

T. C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOYOLLARDA KULLANILAN AKILLI ULAŞIM SİSTEMİ UYGULAMALARI:
ANKARA-NİĞDE OTOYOLU VE KUZEY MARMARA OTOYOLU ARASINDA
AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Adem PAŞ

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

Temmuz 2022

T. C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOYOLLARDA KULLANILAN AKILLI ULAŞIM SİSTEMİ UYGULAMALARI:
ANKARA-NİĞDE OTOYOLU VE KUZEY MARMARA OTOYOLU ARASINDA
AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Adem PAŞ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

Temmuz 2022

ONAY

Adem PAŞ tarafından hazırlanan “**Otoyollarda Kullanılan Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları: Ankara-Niğde Otoyolu Ve Kuzey Marmara Otoyolu Arasında Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması**” adlı tez çalışması .../.../..... tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Ünvanı, Adı Soyadı

.....

(Danışman)

Ünvanı, Adı Soyadı

.....

(Üye)

Ünvanı, Adı Soyadı

.....

(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../..... gün ve .../.....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum **“Otoyollarda Kullanılan Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları: Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu Arasında Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması”** adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 20/07/2022

Adem PAŞ

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yaparken başından sonuna kadar tecrübe ve bilgilerinden yararlandığım, her alanda öğreticiliğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda gece gündüz demeden her daim yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ ve Doç. Dr. Necla TEKTAŞ'a; bu yola beraber çıktığımız, her zaman fikir alışverişi yaptığımız Burak DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan, her ne olursa olsun beni yalnız bırakmayan başta annem-babam ve yaptığım çalışma boyunca bilgi birikimi ve sabrıyla yanımda olan eşime şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOYOLLARDA KULLANILAN AKILLI ULAŞIM SİSTEMİ UYGULAMALARI: ANKARA-NİĞDE OTOYOLU VE KUZEY MARMARA OTOYOLU ARASINDA AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Adem PAŞ

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN

Temmuz 2022, 117 sayfa

İnsan nüfusunun artması, kişisel araç sahipliğinin artması ve toplu ulaşımında kullanılan araç sayısı da artmaktadır. Trafik yoğunluğunun artması özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu kentlerde insanların yaşamını zorlaştırmaktadır. Günlük yaşamda hemen hemen her bireyin iş, okul, gezi vb. nedenlerle kullandığı ulaşım günlük yaşamlarının önemli bir zaman dilimini oluşturmaktadır.

Ulaşım alanında bireylerin ulaşımında geçirdikleri kayıp zamanı, trafik kazalarını, tüketilen yakıt ve zararlı gaz salınımını azaltmaya yönelik verimli ve kaliteli yeni yollar yapılmaktadır. İhtiyaç duyulan yeni yollar sadece beton, çelik altyapısıyla değil akıllı ulaşım sistemi altyapısı ile donatılarak projelendirilmektedir. Çalışmaların bir kısmı da daha çok şehirlerarası ulaşımında hızlı ve güvenli yolculuğu sağlayan otoyollarda yapılmaktadır. Otoyollar araçların yüksek hızlarda seyrettiği, trafiğin yoğun olsa dahi trafik akışının sağlanması gereken karayollarıdır.

Ülkemizde; ulaşım sektöründe içinde bulunduğu çağa ayak uydurmakta, modern karayolları inşa etmektedir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde hızlı, güvenilir, konforlu

ve akıllı otoyollar yapılmaktadır. Ülkemizde karayolu ulaşım projeleri kapsamında otoyollarda akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yapımı tamamlanan Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu'nun akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları incelenmiştir. Otoyollar kendi aralarında akıllı ulaşım sistemleri yönünden karşılaştırılmıştır. Karar verme aşamasında ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve ELECTRE kullanılmıştır. Akıllı ulaşım sistemlerini oluşturan kriterlerin ağırlıklandırılması için ilk olarak AHP yöntemi ile uygulama yapılmıştır. Bulunan sonuçlar neticesinde TOPSIS ve ELECTRE yöntemi ile de karşılaştırmalı analiz yapılarak, alternatiflerden en uygun olanın seçiminin yapılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimler: Akıllı Ulaşım, Otoyol, Akıllı Otoyol, AHP, TOPSIS, ELECTRE



ABSTRACT

M. Sc. THESIS

**APPLICATIONS OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS USED ON
HIGHWAYS: A COMPARISON OF SMART TRANSPORTATION SYSTEMS
BETWEEN ANKARA-NIGDE AND KUZEY MARMARA HIGHWAYS**

Adem PAŞ

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Intelligent Transportation Systems and Technologies Department**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Taylan ENGİN

July 2022, 117 pages

With the increase in the human population, the number of people's own personal vehicles and the number of vehicles used in public transportation increase in direct proportion. The increase in traffic density makes life difficult for people, especially in cities with high population density. In daily life, almost every individual has work, school, trip, etc. For these reasons, transportation is an important part of their daily life.

In the field of transportation, efficient and high-quality new ways are being made to reduce the time lost by individuals in transportation, traffic accidents, consumed fuel and harmful gas emissions. New roads that are needed are not only designed with concrete and steel infrastructure, but also equipped with smart transportation system infrastructure. Some of the studies are mostly carried out on highways that provide fast and safe travel in intercity transportation. Highways are highways where vehicles travel at high speeds and traffic flow must be ensured even if the traffic is heavy.

In our country; It keeps up with the era it is in in the transportation sector and builds modern highways. Fast, reliable, comfortable and smart highways are built in areas with high

traffic volume. In our country, smart transportation systems are implemented on highways within the scope of highway transportation projects.

In this study, smart transportation systems applications of Ankara-Niğde Highway and Northern Marmara Highway, which have been completed in our country, were examined. Highways were compared among themselves in terms of smart transportation systems. AHP, TOPSIS and ELECTRE from MCDM methods were used in the decision making phase. In order to weight the criteria that make up the smart transportation systems, firstly, the AHP method was applied. As a result of the results found, it is aimed to make a comparative analysis with the TOPSIS and ELECTRE methods, and to choose the most suitable one among the alternatives.

Keywords: Smart Transportation, Highway, Smart Highway, AHP, TOPSIS, ELECTRE



İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XIII
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. OTOYOL KAVRAMININ OLUŞUMU	2
2.1 Yol Kavramının Oluşumu.....	2
2.2 Tarihte İnşa Edilen İlk Yollar	2
2.3 Ticarete Yön Veren Tarihi Yollar	4
2.3.1 İpek Yolu	4
2.3.2 Baharat Yolu	4
2.3.3 Amber Yolu	5
2.4 Türkiye’de Otoyol Kavramı	5
2.3.4 Çay ve At Yolu	8
2.5 Otoyol Kavramının Ortaya Çıkışı.....	8
2.6 Türkiye’de Karayolu Gelişimi.....	10
2.7 Ücretli Yollar.....	12
2.8 Otoyol Kullanım Kuralları	13
3. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ.....	15
3.1 Akıllı Ulaşım Sistemleri’nin Gelişimi.....	15
3.2 Yolcu Bilgi Sistemleri	18
3.2.1 Akıllı Durak.....	18
3.2.2 Araç İçi Yolcu Bilgilendirme Sistemleri	19

3.2.3 Mobil ve Web Trafik Bilgi Sistemi	20
3.3 Trafik Yönetim Sistemleri	20
3.3.1 Geleneksel Trafik Yönetimi	22
3.3.1.1 Kanallama.....	22
3.3.1.2 Sabit Zaman Ayarlı Sinyalizasyon	22
3.3.2 İleri Trafik Yönetimi (Akıllı Ulaşım Sistemi Yaklaşımı)	22
3.4 Toplu Taşıma Sistemleri	23
3.5 Elektronik Ödeme Sistemleri.....	25
3.6 Yük ve Filo Yönetim Sistemleri.....	26
3.7 Sürücü Destek ve Güvenlik Sistemleri.....	27
3.8 Kaza ve Acil Durum Sistemleri	28
3.9 Türkiye’ de Akıllı Ulaşım Sistemleri Tarihçesi.....	29
3.9.1 Boğaziçi Köprüsü Ücret Toplama Sistemi (1973).....	30
3.9.2 KGM Otoyol Ücret Toplama Sistemi ve Acil Durum Yönetim Sistemi (1992).....	30
3.9.3 Araç Takip Sistemi (1994).....	31
3.9.4 Akbil ve Otoyol Ücret Toplama Sistemi (1995).....	31
3.9.5 Trafik Kontrol Merkezi (1998).....	32
3.9.6 Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) ve İzmir KentKart (1999)	32
3.9.7 Bolu Dağı Geçiş Bilgilendirme Sistemi (2000).....	33
3.9.8 Yer Değiştirebilen (Mobil) Mesaj Tabelası (2002).....	33
3.9.9 Trafik Yoğunluk Haritası, Trafik Bilgi Sistemi (2003; 2004).....	34
3.9.10 Kartlı Geçiş Sistemi (KGS) ve Otoyol Trafik Yönetim Sistemi (2004).....	35
3.9.11 Kırmızı Işık Kural İhlal Sistemi (EDS) (2005).....	36
3.9.12 Kent Güvenlik Sistemi (MOBESE) (2006)	36
3.9.13 Bolu Dağı Tüneli Yönetim Sistemi ve İlk Cep Trafik Uygulaması (2006; 2007)	37
3.9.14 Ulusal Araç ve Plaka Tanıma Sistemi (PTS) ve İlk Akıllı Durak Uygulaması- (2009).....	39

3.9.15 Otonom Araç Çalışmaları (2011)	40
3.9.16 Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi Akıllı Ulaştırma Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (BAUSMER)'nin Açılması (2017)	41
4. TÜRKİYE OTOYOLLARINDA AKILLI ULAŞIM SİSTEMİ UYGULAMALARI	42
4.1 Ankara-Niğde Otoyolu	42
4.1.1 Ankara-Niğde Otoyolu (ANO) Projesi Güzergah Koridoru.....	42
4.1.2 Ankara-Niğde Otoyolu (ANO)'nun Ön Araştırma Aşaması	45
4.1.3 Ankara-Niğde Otoyolu Projesi' nin Bileşenleri	47
4.1.4 Ankara-Niğde Otoyolu Yapımı ve İşletilmesi İhalesi	48
4.1.5 Ankara-Niğde Otoyolu; Akıllı Ulaşım Uygulamaları.....	49
4.1.5.1 Fiber Optik İletişim Ağı.....	49
4.1.5.2 Olay Algılama Sistemleri	50
4.1.5.3 Elektronik Ücret Toplama Sistemi	52
4.1.5.4 Video Wall İzleme Ekranı (İzleme Merkezi)	53
4.1.5.5 Değişken Mesaj İşareti	54
4.1.5.6 Değişken Trafik İşareti	55
4.1.5.7 Trafik ve İklim Ölçüm Sistemleri	56
4.1.5.8 SCADA İzleme Noktası.....	57
4.1.5.9 AUS Merkezleri	58
4.2 Kuzey Marmara Otoyolu	60
4.2.1 Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Güzergah Koridoru	60
4.2.2 Kuzey Marmara Otoyolu (KMO)'nun Ön Araştırma Aşaması	62
4.2.3 Kuzey Marmara Otoyolu Projesi'nin Bileşenleri	63
4.2.4 Kuzey Marmara Otoyolu Yapımı ve İşletilmesi İhalesi.....	66
4.2.5 Kuzey Marmara Otoyolu; Akıllı Ulaşım Uygulamaları.....	66
4.2.4.1 Fiber Optik İletişim Ağı.....	66
4.2.4.2 Olay Algılama Sistemleri	67

