ayrı uygulanmıştır. Ortalama tabanlı uzunluk algoritmasında 39 adet bulanık küme için frekanslar Çizelge 5.14'de verilmiştir.

**Çizelge 5.14 Huarng Ortalama Tabanlı Uzunluk Algoritması Frekans Çizelgesi**

Bulanık Küme	Frekans	Bulanık Küme	Frekans	Bulanık Küme	Frekans
A1	3	A14	0	A27	0
A2	0	A15	1	A28	0
A3	1	A16	0	A29	0
A4	1	A17	0	A30	0
A5	0	A18	1	A31	0
A6	1	A19	0	A32	1
A7	1	A20	0	A33	0
A8	0	A21	0	A34	0
A9	0	A22	1	A35	1
A10	2	A23	0	A36	0
A11	1	A24	0	A37	0
A12	0	A25	1	A38	0
A13	0	A26	1	A39	1

Frekans tablosu oluşturulduktan sonra frekans ağırlığı yöntemi ile elde edilen öngörü değerleri Çizelge 5.15'de verilmiştir.

**Çizelge 5.15 Huarng Ortalama Tabanlı Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değeri
2000	56.151	
2001	52.631	52.000
2002	51.664	53.500
2003	52.349	53.500
2004	57.767	53.500
2005	61.129	62.000
2006	64.577	64.000
2007	69.571	70.000
2008	69.771	70.667
2009	72.432	70.667
2010	80.124	80.000
2011	85.495	86.000
2012	93.989	94.000
2013	99.161	100.000
2014	102.988	102.000
2015	113.274	114.000
2016	119.671	120.000
2017	127.997	128.000
2018		128.000

Dağılım tabanlı uzunluk algoritmasında 16 adet bulanık küme için frekans tablosun Çizelge 5.16'da verilmiştir.

**Çizelge 5.16 Huarng Dağılım Algoritması Frekans Çizelgesi**

Bulanık Küme	Frekans	Bulanık Küme	Frekans
A <sub>1</sub>	3	A <sub>9</sub>	1
A <sub>2</sub>	2	A <sub>10</sub>	1
A <sub>3</sub>	2	A <sub>11</sub>	1
A <sub>4</sub>	2	A <sub>12</sub>	0
A <sub>5</sub>	1	A <sub>13</sub>	1
A <sub>6</sub>	1	A <sub>14</sub>	1
A <sub>7</sub>	1	A <sub>15</sub>	0
A <sub>8</sub>	0	A <sub>16</sub>	1

Frekans tablosu oluşturulduktan sonra frekans ağırlığı yöntemi ile elde edilen öngörü değerleri Çizelge 5.17'de verilmiştir.

**Çizelge 5.17 Huarng Dağılım Tabanlı Frekans Ağırlığı Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değer
2000	56.151	
2001	52.631	57.500
2002	51.664	55.500
2003	52.349	55.500
2004	57.767	55.500
2005	61.129	57.500
2006	64.577	66.000
2007	69.571	66.000
2008	69.771	70.167
2009	72.432	70.167
2010	80.124	78.500
2011	85.495	83.500
2012	93.989	93.500
2013	99.161	98.500
2014	102.988	103.500
2015	113.274	113.500
2016	119.671	118.500
2017	127.997	128.500
2018		128.500

Yüzde 5 sınıf aralığı yöntemine uygulandığında, 20 adet bulanık küme için frekans tablosu Çizelge 5.18'de verilmiştir.

**Çizelge 5.18 % 5 Sınıf Aralığı Frekans Çizelgesi**

Bulanık Küme	Frekans	Bulanık Küme	Frekans
A <sub>1</sub>	3	A <sub>11</sub>	1
A <sub>2</sub>	2	A <sub>12</sub>	1
A <sub>3</sub>	1	A <sub>13</sub>	1
A <sub>4</sub>	1	A <sub>14</sub>	0
A <sub>5</sub>	2	A <sub>15</sub>	1
A <sub>6</sub>	1	A <sub>16</sub>	0
A <sub>7</sub>	1	A <sub>17</sub>	1
A <sub>8</sub>	0	A <sub>18</sub>	0
A <sub>9</sub>	1	A <sub>19</sub>	1
A <sub>10</sub>	0	A <sub>20</sub>	0

Frekans tablosu oluşturulduktan sonra frekans ağırlığı yöntemi ile elde edilen öngörü değerleri Çizelge 5.19'da verilmiştir.