4.2.4.3 Elektronik Ücret Toplama Sistemi	67
4.2.4.4 Video Wall İzleme Ekranı (İzleme Merkezi)	68
4.2.4.5 Değişken Mesaj İşareti	68
4.2.4.6 Değişken Trafik İşareti	69
4.2.4.7 Trafik ve İklim Ölçüm Sistemleri	69
4.2.4.8. SCADA İzleme Noktası.....	71
4.2.5.9. AUS Merkezleri	72
4.3 Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu' Nun Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	73
5. MATERYAL ve YÖNTEM	76
5.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....	76
5.2. AHP – ELECTRE – TOPSIS Yöntemi.....	77
5.2.1 AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi).....	77
5.2.1.1 AHP Uygulamasının Aşamaları	78
5.2.2 TOPSIS	80
5.2.2.1 Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:.....	81
5.2.2.2 Standart Karar Matrisinin (R) Normalleştirilmesi.....	81
5.2.2.3 Normalleştirme İşlemi Yapılan Karar Matrislerinin(V) Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması	81
5.2.2.4 İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması	82
5.2.2.5 Ayırım(Mesafe) Ölçülerinin Hesaplanması	82
5.2.2.6 İdeal Çözüme Göre Yakınlık Değerinin (C_i^*) Hesaplanması.....	83
5.2.3 ELECTRE Yöntemi.....	83
5.2.3.1 Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:.....	84
5.2.3.2 Standart Karar Matrisinin (X) Elde Edilmesi	84
5.2.3.3 Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (Y) Elde Edilmesi	84
5.2.3.4 Uyum (C_{kl})ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Oluşturulması	85
5.2.3.5 Uyum (C) ve Uyumsuzluk (D) Matrislerinin Hesaplanması	85

5.2.3.6 Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin Hesaplanması	86
5.2.3.7 Toplam Baskınlık Matrisinin (E) Oluşturulması	87
5.2.3.8 Karar Noktalarının Değerlendirilmesi	87
6. UYGULAMA	88
6.1 Araştırmanın Amacı.....	88
6.2 Araştırmanın Veri Seti	88
6.3 AHP Yöntemi ile Uygulama.....	89
6.4 TOPSİS Yöntemi ile Uygulama	93
6.5. ELECTRE Yöntemi İle Uygulama.....	96
7. SONUÇ	101
8. KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ	117

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1: İnsan Gücü Kullanılarak Yapılan Yol Örneği	2
Şekil 2-2: Roma Yol Yapım Tekniği Canlandırması	3
Şekil 2-3: Kuzey İspanya'daki Cirauqui Yakınlarındaki Hayatta Kalan Roma Yolunun Bir Kısmı	3
Şekil 2-4: Tarihi İpek Yolu	4
Şekil 2-5: Baharat Yolu, İpek Yolu, Kürk Yolu Haritası	4
Şekil 2-6: Amber Yolu Haritası.....	5
Şekil 2-12: 30 Ekim 1973 Boğaziçi Köprüsü' nün Açılışı	5
Şekil 2-13: Gebze-Orhangazi-İzmir Otoyolu ve Osmangazi Köprüsü	6
Şekil 2-14: Kuzey Marmara Otoyolu ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü	6
Şekil 2-15: 2021 Yılı İtibari ile Türkiye Otoyol Haritası	7
Şekil 2-7: Atların İzlediği En Tehlikeli Rota: Çay ve At Yolu	8
Şekil 2-8: Makadam Yol Örneği (1850' li Yıllar)	9
Şekil 2-9: İlk Otoyolun Açılışı (Almanya)	9
Şekil 2- 10: Cumhuriyet Döneminde Karayollarının Gelişimi	11
Şekil 2-11: Yıllara Göre Yol Politikaları	12
Şekil 3-1: Yıllara Göre Akıllı Ulaşım Sistemleri Tarihçesi	17
Şekil 3-2: Akıllı Durak (YTÜ Durağı-İstanbul)	18
Şekil 3-3: Yenilenebilir Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Durak (Gaziantep)	19
Şekil 3-4: Araç İçi Yolcu Bilgilendirme Ekranı (Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi)	19
Şekil 3-5: Ankara Büyükşehir Belediyesi Cep Trafik Uygulaması	20
Şekil 3-6: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi Bileşenleri	21
Şekil 3-7: Gaziantep Trafik Kontrol Merkezi	21
Şekil 3-8: Akıllı Ulaşım Yönetim Sistemleri Şeması	23
Şekil 3-9: Tek bir otobüste 69 yolcunun, 69 yayanın ve 69 bisikletlinin ve 40 arabanın yolda kapladığı alanın karşılaştırılması	24
Şekil 3- 10: İstanbul-İzmir Otoyolu HGS-OGS Gişeleri	25
Şekil 3-11: Toplu Ulaşımda Kartlı Ödeme Sistemi (İzmir)	26
Şekil 3-12: Araç Yönetim Sistemlerinin Basitçe Çalışma Şeması	26

Şekil 3-13: Araç Çevresinde Güvenli Sürüşü Sağlayan Akıllı Sürüş Sistemleri	27
Şekil 3-14: E-Call Uygulaması Çalışma Similasyonu	29
Şekil 3-15: Boğaziçi Köprüsü	30
Şekil 3-16: Otoyol Ücret Toplama ve Acil Durum Sistemi	30
Şekil 3-17: Araç Takip Sistemi	31
Şekil 3-18: Ücret Toplama Sistemleri	31
Şekil 3-19: Trafik Kontrol Merkezi	32
Şekil 3-20: Otomatik Geçiş Sistemi (OGS)	32
Şekil 3-21: İzmir KentKart Örneği	33
Şekil 3-22: Geçiş Bilgilendirme Haritası	33
Şekil 3-23: Yer Değiştirebilen Tabela Örneği	34
Şekil 3-24: İstanbul Trafik Haritası ve Trafik Ölçüm Cihazı	34
Şekil 3-25: Ankara Trafik Bilgi Sistemi	35
Şekil 3-26: Karth Geçiş Sistemi ve Otoyol Trafik Yönetimi	36
Şekil 3-27: Elektronik Denetleme Sistemi	36
Şekil 3- 28: MOBESE İzleme Merkezi ve MOBESE Kameraları	37
Şekil 3-29: Bolu Dağı Yönetim Sistemi Mantıksal Kontrol (PLC) Devreleri Sistemi	38
Şekil 3-30: Bolu Dağı Yönetim Sistemi Örnek Simülasyon ve İzleme Odası	38
Şekil 3-31: İBB Cep Trafik Mobil Uygulaması	39
Şekil 3-32: Plaka Tanıma Sistemine Sahip Denetim Aracı	39
Şekil 3-33: Antalya’ da Güneş Enerjisi ile Çalışan Klimalı Akıllı Durak	40
Şekil 3-34: Okan Üniversitesi’ nin geliştirdiği Otonom Araç	40
Şekil 3-35: 2.Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı	41
Şekil 4-1: Trans-Avrupa Kuzey-Güney Otoyolu (TEM) Projesi Türkiye Haritası	43
Şekil 4-2: Ankara-Niğde Otoyolu Tanıtım Broşürü	44
Şekil 4-3: Ankara-Niğde Otoyolu Proje Öncesi Çalışmaları	46
Şekil 4-4: Yapım İşlerine Başlamadan Önce Alınan İzinler	47
Şekil 4-5: Ankara Niğde Otoyolu Proje İçeriği	48
Şekil 4-6: Ankara-Niğde Otoyolu Olay Algılama Sistemi	50
Şekil 4-7: Ankara-Niğde Olay Algılama Sisteminin Merkezden İzlenmesi	51
Şekil 4-8: Otoyol Boyunca Kullanılan Sabit ve Hareketli Olay Algılama Kamerası	52
Şekil 4-9: Ankara-Niğde Otoyolu Ücret Ödeme Gişeleri	53
Şekil 4-10: Ankara-Niğde Otoyolu Gişe Alanı	53
Şekil 4-11: Ankara-Niğde Otoyolu Video Wall Ekranı	54

Şekil 4-12: Ankara-Niğde Otoyolu Video Wall Ekranı	54
Şekil 4-13: Karayolları Genel Müdürlüğü 14.Bölge Değişken Mesaj İşareti	55
Şekil 4-14: Değişken Trafik İşareti ve Değişken Mesaj İşareti	56
Şekil 4-15: Hava Durumu Algılayıcı Sensör	57
Şekil 4-16: Trafik Ölçüm Sensörü.....	57
Şekil 4-17: Ankara Niğde Otoyolu SCADA İzleme Merkezi]	58
Şekil 4-18: Ana Kontrol Merkezi Yerleşkesi	59
Şekil 4-19: Ankara-Niğde Otoyolu Ana Kontrol Merkezi	59
Şekil 4-20: Otoyol Veri Merkezi	60
Şekil 4-21: Kuzey Marmara Otoyolu Güzergah Haritası	61
Şekil 4-22: Otoyolun Sağladığı Faydalar	61
Şekil 4-23: Çatalca T1 ve T2 Tünelleri Yapım Çalışması	62
Şekil 4-24: İlklerin Köprüsü Yavuz Sultan Selim Köprüsü	63
Şekil 4-25: Uskumruköy Ekolojik Köprüsü	64
Şekil 4-26: Kuzey Marmara Otoyolu Proje Tanıtımı ve Yapılan İmalatlar	65
Şekil 4-27: Fiber Altyapı Teknolojisi ile Çalışan Veri Akışını Sağlayan Sunucular	67
Şekil 4- 28: Kuzey Marmara Otoyolu Akyazı Ücret Ödeme Noktası (Sakarya)	67
Şekil 4-29: Kuzey Marmara Otoyolu Video Wall Görüntü İzleme Ekranı	68
Şekil 4-30: Kuzey Marmara Otoyolu Değişken Mesaj İşareti	68
Şekil 4-31: Kuzey Marmara Otoyolu Çatalca T1-T2 Tünelleri Değişken Trafik İşareti	69
Şekil 4-32: Kuzey Marmara Otoyolu Anlık Ölçümleme Cihazı	70
Şekil 4- 33: Kuzey Marmara Otoyolu Meteoroloji Sensörleri	70
Şekil 4-34: Trafik Sayım Sensörleri-Hareketli ve Sabit AUS Kameraları	71
Şekil 4-35: Otoyol Acil Durum Telefonu	72
Şekil 4-36: Kuzey Marmara Otoyolu Ana Kontrol Merkezi Yerleşkesi	72
Şekil 4-37: Kuzey Marmara Otoyolu Ana Kontrol Merkezi	73
Şekil 5-1: AHP Hiyerarşi Grafiği	78
Şekil 6-1: Uygulamaya Ait Hiyerarşi Modeli	90

TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2- 1: Avrupa Ülkelerine Ait Otoyol Uzunlukları	10
Tablo 2-2: Yıllara Göre Toplam Otoyol Uzunluğu	7
Tablo 2-3: Karayollarından Elde Edilen Net Gelirler	13
Tablo 3-1: Toplu taşımada yaşanan problemler ve Akıllı Ulaşım Sistemleri' nin sektöre getirdiği bazı çözümler	24
Tablo 4- 1: Proje Yapımında Oluşabilecek Ön Araştırma Raporu Sonuçları	62
Tablo 4- 2: Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları.....	74
Tablo 4- 3: Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu Uzunluk ve Kullanım Ücreti.....	75
Tablo 5- 1: İkili Kriter Karşılaştırma Matrisi	78
Tablo 5- 2: AHP Önem Ölçeği Değer ve Tanımları	79
Tablo 5- 3: Rassal Endeks(RI) Değerleri.....	80
Tablo 6- 1: Akıllı Otoyol Kriterleri ve Otoyollar.....	89
Tablo 6- 2: Uzmanlara Ait Karar Matrisleri	90
Tablo 6- 3: Kriterler İçin Ortak Karar Matrisi.....	91
Tablo 6- 4: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi	91
Tablo 6- 5: Öncelik Vektörünün Hesaplanması	92
Tablo 6- 6: Rassal Endeks(RI) Tablosu.....	92
Tablo 6- 7: TOPSİS Yöntemi Karar Matrisi	94
Tablo 6- 8: Normalize Edilmiş TOPSIS Karar Matrisi	94
Tablo 6- 9: Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi	95
Tablo 6- 10: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler.....	95
Tablo 6- 11: İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri	96
Tablo 6- 12: İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri	96
Tablo 6- 13: ELECTRE Yöntemi Karar Matrisi	97
Tablo 6- 14: Normalize Edilmiş Karar Matrisi	97
Tablo 6- 15: Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi	97
Tablo 6- 16: Uyum ve Uyumsuzluk Setlerinin Belirlenmesi.....	98
Tablo 6- 17: Uyum Matrisi	98

Tablo 6- 18: Uyumsuzluk Setleri.....	99
Tablo 6- 19: Uyum Üstünlük(F) Matrisi	99
Tablo 6- 20: Uyumsuzluk Üstünlük(G) Matrisi.....	99
Tablo 6- 21: Toplam Baskınlık(E) Matrisi.....	100



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
ADAS	: İleri Sürücü Destek Sistemi
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANO	: Ankara-Niğde Otoyolu
BAUSMER	: Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi Akıllı Ulaştırma Sistemleri Uygulama Ve Araştırma Merkezi
CACS	: Kapsamlı Otomobil Trafik Kontrol Sistemleri
CCTV	: Kapalı Devre Televizyon Sistemi
C02	: Karbondioksit
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKVK	: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri
ÇNKV	: Çok Nitelikli Karar Verme
DMİ	: Değişken Mesaj İşareti
EDS	: Elektronik Denetleme Sistemi
EGM	: Emniyet Genel Müdürlüğü
ERGS	: Elektronik Rota Kılavuzluk Sistemi
HGS	: Hızlı Geçiş Sistemi
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
KDV	: Katma Değer Vergisi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KGS	: Kartlı Geçiş Sistemi
Km	: Kilometre
KMO	: Kuzey Marmara Otoyolu
MOBESE	: Mobil Elektronik Sistem Entegrasyonu
OGS	: Otomatik Geçiş Sistemi
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Kontrol Devreleri
PTS	: Ulusal Araç ve Plaka Tanıma Sistemi
SCADA	: Merkezi Denetleme, Kontrol ve Veri Toplama
STEM	: Step Metodu

YİD	: Yap-İşlet-Devret
TEM	: Trans-Avrupa Kuzey-Güney Otoyolu
TL	: Türk Lirası
TICS	: Ulaştırma Bilgi ve Kontrol Sistemleri
UTAS	: Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
YTÜ	:Yıldız Teknik Üniversitesi



1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki nüfusun artışına paralel olarak ülkelerin ve yaşayan nüfusun ihtiyaçlarının artması ile ulaşım talepleri ve yol ihtiyaçları da artmaktadır. Nüfusun artmasına paralel olarak sanayinin, teknolojinin, lojistik taşımacılığı ve ülkeler arası turizm seyahatlerinin gelişmesiyle birlikte idarelerin ulaşımın kesintisiz, konforlu, verimli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmek adına yeni güzergâhlar ve mevcut yolların genişletilmesine yönelik inşaa çalışmaları hız kazanmaktadır. Karayolu taşımacılığında trafik hacmini arttırmak için otoyol kavramı ortaya çıkmıştır.

Yol yapım teknolojisinde, günümüzde hızla gelişen inşaat sektörü büyük otoyolların yapım yöntemlerinde zamandan hız kazandırmaktadır. Ancak kısa sürede yapım işleri tamamlanan otoyollar sadece yol yapısı ile artan trafik yoğunluğunda güvenli ve kaliteli bir ulaşımı sağlamada tek başına yeterli değildir. Otoyollarda; trafik yoğunluğunun kontrol edilerek trafik akışının hızlanması, trafikte oluşan kazaların sonucunda meydana gelen maddi zararların ve can kayıplarının azaltılması için akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları yapılmaya başlanmıştır.

Yapılan tez çalışmasında akıllı ulaşım sistemleri ve otoyollardaki uygulamalarına yer verilmiştir. Ülkemizde yakın zamanda yapımı tamamlanan, akıllı otoyol ismi ile tanınan Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu altyapısını oluşturan akıllı ulaşım sistemleri incelenmiştir. İki otoyolun akıllı ulaşım sistemi uygulamaları alanında yapılan çalışmalar aynı başlıklar altında irdelenmiş ve mukayese edilmiştir.

2. OTOYOL KAVRAMININ OLUŞUMU

2.1 Yol Kavramının Oluşumu

Ulaşım ya da ulaştırmanın en basit tanımı insanların ya da eşyaların zorunlu bir yerden başka bir yere hareket etmesidir. Ulaşımın tarihteki ilk ihtiyaç duyulduğu yer ise avcılarının avladıkları hayvanları evlerine kadar taşımaları için ortaya çıkmıştır. Bu süreçte insanlar önceleri hayvanları evcilleştirip, sal kullanarak ulaşımlarını sağlamıştır [1].

Tekerleğin buluşuyla karada ilk araçlar oluşmaya başlamıştır. Bu araçların hareket etmesini kolaylaştırmak amacıyla insanlar kendi güçleriyle Şekil 2-1’de resmedilen benzer “yolları” yapmaya başlamışlardır. Yollar ilk başlarda insan gücü ile yapıldığı için daha çok düz yüzeyli arazilere ve işlenmesi el gücüyle kolay olan yerlere inşa edilmiştir [2].



Şekil 2-1: İnsan Gücü Kullanılarak Yapılan Yol Örneği [2]

Ulaşım bir ihtiyaç haline geldiği için, ulaşımın sağlanması amacıyla yol kavramı tarihte daha çok yerini almaya başlamıştır. Yol kelimesinin günümüzde kullanılan tanımına baktığımızda ise “Üzerinden insanların ve araçların geçmesini kolaylaştırmak için oluşturulan ulaşım şeritleridir.” Bir diğer tanımlama ise: “İnsan eliyle insanlık için yapılan en büyük yatırımdır.” [3]. Yol kelimesinin en basit ve en genel tanımı ise farklı iki nokta arasını birleştiren ve ulaşımı sağlayan hatlardır.

2.2 Tarihte İnşa Edilen İlk Yollar

Tarihte karşımıza çıkan ilk yol yapılarını M.Ö. 400 ve M.S. 400 yıllarında askeri amaçlı olarak Roma İmparatorluğu yapmıştır. Roma İmparatorluğu; kuzeyde Büyük Britanya, güneyde

Kuzey Afrika, batıda İber Yarımadası kıyılarına ve doğuda ise Basra Körfezine kadar mesafe ve dayanım açısından uzun ömürlü yollar inşa etmişlerdir [4]. Şekil 2-2'deki tasvir, Roma İmparatorluğu'nun o tarihlerde insan gücü kullanılarak yapılmaya çalışılan yol inşaatının canlandırılmasıdır.



Şekil 2-2: Roma Yol Yapım Tekniği Canlandırması [5]

Romalı mühendisler yol yapımı için gerekli iş gücü ve yol inşaatı maliyetini önemsemeden yollar, köprüler ve viyadükler yapmışlardır. Roma İmparatorluğu halkın kullanımına açık yaklaşık 120.000 km uzunluğunda yol yapmıştır. Bu yollar Roma'nın gücünü gösterdiği kadar, Roma'nın ticaret ve kültür bakımından da güçlenmesine katkı sağlamıştır [5]. Şekil 2-3'te verilen tarihi yolun bugüne kadar gelmesi Roma'nın yollara verdiği önemi ve kullandığı mühendislik bilgisinin göstergesidir.



Şekil 2-3: Kuzey İspanya'daki Cirauqui Yakınlarındaki Hayatta Kalan Roma Yolunun Bir Kısım [5]

Roma İmparatorluğu'nun yollara ne kadar fazla önem verdiğinin bir başka göstergesi de 12 Levha Kanunlarında düz ve kavisli yollar için yer verilmesidir [6].

2.3 Ticarete Yön Veren Tarihi Yollar

2.3.1 İpek Yolu

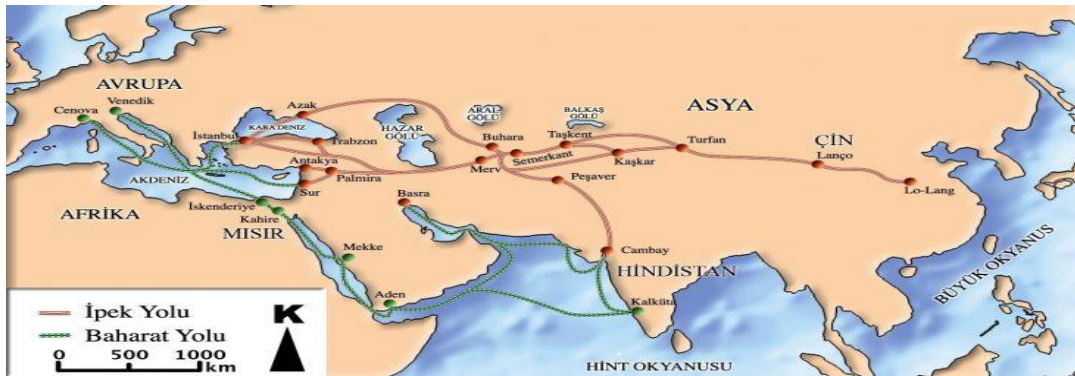
Dünyanın en eski tarihi yollarından olan tarihi İpek Yolu, Çin sınırlarından başlayıp Roma' ya kadar uzanmaktadır. İsmi, tarihte daha çok ipek taşımacılığı yapıldığı için ipekten almıştır. Şekil 2-4'te gösterilen tarihi İpek Yolu porselen, ipek, kağıt, baharat vb. ürünlerin taşınmasına ve ticaretinin başlamasına katkı sağlamıştır. Ayrıca doğu kültürünü batıya taşıyarak kültürel etkileşimleri, fikirleri, dinleri ve Semerkant gibi önemli kültürel şehirleri ortaya çıkarmıştır [7].



Şekil 2-4: Tarihi İpek Yolu [7]

2.3.2 Baharat Yolu

Baharat yolu sayesinde baharatın kullanımı ve ticareti Şekil 2-5'te verilen resimde gösterilen yol haritasında ki gibi Uzak Doğu'dan Batı'ya doğru yaygınlaşmıştır. Baharatın ticari olarak soylular tarafından kullanılması da ticareti geliştirmiştir. Vasco Da Gama'nın 1468 yılında Ümit Burnu'nu dolaşarak Hindistan yolunu keşfetmesi ile eski önemini yitirmiştir [7].



Şekil 2-5: Baharat Yolu, İpek Yolu, Kürk Yolu Haritası [8]

2.3.3 Amber Yolu

Kehribar yolu ismi ile de bilinen yol Kuzey Denizi ve Baltık Denizi'nden çıkan amber madenin taşınmasında kullanılmıştır. Kehribar süsleme ve sağlık amaçlı kullanılan bir maden olduğundan oldukça önemli bir ticaret simgesi olmuştur. Değerli olduğu için yol üzerinde hırsızlık vakaları da meydana gelmiştir [7]. Şekil 2-6'da kehribar ticaretinin önemi, taşındığı ulaşım koridorunun genişliğinden anlaşılmaktadır.