**Çizelge 5.19 % 5 Sınıf Aralığı Frekans Ağırlığı Yöntemi ile Öngörü Çizelgesi**

Yıllar	Gerçek Değer	Öngörü Değer
2000	56.151	
2001	52.631	55.200
2002	51.664	54.780
2003	52.349	54.780
2004	57.767	54.780
2005	61.129	55.200
2006	64.577	65.700
2007	69.571	69.900
2008	69.771	71.300
2009	72.432	71.300
2010	80.124	78.300
2011	85.495	86.700
2012	93.989	95.100
2013	99.161	99.300
2014	102.988	103.500
2015	113.274	111.900
2016	119.671	120.300
2017	127.997	128.700
2018		128.700



## 5.5. Önerilen Model ile Mevcut Modellerin Karşılaştırması

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanmış olan, otoyolları, devlet yolları ve il yolları üzerinde seyir ve taşımalar veri setinde bulunan Taşıt- KM verilerine Chen'in yöntemi, Huanrg'ın dağılım tabanlı uzunluk algoritması ve ortalama tabanlı uzunluk algoritması, yüzde 5 sınıf aralığı yöntemi ve frekans ağırlığı yöntemleri uygulanmıştır. Uygulanan bulanık zaman serisi modellerinin sonuçları ile elde edilen öngörülerin, bir birleriyle karşılaştırılabilmesi için aşağıda verilen, hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) ve ortalama mutlak yüzdellik hata (OMHY) ölçütleri, hesaplanarak incelenmiştir. Çözümleme aşamasında MS Office Excel programı kullanılmıştır.

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{n}} \quad (5.1)$$

$$OMHY = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - \hat{X}_i}{X_i} \right| \quad (5.2)$$

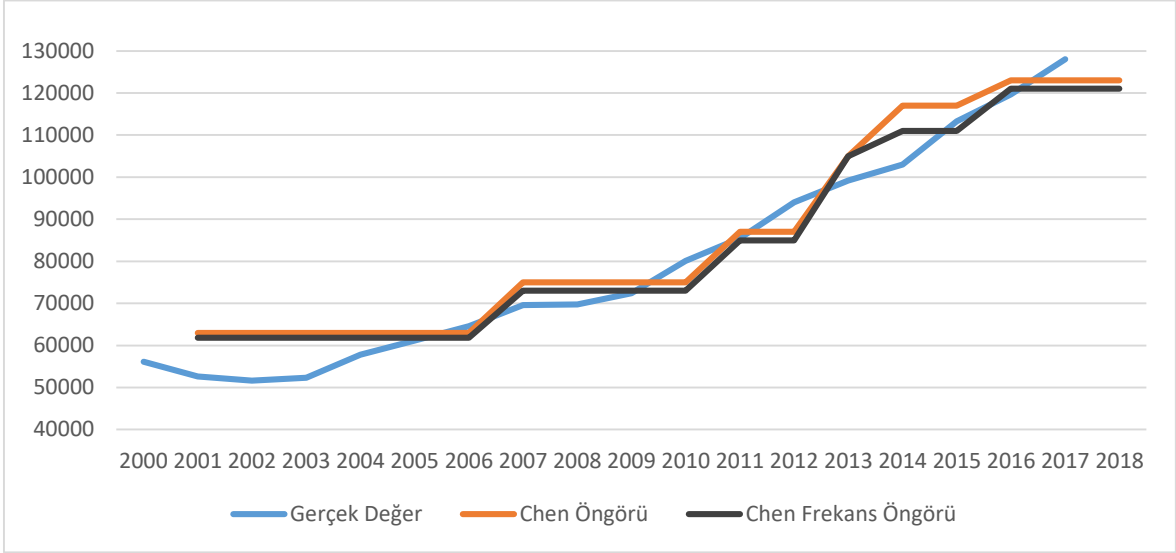
Yüzde 5 sınıf aralığı, frekans ağırlığı, Chen'in yöntemi ve Huanrg'ın yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm yöntemlerin HKOK ve OMHY değerleri ayrı ayrı hesaplanarak Çizelge 5.20'de verilmiştir.