Şekil 2-6: Amber Yolu Haritası [9]

2.4 Türkiye’de Otoyol Kavramı

Ülkemizde ilk otoyol 1973 yılında hizmete giren ve içinde Boğaz Köprüsü'nü de (Şekil 2-12) barındıran 23 km'lik 1. Çevreyolu'dur. 2000'li yıllara geldiğimizde ise gelişen araç teknolojileri ile birlikte yollardaki kalite ve konforda da beklentiler artmış ve bölünmüş yol çalışmalarına hız verilmiştir. Yol yapımının yanında, bu yıllarda yolların ücretlendirilmesi de ilk kez yapılmıştır. Gebze-İzmit yolu 1984 yılında ücretli politika ile açılmış ve ücret politikası da günümüze kadar gelmiştir [18].



Şekil 2-7: 30 Ekim 1973 Boğaziçi Köprüsü' nün Açılışı [19]

1990'lı yıllarda devlet tarafından 1993-2002 yılları arası ulaşım çalışma planları yapılmıştır. Teknik altyapı oluşturmak, kaynakları ve ekonomiyi doğru kullanmak ve personel yetiştirmek için çalışmalar yapılmıştır. Motorlu taşıt teknolojisinin gelişmesi ve karayolunun yük-yolcu taşımacılığında önem kazanmasından dolayı il ve devlet yollarını arttırmak yerine daha ekonomik, hızlı, güvenli, erişilebilir ve konforlu olması sebebi ile otoyol yapımına ağırlık verilmiştir [20].



Şekil 2-8: Gebze-Orhangazi-İzmir Otoyolu ve Osmangazi Köprüsü [17]

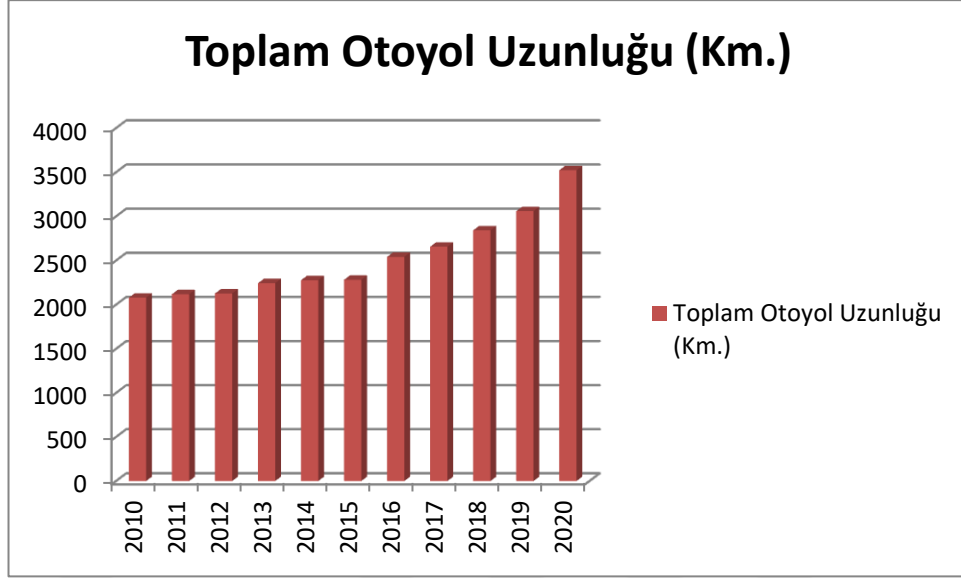
2010 yılına gelindiğinde ise karayolu inşaatında sadece devletin bütçesi ile değil Yap-İşlet-Devret modeli ile de çeşitli finansal yatırımlar sağlanarak Kamu-Özel sektör ortaklığında yollar yapılmaya başlanmıştır. Gebze-İzmir Otoyolu-Osmangazi Köprüsü (Şekil 2-13), Kuzey Marmara Otoyolu-Yavuz Sultan Selim Köprüsü (Şekil 2-14) tamamlanan Yap-İşlet-Devret modeli ile yapılmış büyük projelerdendir [20].



Şekil 2-9: Kuzey Marmara Otoyolu ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü [17]

Ülkemizde 2000 yılında mevcut olan toplam otoyol uzunluğu 1674 km'dir. Tablo 2-2' de ülkemizdeki Karayolları Genel Müdürlüğü' ne ait 2010-2020 yılları arasındaki toplam otoyol uzunluklarının kilometre olarak toplamaları verilmiştir [21].

Tablo 2-1: Yıllara Göre Toplam Otoyol Uzunluğu [21]



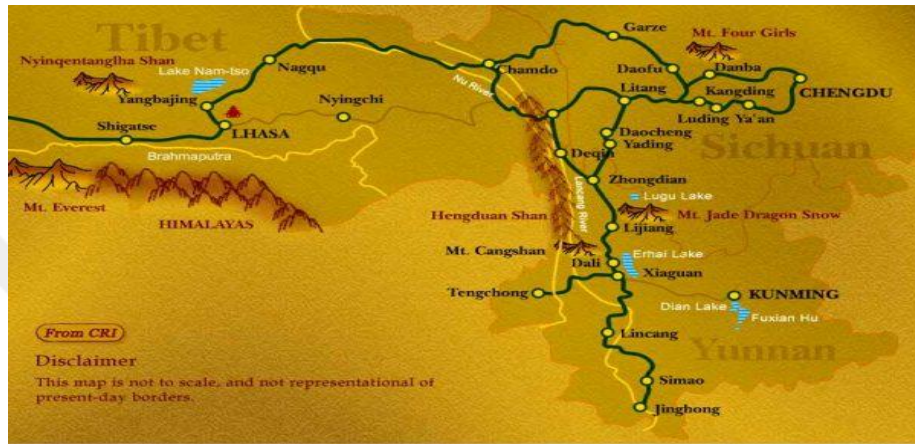
Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2021 yılına kadar yapılan otoyol ağ haritamız ise Şekil-15'te verilmiştir. Çalışmanın ileriki kısımlarında akıllı ulaşım sistemlerini inceleyeceğimiz Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu'nunda ülkemizde bulunan diğer otoyolların tamamlayıcı bir parçası olduğu Şekil 2-15'teki haritada görülmektedir.



Şekil 2-10: 2021 Yılı İtibarı ile Türkiye Otoyol Haritası [22]

2.3.4 Çay ve At Yolu

Esas ismi “Chamadao” olan ticaret yoludur. Çin’den başlayıp Tibet ve Hindistan’a kadar uzanan, yol aksı Şekil 2-7’de ki haritada verilen yaklaşık 10.000 km uzunluğa sahip yoldur. Çin’in üreticisi olduğu çayın ve Tibet savaş atlarının ticaretinin yapılmasını sağlamıştır. Deniz yolu ulaşımının gelişmesiyle tarihte zamanla önemini yitirmiştir. 2. Dünya Savaşı’nda ise Japonya’nın limanları ele geçirmesi ile tekrar seyahat edilebilir bir hale gelmiştir [9].



Şekil 2-11: Atların İzlediği En Tehlikeli Rota: Çay ve At Yolu [9]

2.5 Otoyol Kavramının Ortaya Çıkışı

İngiltere’ de 18. ve 19. yüzyılda sanayi devrimi ortaya çıkmış ve makineleşme artmıştır. Sanayi devriminde üretim arttığı için ticarete hızlı gelişmeler kaydetmiştir. Bütün bu gelişmeler beraberinde ulaşım ve lojistik sektörüne olan ihtiyacı da arttırmıştır. Lojistik sektörünün büyümesi ve araçların artması ile kaliteli yollara yani otoyollara ihtiyaç duyulmuştur [10].

Günümüzdeki en konforlu ve hızlı yol anlayışı ile yapılan otoyol çalışmaları ilk kez II. Dünya Savaşı’ndan önce askeri amaçla özellikle Almanya’da “iki noktayı en kısa mesafeden bağlamak” mantığıyla inşa edildiğinden dümdüz yol çizgilerine ve demiryollarındaki gibi kavislere sahip olmuştur. Otoyol(autobahn) kelimesi de ilk kez burada ortaya çıkmıştır [11].

Modern yolların gelişmesine en büyük katkıyı sağlayan ve dünya çapında bir yapım şekli geliştiren kişi ise İskoç mühendis John Loudon McAdam’dır. Mühendis Mcadam’ın yapmayı planladığı yollar pürüzsüz, inşaatı kolay ve uzun dayanım ömrüne sahip kara yollarıdır. Tarihte “makadam” ismiyle yerini alan yollara ait bir örnek ise Şekil 2-8’ de verilmiştir [12].



Şekil 2-12: Makadam Yol Örneği (1850' li Yıllar) [12]

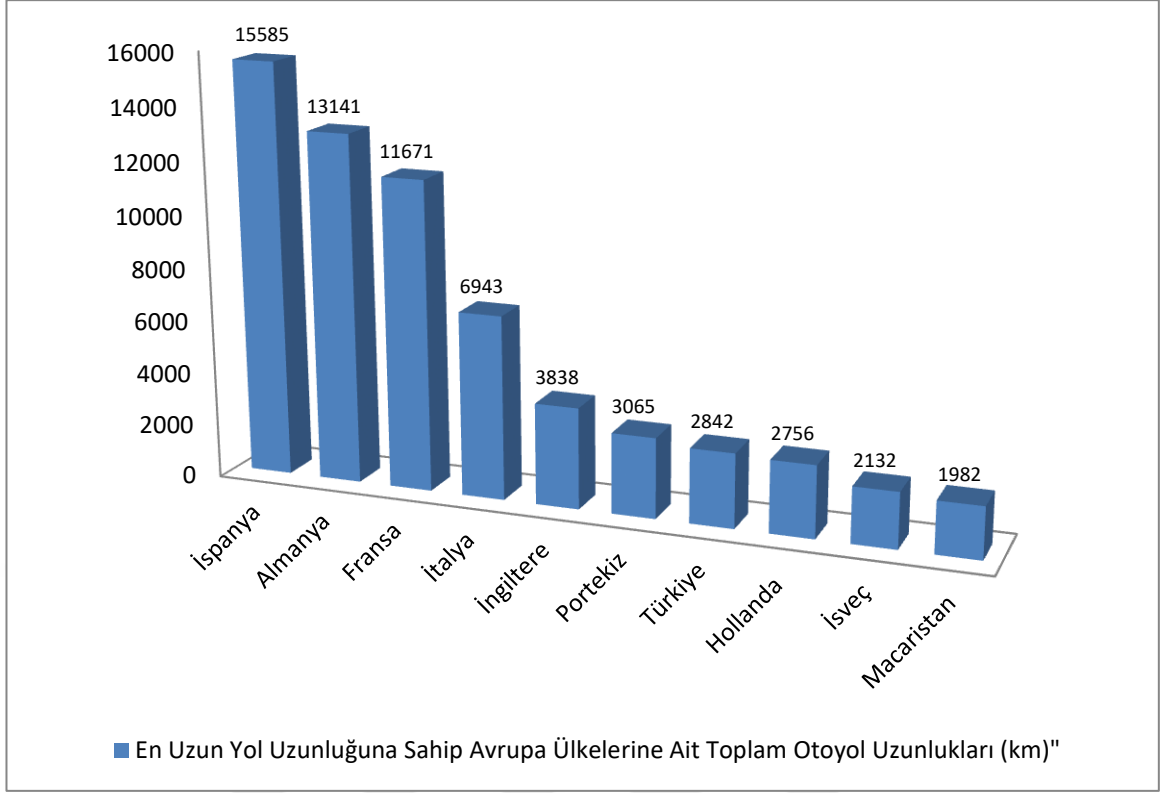
1909 yılında Alman araba tutkunlarının, otomobillerin engellere takılmadan daha hızlı gitmesini sağlama düşüncesi “otoyol yapımı” fikrini ortaya çıkarmıştır. Dünya tarihinde ki ilk otoyol Almanların yarış amacıyla yaptığı Berlin’de ki AVUS isimli 9 km uzunluğundaki yoldur. Birinci Dünya Savaşına kadar 10 km’si yapılan yol dünyanın “otoyol benzeri ilk karayolu” olarak kabul edilmiştir (Şekil 2-9) [13].



Şekil 2-13: İlk Otoyolun Açılışı (Almanya) [13]

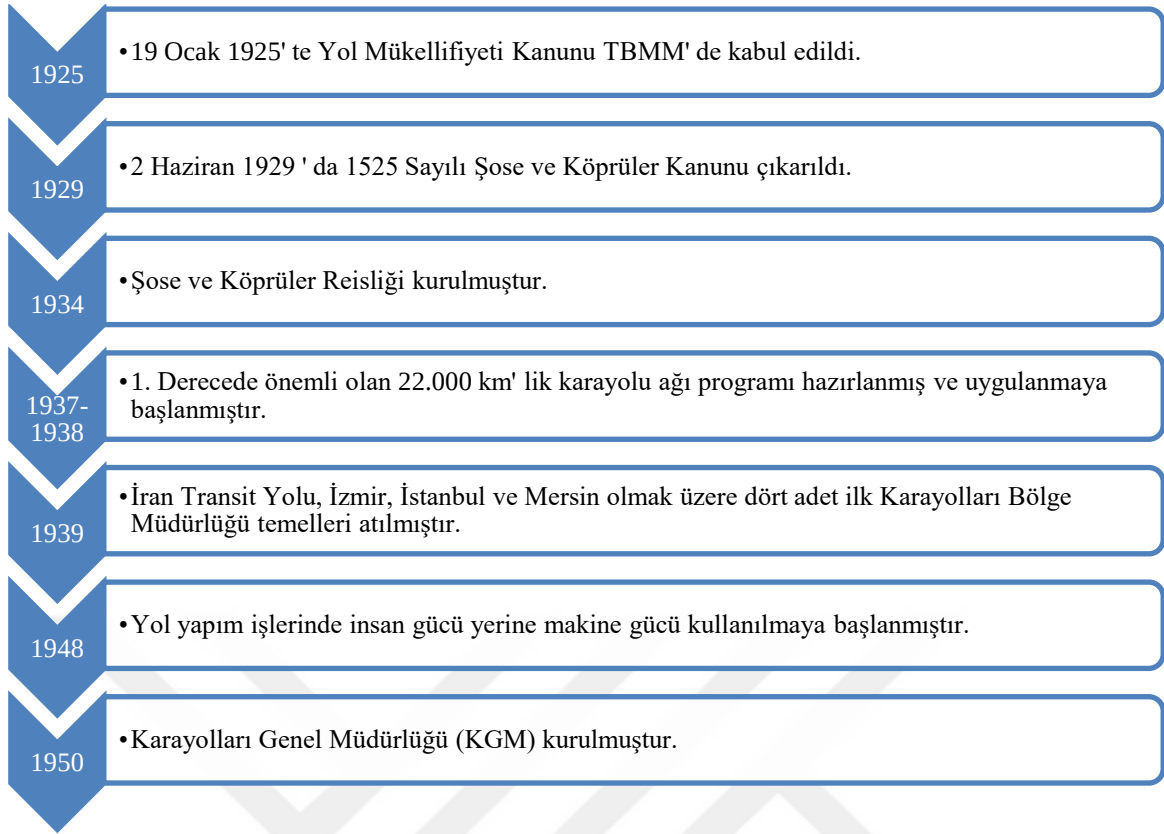
Aşağıdaki resim grafiğinde Avrupa Ülkelerinin 2018 yılı Avrupa İstatistikleri Eurostat verilerine ait yol uzunlukları karşılaştırılmıştır. 01.01.2021 tarihi itibari ile ülkemiz 3.523 km uzunluğunda otoyol, 30.974 km devlet yolu ve 34.136 km uzunluğunda il yollarına sahiptir [14]. Tablo 2-1’de görüldüğü gibi Eurostat verilerine göre, Avrupa ülkelerinde yol ağı en geniş ülke 15.585 km yol uzunluğu ile İspanya’ dır. Ülkemiz ise 2842 kilometre uzunluğunda ki otoyol hattı ile 7. sıradadır.

Tablo 2- 2: Avrupa Ülkelerine Ait Otoyol Uzunlukları [15]



2.6 Türkiye’de Karayolu Gelişimi

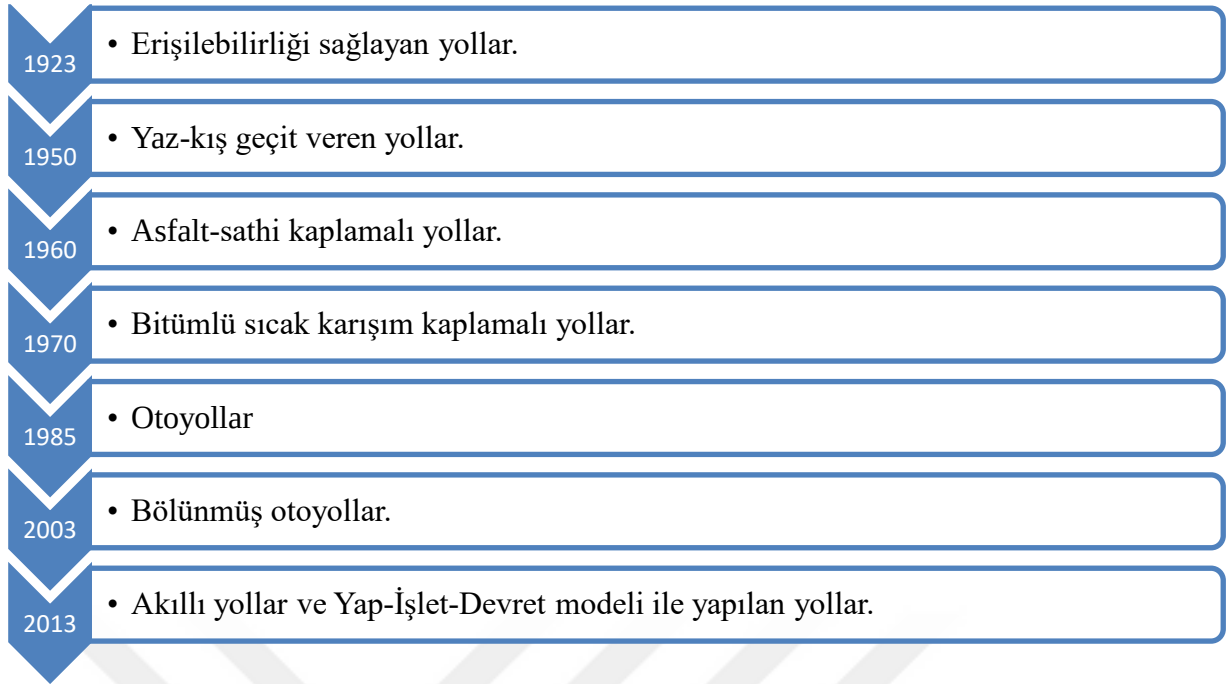
II. Dünya Savaşı’ndan sonra diğer dünya devletleri gibi Türkiye Cumhuriyeti’de karayolu ile ulaşım ağırlık vermiştir. Cumhuriyet’ in ilk yıllarında ulaşım ile ilgili çalışmaları Şose ve Köprüler Reisliği üstlenmiştir. Osmanlı Devleti’nden ise 4000 km kullanılabilir iyi halde olmak üzere toplam 18000 km karayolu devralınmıştır. 1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) kurulmuş ve ülkenin ekonomik olarak gelişmesi için karayolu yapımına ağırlık verilmiştir [16]. Ülkemizdeki karayolu ulaşımı alanında 1925 yılından 1950 yılına kadar olan önemli kurumların kuruluşlarını ve yol yapımında yaşanan gelişmeler Şekil 2-10’da sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 2- 14: Cumhuriyet Döneminde Karayollarının Gelişimi [17]

Yolların yapım maliyetleri devletin bütçesinden ve vatandaşlardan alınan çeşitli vergilerden karşılanmaktadır. Yolların güzergâhı belirlenirken ulaşımda ne kadar faydalı olacağı, yapılırken karşılaşılan zorluklar ve yapılacak olan inşaat çalışmalarında harcanabilecek maliyet göz önünde bulundurulur [11].

Yıllara göre bakıldığında ülkemizdeki yol politikaları ve yolların zaman içinde ki hızlı gelişimi Şekil 2-11’de gösterilmiştir.



Şekil 2-15: Yıllara Göre Yol Politikaları [17]

2.7 Ücretli Yollar

Ülkemizde karayolu ücretlerini belirlemede “Karayolları Genel Müdürlüğünün Sorumluluğu Altında Bulunan Otoyollar İle Erişme Kontrolünün Uygulandığı Karayollarında Geçiş Ücretlerinin Belirlenmesi Ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmelik” başlığı altındaki resmi gazetede yayımlanan yönetmelik esas alınır [23].

Karayollarının geçiş ücreti belirlenirken; genel müdürün teklifinin, bakan tarafından onaylanması ile belirlenir. Karayollarının geçiş ücretlerinin belirlenmesinde 14.05.2012 de 28292 sayı ile resmi gazetede yayımlanan 12 maddelik mevzuat gerekli değişiklikler yapılarak günümüzde de kullanılmaktadır [24].

Köprülerden ve otoyollardan elde edilen gelirler ve geçiş yapan araç sayıları Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından herkesin erişimine açık olarak kurumun resmi internet sayfasında açık veri olarak paylaşılmaktadır [25]. Tablo 2-3’e baktığımızda; 2010-2019 yılları arasında ücretli karayollarından elde edilen net gelirlerin her yıl arttığını görmekteyiz.

Tablo 2-3: Karayollarından Elde Edilen Net Gelirler [25]

Yıllar	Köprülerden Elde Edilen Gelirler (TL)	Otoyollardan Elde Edilen Gelir(TL)	Toplam Gelir(TL)
2010	210.694.879	479.163.292	689.858.171
2011	216.316.187	516.364.975	732.681.162
2012	214.116.158	589.309.837	803.425.995
2013	217.303.659	572.405.303	789.708.962
2014	226.047.677	628.237.657	854.285.334
2015	219.865.515	660.362.165	880.227.680
2016	290.497.113	913.707.940	1.204.205.053
2017	362.323.101	1.095.754.413	1.458.077.514
2018	464.286.901	1.334.451.289	1.798.738.190
2019	425.426.011	1.581.917.066	2.007.343.077
Toplam	2.846.877.201	8.371.673.937	11.218.551.140

Otoyollara ait net gelirler hesaplanırken %18 KDV, köprülere ait net gelir hesaplanırken ise %18 KDV ve %10 belediye payı düşülerek Tablo-2'deki rakamlar paylaşılmıştır [25].