**Çizelge 5.20 Yöntemlerin HKOK ve OMHY Sonuçları**

	Chen'in Yöntemi	Chen'in Frekans Ağırlıklı Yöntemi	Yüzde 5 Sınıf Aralığı	Yüzde 5 Sınıf Frekans Ağırlıklı	Huanrg Ortalama Tabanlı	Huanrg Ortalama Tabanlı Frekans Ağırlıklı	Huanrg Dağılım Tabanlı	Huanrg Dağılım Tabanlı Frekans Ağırlıklı
OMHY	8,262%	7,006%	2,686%	2,599%	1,627%	1,440%	3,092%	3,012%
HKOK	6876,99	5985,49	2159,5	2174,12	1406,58	1352,15	2475,51	2375,81

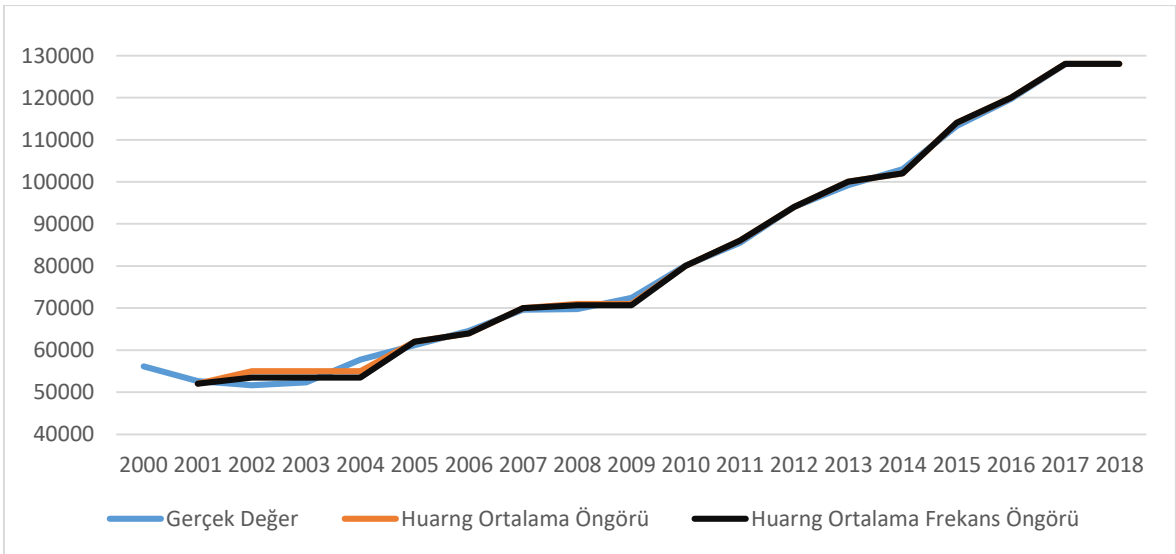
En iyi yöntemin OMHY ve HKOK değerlerine bakılarak Huanrg Ortalama Tabanlı Frekans Ağırlıklı yöntemi ondan sonra ikinci en iyi yöntemin Huanrg Ortalama Tabanlı yöntemini olduğu görülmüştür. Uygulama sonucunda en kötü sonucu da Chen'in yöntemi olduğu görülmüştür. Frekans ağırlığı yönteminin bütün uygulanan yöntemler ile elde edilen sonuçların iyileştirdiği görülmüştür.

2000-2018 yılları arasında Karayolları taşıt sayılarına ait gerçek değerler ve açıklanan her bir yöntemle elde edilen öngörü değerleri aşağıdaki grafiklerde ayrıntılı olarak incelenmiştir ve yorumlanmıştır.



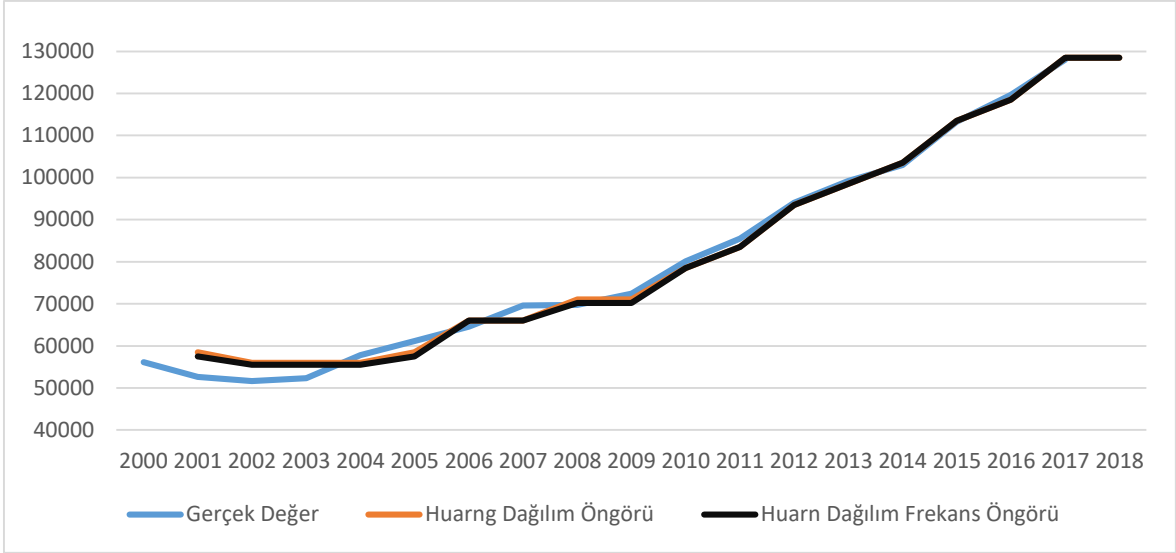
**Şekil 5.1** Chen' in Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi 2000-2018 yılları arasında Karayolları taşıt sayıları incelendiğinde, gerçek değerler, Chen'in yöntemi ve Chen'in yönteminden yararlanarak oluşturulan Chen'in frekans ağırlığı yönteminden elde edilen araç sayısı öngörülerinin birbirlerine yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.