2.8 Otoyol Kullanım Kuralları

Otoyollarda her ülkenin ve her otoyolun kendine ait işletme ve trafik kuralları vardır. Yakın zamanda yapıldıkları ve akıllı ulaşım sistemleri kullanılmaya başladığı için kural ihlallerini yakalamak ve cezai işlem uygulamak daha kolaydır. Ülkemizde ki Gebze-İzmir, Ankara-Niğde ve Kuzey Marmara otoyollarına ait genel kullanım kuralları ise aşağıda sıralanmıştır:

- Ücret toplama istasyonları dışında otoyola giriş ve çıkış yapmak yasaktır. Otoyol sınır çizgisi boyunca tesis edilmiş olan tel çitler veya duvarlar bu tür çıkışları engellemek amacıyla tesis edildiğinden bu engellerin açılması, yıkılması, kesilmesi ve başka şekilde tahrip edilmesi yasaktır [26].
- Yayaların, hayvanların, motorsuz araçların, lastik tekerlekli traktörlerin, iş makinelerinin ve bisikletlerin otoyola girmesi yasaktır [27].
- Otoyolda mecburi asgari hız 40 km/saat olup; azami hız, geometrik standartların müsaade ettiği limitler ve ilgili trafik işaretlerinde belirtilen sınırlar haricinde binek araçlar için 120 km/saat olarak belirlenmiştir [26].

- Otoyolda duraklamak, park etmek, geri dönüş yapmak ve geri geri gitmek yasaktır. Zorunlu hallerde en sağdaki emniyet şeridinde (bankette) durulabilir [26].
- Tehlikeli ve kimyasal madde taşıyan araçlar belirlenen güzergahların dışında otoyolları kullanmaları yasaktır [28].
- Otoyolu kurallarına uygun olarak kullanmayan kişilere ve otoyola giren hayvan sahiplerine 6001 Sayılı Karayolları Genel Müdürlüğünün Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun hükümlerine göre, otoyolda çevreyi kirletenlere ise 2872 Sayılı Çevre Kanunu hükümlerine göre idari para cezası doğrultusunda gerekli işlem yapılmaktadır. Bu maddelere ek 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu'na uyma zorunluluğu vardır [27].
- Rüzgâr hızının belirli değerlere ulaşması durumunda, tanımlanan kısıtlamalara(hız, gabari yüksekliği vs.) uyulması zorunludur [28].
- Karavanlar, kapalı dorseli TIR'lar, strafor gibi hafif malzeme yüklü kamyonlar ile kendisi hafif olan araçlar, standart otomobillere ve ağır araçlara göre rüzgârdan daha fazla etkilenirler. Dolayısıyla, köprü geçişi sırasında karşılaşılabilecek rüzgâr etkisinin, büyük, yüksek veya hafif araçlarda diğer araçlara göre daha fazla olacağı geçiş öncesinde sürücüler tarafından dikkate alınmalıdır. Ayrıca, kullandıkları araçların rüzgârdan ne şekilde etkilendiğini en doğru olarak bizzat araç sürücülerini bilebilirler. Bu nedenle, rüzgârlı havada yapılan uyarıları ve bu uyarıların tarifi dışında kalsa bile, aracın yüküne ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak tehlikeli olabilecek durumları dikkate almadan, köprüden yapacağı geçişlerin sonuçlarından başkalarına atfedilemeyecek şekilde araç sürücüsünün sorumlu olduğu unutulmamalıdır [28].

3. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

Kentlerde artan nüfus yoğunluğu ile birlikte paralel artan bireysel özel araçlar ve halkın ortak kullandığı toplu ulaşım araçlarının sayıları da gün geçtikçe artmaktadır. Artan araç sayısı trafik yoğunluğunun artmasına, trafikte zaman kaybının artmasına, ekonomik olarak yakıt tüketiminin artmasına, doğaya verilen zararın artmasına, alternatif yol yapımı için inşaat maliyetlerinin artmasına, emniyeti sağlamada aksaklıklara ve daha da önemlisi bireylerin zaman kaybına sebep olmaktadır [29].

Ulaşımında yaşanan bu problemlerle beraber çözümler aranmaya başlanmıştır. İlk olarak bu neden-sonuç ilişkisinden Akıllı Ulaşım kavramına ihtiyaç duyulmuş ve Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin temeli sayılabilecek yöntem ve öneriler geliştirilmeye başlamıştır [29]. İstenildiği zaman istenilen bilgilere telefon, bilgisayar aracılığı ile erişimi sağlayacak, ekonomik ve zamansal karlılık sağlayacak sistemlere ihtiyaç duyulmuş ve sonuç olarak akıllı ulaşım sistemleri tanımı ortaya atılmıştır [30].

Dünya ülkelerinde Akıllı Ulaşım kavramı ile ilgili ilk çalışmaları 1970'lerin başında CACS (Comprehensive Automobile Traffic Control Systems-Kapsamlı Otomobil Trafik Kontrol Sistemleri) ile Japonya başlatmış, ERGS (Electronic Route Guidance System - Elektronik Rota Kılavuzluk Sistemi) ile Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri devam ettirmiştir. 1980'lerde haberleşmenin artması ile çalışmalar daha da hızlanmıştır. Kamu ve özel sektör iş birliği ile ücret toplama sistemleri, trafik kontrol noktaları, sürücü ve yolcu bilgilendirme sistemleri ve akıllı kavşak kontrol sistemleri gibi uygulamalarla akıllı ulaşım sistemleri yeni bir alan olduğunu ispatlamıştır [31].

Dünya genelini kapsayan Akıllı Ulaşım Sistemlerine ilişkin ilk kongre 1994 yılında Fransa' nın başkenti Paris' te gerçekleştirilmiştir. Bu sayede Akıllı Ulaşım Sistemleri ile ilgili ulusal çapta fikir alışverişleri başlamıştır. Bu sonuçlar neticesinde ülkeler kendi ihtiyaçlarına göre Akıllı Ulaşım ile ilgili teknolojilere yönelmiştir. Bunların yanı sıra ERTICO, ITS Amerika, ITS Asya Pasifik gibi bölgesel yapılanmalar da bulunmaktadır [31].

3.1 Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin Gelişimi

Karayolu ulaşımı kullanımının artması ile mevcut yolların trafik taşıma kapasiteleri yeterliliğini kaybetmeye başlamıştır. Karayolu uzunluğunun artmasını sağlayan yeni yol yapım projeleri ise maliyet, yapım süresi, projenin yapılacağı alanın kamulaştırılması gibi problemleri

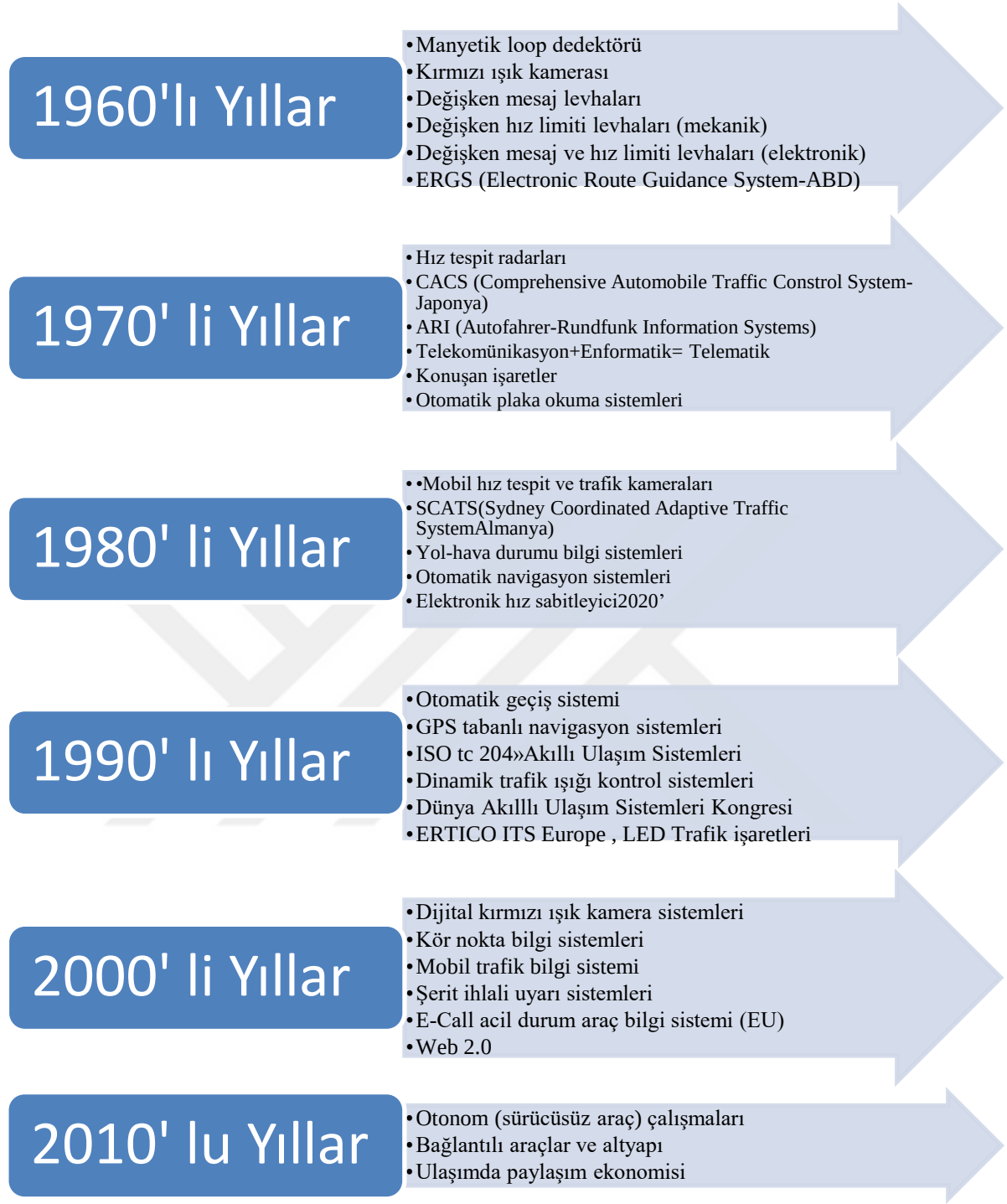
beraberinde getirmektedir. Hızla artan şehir nüfuslarında yeni yapılan yollar kısa vadeli ve pahalı bir yöntem olmuştur. Avrupa Komisyonu nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde ulaşım problemleri için kalıcı, sürdürülebilir ve yenilikçi çözümlere yer verilmesi gerektiğini belirtmiştir [32]. Böylelikle akıllı ulaşım sistemleri düşüncesinin temelleri ortaya çıkmıştır.

Akıllı ulaşım sistemleri; Ulaştırma Telematikleri(Transport Telematics) ve Ulaştırma Bilgi ve Kontrol Sistemleri(TICS-Transport Information and Control Systems) isimleri ile de farklı kaynaklarda karşımıza çıkmaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinin bilinen ilk örnekleri ise trafik yoğunluğunun günlük hayatta problem olarak karşılaşılan Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Avrupa Birliği ülkelerinde görülmektedir. Akıllı ulaşım sistemi uygulamaları ulaştırma ve otomotiv sektörünün yanı sıra zamanla politikacılarında ilgilendiği bir sektör haline gelmiştir [32].

İnternete erişimin artması ve hızla gelişen akıllı telefon altyapısı da günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemlerinin daha fazla alanlarda ve çok daha hızlı bir şekilde duyulmasını ve gelişmesini sağlamıştır. Yapılan gelişmiş modern yolların altyapıları da Akıllı Ulaşım Sistemleri ile bir bütün halinde çalışmaktadır.

Akıllı Ulaşım Sistemlerinin gelişmesi de beraberinde birçok endüstriye fayda sağlamaktadır. Bunların başında teknolojik cihazlar, cihazlara uyumlu çalışan yazılım ve uygulamalar, hızlı ve pratik yol geçişi ve yolcu ücreti ödeme işlemleri, otomotiv sektörü, ulaştırma sektörü, sağlık sektörü, haberleşme sektörü, enerji sektörü, inşaat sektörü gelmektedir [33].

1930 yılı ile 1960 yılı arası akıllı ulaşımın hazırlık süreçlerini oluşturmaktadır [32].Akıllı Ulaşım Sistemleri' nin 1960'lı yıllarda başlayıp hızlı bir şekilde hala devam eden tarihsel gelişmeleri ve teknolojileri Şekil 3-1'de yıllara göre kısaca özetlenmiştir.



Şekil 3-1: Yıllara Göre Akıllı Ulaşım Sistemleri Tarihçesi [34]

2020'li yıllara gelindiğinde ise Akıllı Ulaşım Sistemlerinden daha kapsamlı fayda sağlanmaya başlanmıştır. Akıllı Ulaşım Sistemleri sadece araçların takibini ya da ücret toplanmasını kapsamaktan çıkmış; insan hayatını kolaylaştırıcı ve güvenliği artırıcı birçok konuda çözüm üretmeye başlamıştır. Üretilen çözümler arttıkça, Akıllı Ulaşım Sistemlerine daha çok konu başlıkları ve sorunlar eklenmeye başlamıştır [35].

3.2 Yolcu Bilgi Sistemleri

Günümüzde kişilerin anlık olarak internete erişimlerinin hızla kolaylaşması ile birlikte birçok şeyi anlık kontrol edebilmesi kolaylaşmıştır. Yolcu bilgi sistemlerinin amacı yolculuk öncesinde ya da yolculuk sırasında; yolculara yol durumunu, hava durumunu, meydana gelen kazaların yerini, en uygun yolun seçimini ve uygun park yeri bulmalarına fayda sağlamaktır [32].

Yolcu bilgi sistemleri sayesinde bireyler yolculuklarına başlamadan planlamalarını yapabilmektedirler. Trafiğin yoğunluğu, gelen toplu taşıma aracının durağa ulaşma zamanına göre yolculuklarını belirleyebilmektedirler. Bu uygulamalardan verim alınabilmesi için kullanıcıların pozitif katılımları oldukça önemlidir. Mesela Amerika Birleşik Devletleri 1980’li yıllarda ulaşım araçlarında sesli uyarı sistemlerini (kemerinizi takınız, kapıyı kapatınız vb.) kullanmıştır. Fakat yolcu ve sürücüler tarafından uygulama kabul görmediği için verim alınamamıştır [35].

3.2.1 Akıllı Durak

Tren, tramvay gibi raylı sistemlerde ve otobüs, metrobüs, trolleybüs gibi karayolu ulaşımını sağlayan taşıtlar ile bekleyen yolcular arasında ki iletişimi sağlayan bir akıllı ulaşım sistemi uygulamasıdır. Akıllı durak sistemleri araçların hızlarını, bulundukları konumu, gidecekleri konumu ve durağa gelme sürelerini duraklara yerleştirilen LCD monitörlerle, anons sistemleriyle, mobil uygulama ve web sitesi aracılığıyla yolcuların bilgi sahibi olması prensibiyle çalışır [36].

Ülkemizde akıllı durak uygulamasını Antalya, İstanbul ve Gaziantep illerimizde görmek mümkündür. Şekil 3-2’de görüldüğü üzere İstanbul’ da İETT tarafından Barbaros Bulvarı Yıldız Teknik Üniversitesi durağında elektrik enerjisini üzerinde bulunan güneş enerjisi panellerinden üreten akıllı durak uygulaması 2016 yılında hizmete açılmıştır [37].



Şekil 3-2: Akıllı Durak (YTÜ Durağı-İstanbul) [37]

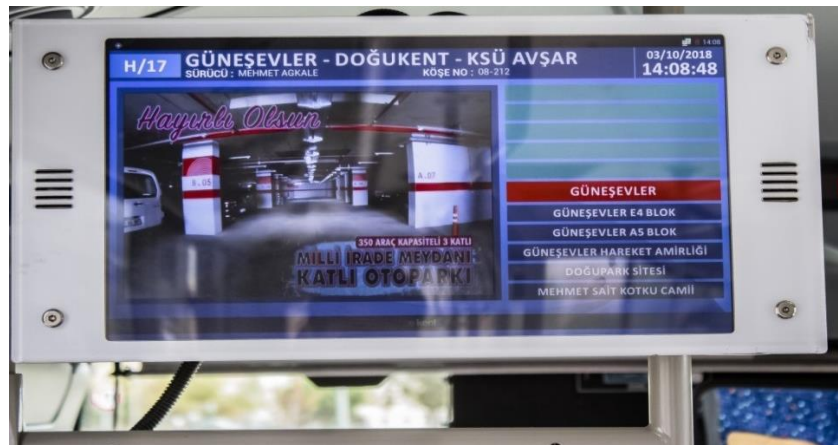
Şekil 3-3'te görüldüğü gibi, akıllı durakta LCD/LED yolcu bilgilendirme sistemi, bilet-matik, bas-konuş, engelli araç şarj istasyonu ve ücretsiz kablosuz internet gibi özelliklere yer verilmiştir. Bas-konuş özelliği ile görme engelli yolcuların ulaşım merkezi ile anlık konuşup bilgi almaları hedeflenmiştir. Bu tip uygulamalar sayesinde engelli yolcuların ulaşımında yaşadığı problemler azaltılmak istenmiştir [38]. Şekil 3-3'te ise yenilenebilir güneş enerjisi ile çalışan Gaziantep ilimizde uygulaması yapılan başka bir akıllı durak örneği verilmiştir.



Şekil 3-3: Yenilenebilir Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Durak (Gaziantep) [39]

3.2.2 Araç İçi Yolcu Bilgilendirme Sistemleri

Otobüs, tren, tramvay, metrobüs gibi toplu taşıma araçlarında LCD ekran ya da LED paneller ile yolculara güzergah bilgilerini, otobüs durağının bilgilerini, araçların konum bilgilerini, ücret ödeme için dolun noktalarının yerlerini gösteren sistemlerdir. Araç içi yolcu bilgilendirme sistemleri Şekil 3-4'te verilen örnekte olduğu gibi, görsel olarak ve sesli anons olarak yolculara bilgileri vermektedir [40].

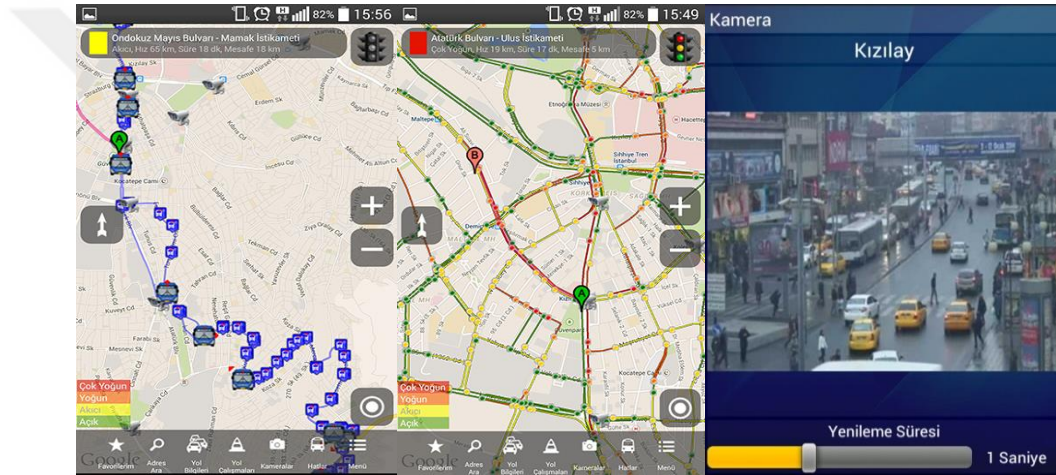


Şekil 3-4: Araç İçi Yolcu Bilgilendirme Ekranı (Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi) [41]

3.2.3 Mobil ve Web Trafik Bilgi Sistemi

Trafikteki yoğunluğu, varılacak hedefe yoğunluğa göre ne zaman varılacağını, meydana gelen kazaları anlık olarak kullanıcılarla buluşturmayı hedefleyen mobil uygulamalar ve web sayfalarıdır.

Ülkemizde en yaygın ve en bilinen mobil uygulamalar İstanbul Büyükşehir Belediyesi Cep Trafik ve Ankara Büyükşehir Belediyesi Cep Trafik uygulamasıdır. Sürücülere ve yolculara günün her anında trafik yoğunluğu bilgisini verebilmekte ve buna bağlı olarak alternatif yol seçimi hakkında yardımcı olmaktadır [42]. Ankara ilimize ait trafik yoğunluğunu gösteren cep trafik uygulaması ekran görüntüleri Şekil 3-5'te örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3-5: Ankara Büyükşehir Belediyesi Cep Trafik Uygulaması [43]

3.3 Trafik Yönetim Sistemleri

Trafik yönetimi sistemlerinin çalışma prensibi veri toplama, işleme, depolama ve dağıtım şeklinde olmaktadır. Veriler kamera ve sensörler yardımıyla elde edildikten sonra akıllı ulaşım altyapısı sayesinde trafik yönetim merkezlerine iletilmekte değişken mesaj işareti panoları, mobil uygulamalar ya da yol bilgi radyosu gibi sistemlerle sürücülere iletilir. Bu sistemler sayesinde bir yandan sürücü ve yolcular bilgilendirilmekte diğer yandan kaza ve acil durumlar için yol müdahale ekiplerine bilgi verilmektedir [44].

İstanbul Büyükşehir Belediyesine ait Trafik Kontrol Merkezi'nin bileşenleri ve çalışma akış şeması Şekil 3-6'da verilmiştir.



Şekil 3-6: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi Bileşenleri [42]

Trafik kontrol merkezi yapım ve uygulama çalışmalarına diğer illerimizden de örnekler vardır. Gaziantep ilimizde 2015 yılında trafik kontrol merkezi yapılmıştır. Bu merkez sayesinde tren, tramvay, otobüs gibi toplu ulaşım araçları, trafik akışı, trafik sinyalizasyon sistemleri tek bir merkezden izlenmekte ve yönetilebilmektedir [45]. Şekil 3-7’de görüldüğü gibi şehrin farklı noktalarına yerleştirilen akıllı ulaşım sistemi kameralarından alınan veriler trafik kontrol merkezinde tek bir noktada toplanmakta ve trafikte yaşanan sorunlara daha hızlı çözümler üretilebilmektedir.



Şekil 3-7: Gaziantep Trafik Kontrol Merkezi [46]

3.3.1 Geleneksel Trafik Yönetimi

Geleneksel yöntemler; kanallama yöntemleri ve sabit zaman ayarlı sinyalizasyon kapasitenin artması ve güvenliğin artmasını sağlayan yöntemlerdir. Ülkemizde yolların yönetim, işletim ve denetim görevini yapan Karayolları Genel Müdürlüğü, Emniyet Genel Müdürlüğü ve yerel yönetimler tarafından trafik yönetimi ve kontrol merkezleri kurulmaktadır [42].

2013 yılında yapılan 11. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Şurasında devlet ve il yolları için 17 adet bölgesel, 1 adet ana merkez olmak üzere trafik yönetim sistemi merkezi kurulması kararlaştırılmıştır [44].