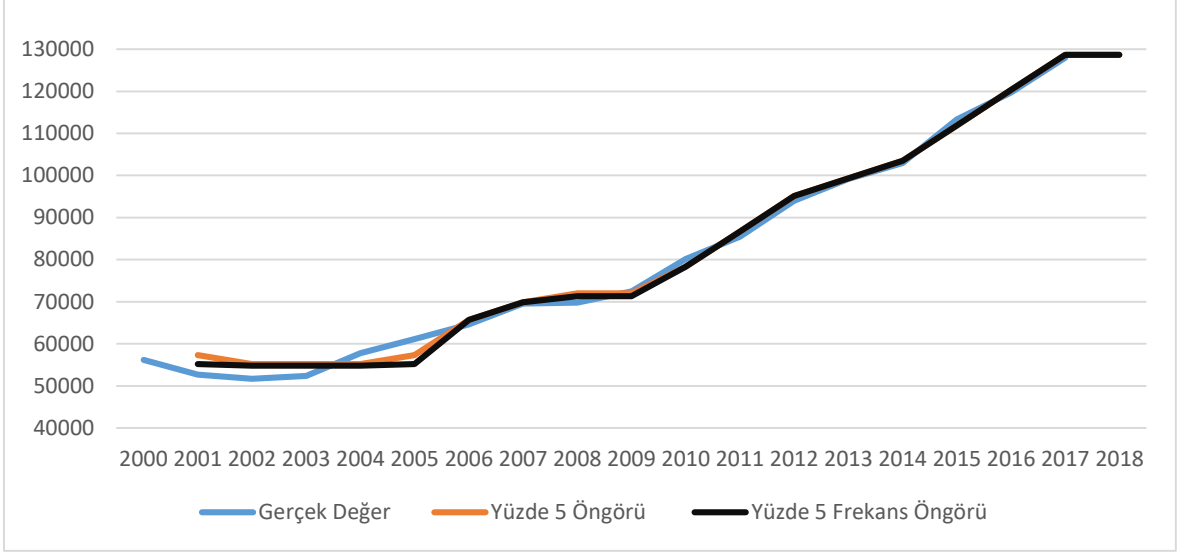
**Şekil 5.2** Huarng Ortalama Tabanlı Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi 2000-2018 yılları arasında Karayolları taşıt sayıları incelendiğinde, gerçek değerler, Huarng Ortalama yöntemi ve Huarng Ortalama yönteminden yararlanarak oluşturulan Huarng Ortalama frekans ağırlığı yönteminden elde edilen araç sayısı öngörülerinin birbirlerine yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.



### Şekil 5.3 Huarng Dağılım Tabanlı Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü

Şekil 5.3'de görüldüğü gibi 2000-2018 yılları arasında Karayolları taşıt sayıları incelendiğinde, gerçek değerler, Huarng Dağılım yöntemi ve Huarng Dağılım yönteminden yararlanarak oluşturulan Huarng Dağılım frekans ağırlığı yönteminden elde edilen araç sayısı öngörülerinin birbirlerine yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 5.4** Yüzde 5 Sınıf Aralığı Algoritması ve Frekans Ağırlıklı Öngörü

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi 2000-2018 yılları arasında Karayolları taşıt sayıları incelendiğinde, gerçek değerler, Yüzde 5 sınıf aralığı yöntemi ve Yüzde 5 sınıf aralığı yönteminden yararlanarak oluşturulan Yüzde 5 sınıf aralığı frekans ağırlığı yönteminden elde edilen araç sayısı öngörülerinin bir birlerine yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.

## 6. SONUÇ

İstatistiksel zaman serileri modelleri gözlem sayısı yetersiz olduğunda kullanılamamaktadır. Eğer geçmişe yönelik az sayıda bilgi mevcutsa tahmin yöntemleri için bulanık mantık iyi bir yol olmaktadır.

Tez kapsamında literatürde var olan bulanık zaman serisi modellerini geliştirip daha iyi öngörüler vermesi amaçlanmıştır. Geliştirilen iki yeni metot incelenen HKOK ve OMHY ölçütlerine göre değerlendirilmiş ve var olan modellere göre gerçek değerlere daha yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu sayede öngörü performansı daha üst seviyelere taşınmıştır. Çalışma kapsamında geliştirme gösterilen iki yöntem dünyada büyük önem gösteren karayolları taşıt sayıları verileri üzerinde uygulanmış ve belirlenen yıllar için tahmini taşıt sayıları elde edilmiştir.

Uygulama sonucunda elde edilen 2018 taşıt verileri karayolları tarafından karayolu planlaması, mühendisliği, işletmesi, güvenliği ve politikası gibi birçok alanda kullanılabilir. Bu öngörülere göre amaç ve hedeflerinde iyileştirmeler, bu iyileştirmeler sayesinde de müşteri memnuniyetinde iyileştirmeler yapılabilir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Kadılar, C. (2009). SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- [2] Akdi, Y. (2012). Zaman serileri analizi: Birim kökler ve kointegrasyon. Gazi Kitabevi.
- [3] Wei, W., W., S., (1989). Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods. USA :Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1-2.
- [4] Uçal, İ. (2011). Bulanık Zaman Serileri İle Talep Tahmini.
- [5] Wikipedia 11.01.2019 tarihinde [https://tr.wikipedia.org/wiki/Deterministik\\_sistem](https://tr.wikipedia.org/wiki/Deterministik_sistem)
- [6] Cheng, C. H., Chen, T. L., Teoh, H. J., & Chiang, C. H. (2008). Fuzzy time-series based on adaptive expectation model for TAIEX forecasting. Expert systems with applications, 34(2), 1126-1132.
- [7] Chen, S. M. (1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. Fuzzy sets and systems, 81(3), 311-319.
- [8] Uçal, İ. (2011). Bulanık Zaman Serileri İle Talep Tahmini.
- [9] Sütekin, M, Y. (2014) Karayolları 5. bölge yol ağı trafiğinin belirlenmesi Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- [10] Boran, S. (2000). Toplam Kalite Yönetimi.
- [11] Çevik, O., & Gamze, A. R. A. N. (2007). Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA)\* Ve Piston Üretiminde Bir Uygulama. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 8(16), 241-265.
- [12] Karayolları Genel Müdürlüğü 14.01.2019 tarihinde <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Root/SSS/TrafikSayimi.aspx>
- [13] Akgüngör, A. P., & Demirel, A. (2004). Türkiye'deki Ulaştırma Sistemlerinin Analizi Ve Ulaştırma Politikaları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(3), 423-430.
- [14] Sait, K. A. Y. A. (2008). Türkiye'de ulaştırma sektörünün genel görünümü ve sorunları.

- [15] Deniz, T. (2016). Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler Ve Mevcut Durum. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 135-156.
- [16] Yayla, N. (2006). *Karayolu Mühendisliği*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 285s.
- [17] T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Ulaştırma Ve Haberleşme Terimler Sözlüğü, 2011
- [18] Karayolları Genel Müdürlüğü 14.01.2019 tarihinde <http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx>
- [19] KGM Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı “Devlet Yolları Trafik Akımı Özellikleri ve Trafik Parametreleri” Aralık- 2009
- [20] T.C. Ulaştırma Denizcilik Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, *Otoyollar, Devlet Ve İl Yolları Üzerinde Seyir Ve Taşımlar*, Nisan 2018
- [21] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- [22] Şen, Z., *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*, Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 2001.
- [23] Bağırhan, N. & Karaşahin, M. (2009). Bulanık Mantık İle Trafik Güvenliği Modellenmesi. *Teknik Dergi*, 20(97).
- [24] Song, Q., & Chissom, B. S. (1993). Forecasting enrollments with fuzzy time series—part I. *Fuzzy sets and systems*, 54(1), 1-9.
- [25] Huarng, K. (2001). Effective lengths of intervals to improve forecasting in fuzzy time series. *Fuzzy sets and systems*, 123(3), 387-394.