3.3.1.1 Kanallama

Kavşaklarda ya da uygun görülen yerlerde trafikte kontrolü ve güvenliği sağlamak için araçların ya da yayaların hız, yöre vb. yönlerden denetlenmesine kanallama denir. Kanallama yöntemi sayesinde yanlış yöne girme hareketlerini caydırıcı veya yasaklayıcı düzenlemeler; yollara şeritler, adalar ve yan cepler yapılarak trafikte çeşitli düzenlemeler yapılabilir [47].

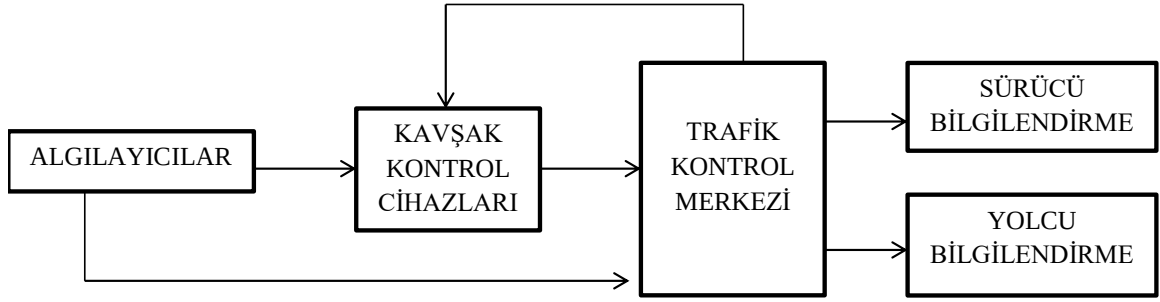
3.3.1.2 Sabit Zaman Ayarlı Sinyalizasyon

Sinyalizasyon, araçlar ve yayalar için kaza riskini azaltmak ve geçişleri kolaylaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Gerçek zaman ayarlı ve sabit zaman ayarlı olmak üzere ikiye ayrılır. Gerçek zamanlı sinyalizasyonda algılayıcı yardımı ile alınan verilere göre dinamik devre süresi hesaplanır ve uygulama yapılır. Sabit zaman ayarlı sinyalizasyonda ise daha önceden sahada elde edilen verilere göre devre süresi hesaplanır ve uygulanır [47].

3.3.2 İleri Trafik Yönetimi (Akıllı Ulaşım Sistemi Yaklaşımı)

Günümüzde artan yolculukların ve taşıt sayılarının daha güvenli ve daha konforlu olması sadece yeni yol yapımı ile bir çözüme kavuşamamaktadır. Mevcut yolların kullanım ve trafiğin koordinasyonu iyileştirilmeli, yol kullanımının verimliliği artırılmalıdır [30].

Ülkemizde trafik yönetimi işini Kara Yolları Genel Müdürlüğü (KGM), Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) ve yerel yönetimlerde ise belediyeler ve alt kurumları üstlenmiştir. Akıllı ulaşım yönetiminin çalışma şeması Şekil 3-8’de basitçe verilmiştir.



Şekil 3-8: Akıllı Ulaşım Yönetim Sistemleri Şeması [48]

İleri trafik yönetimi sistemleri üç maddede irdelenmektedir. Bu maddeler;

1. Bulunduğumuz anda trafiğin kontrol edilmesini ve yönetilmesini sağlamak için kullanılan teknolojiler: sensörler, kameralar, elektrikli led tabelalar, semaforlar)
2. Trafiğin durumunu görüntülemek ve yorumlamak için veri toplama bileşenleri,
3. Elde edilen verileri sahada aktif olarak kullanmak (Örneğin: yolun yoğunluk durumunu tabelalara iletip, sürücülere bilgi vermek.) için geliştirilen gerçek zamanlı trafik kontrol sistemleridir[32].

3.4 Toplu Taşıma Sistemleri

Toplu taşıma sistemlerinde kullanılan akıllı ulaşım sistemleri zaman ve enerjiden tasarruf sağlanması açısından oldukça önemlidir. Elde edilen tasarrufun daha da artması için bireylerin ulaşımında toplu taşıma araçlarını kullanması öngörülmektedir. Toplu taşıma araçlarını bir bütün yolcu/km olarak incelediğimizde akaryakıt olarak kişisel araçlardan %20 daha az enerji tüketmektedir. Trafikteki özel araç sayısı azalacağından çevreye salınan CO₂ ve diğer zararlı gazlar azalacaktır. Toplu taşıma araçlarına olan eğilim arttığında trafik yoğunluğu da azalacaktır. Toplu taşıma ve özel araç kullanımının trafikteki yarattığı araç kalabalığı Şekil 3-9'da gösterilmiştir [30].



Şekil 3-9: Tek bir otobüste 69 yolcunun, 69 yayanın ve 69 bisikletlinin ve 40 arabanın yolda kapladığı alanın karşılaştırılması [49]

Akıllı ulaşım sistemleri başlığı altında “Yolcu Bilgilendirme Sistemleri” konu başlığı altında incelemiş olduğumuz akıllı ulaşım sistemlerinin toplu taşıma sistemlerinde yaşanan başlıca problemler ve çözümlerinin örneklerinden bazıları Tablo 3-1’de verilmiştir. Yaşanılan sorunların çözümleri akıllı ulaşım sistemleri alanında ki gelişmeleri de beraberinde getirmektedir.

Tablo 3-1: Toplu taşımada yaşanan problemler ve Akıllı Ulaşım Sistemleri’nin sektöre getirdiği bazı çözümler [30]

Yaşanılan Problemler	AUS Çözümleri
Soğuk havalarda otobüs beklerken ayakta bekleme güçlüğü	Evde veya durakta bekleme süresini gösteren Akıllı Ulaşım Sistemi cihazları
Görme bozukluğundan, sonraki otobüs hatlarının okunamaması	Gelen otobüs numarasının sesli bildirimini yapan cihazlar
Görme bozukluğu durumunda gelecek olan otobüs saatini kaçırma	Yolcu ve otobüsün haberleşmesini sağlayan cihaz ve uygulamalar
Nakit paraların kaybolma riski	Akıllı ödeme kartları (Kentkart)
Düşük görüş seviyesi nedeniyle varış yerini tanımlayamama	Otobüs içinde sonraki durağı gösteren ekranlar
Duyma bozukluğu	Otobüsteki indüksiyon döngüsü
Görme bozukluğu	Konuşan İşaretler

3.5 Elektronik Ödeme Sistemleri

Ücretli geçiş yapılan otoyol ve köprülerde ödeme esnasında kuyruk oluşmasını engelleyen ve hızlı ödeme yapmayı sağlayan sistemlerdir. Ülkemizde ilk başlarda Otomatik Geçiş Sistemi ve Kartlı Geçiş Sistemi olarak çalışan sistemler 2013 yılında yerlerini tamamen Hızlı Geçiş Sistemlerine bırakmıştır. HGS sistemi otoyol ve köprülerden geçen araçların taşıt sınıfına ve kat ettikleri yol mesafesine göre ödeme noktalarında hareket halindeyken ücret ödemelerini sağlar. HGS sistemi kart ya da pasif RFID diye isimlendirilen etiketlerin araçlarda kamera görüş açlarına takılması ile çalışır. HGS uygulaması ile birlikte bir bütün olarak çalışan kameralar sayesinde trafikte kural ihlali yapan sürücülerin de tespiti yapılabilmektedir [50]. Şekil 3-10'da HGS, OGS ve nakit ödeme sistemi ile çalışan yol elektronik ücret ödeme gişesi verilmiştir.



Şekil 3- 10: İstanbul-İzmir Otoyolu HGS-OGS Gişeleri [51]

Yol ücretlendirmesine en bilindik örnek 1975 yılında “Yol Geçiş Elektronik Ücretlendirilmesi” uygulaması ile Singapur’dur. Sistemde ücretlendirme yapılırken şehir merkezine giriş yapan her araç için ücretlendirme yapılmıştır. Bu uygulama sonucunda trafik yoğunluğu %25 azalmış, toplu taşıma sistemlerine rağbet ise %33 oranında artmıştır [52].

Toplu taşıma araçlarında da elektronik kartlar ve kredi kartları günümüzde ödeme aracı olarak kullanılmaktadır. Bu sayede toplu taşıma için kullanılan paranın merkezileştirilmesi kolaylaşmaktadır. Ayrıca bu ödeme sistemi aracılığıyla akıllı ulaşım ve akıllı şehirler için yolcunun hareketleri, alışkanlıkları, ihtiyaçları ve tercihleri de veri olarak elde edilmektedir [53].

Ülkemizde akıllı kart veya banka kartı ile ödeme yapılan il ve ilçelerden bazıları; İstanbul, Adana, Gaziantep, Kocaeli, Mersin, Muğla, Sivas, Bandırma, Edirne, Çanakkale, İnegöl, Konya,

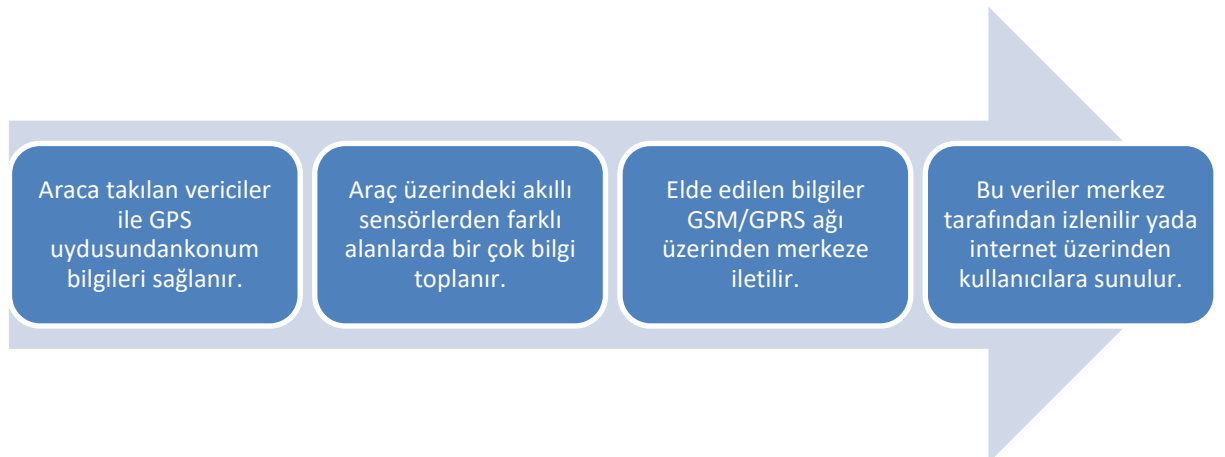
Alanya, Antalya, Ordu, Ankara, İzmir örnekleridir [54]. Şekil 3-11’de toplu taşımada ücret ödemede kullanılan kent içi toplu taşıma kartı ve ödemeyi alan validatör cihazı verilmiştir.



Şekil 3-11: Toplu Ulaşım Kartlı Ödeme Sistemi (İzmir) [55]

3.6 Yük ve Filo Yönetim Sistemleri

Ülkemiz yollarında ya da uluslararası yollarda çalışan araçların izlenmesi ve denetlenmesi için kullanılan sistemlerdir. Yük ve filo yönetimi sistemleri sayesinde araçlarda oluşan arızalar, sürücülerin kullandığı yol güzergahları, trafik kurallarına uyumu ve yükün teslimatının ne zaman yapılabileceği gibi bilgilere kolayca ulaşılmaktadır [56]. Yük ve filo yönetimi sistemlerinin çalışma şeması Şekil 3-12’de kısaca özetlenmiştir.



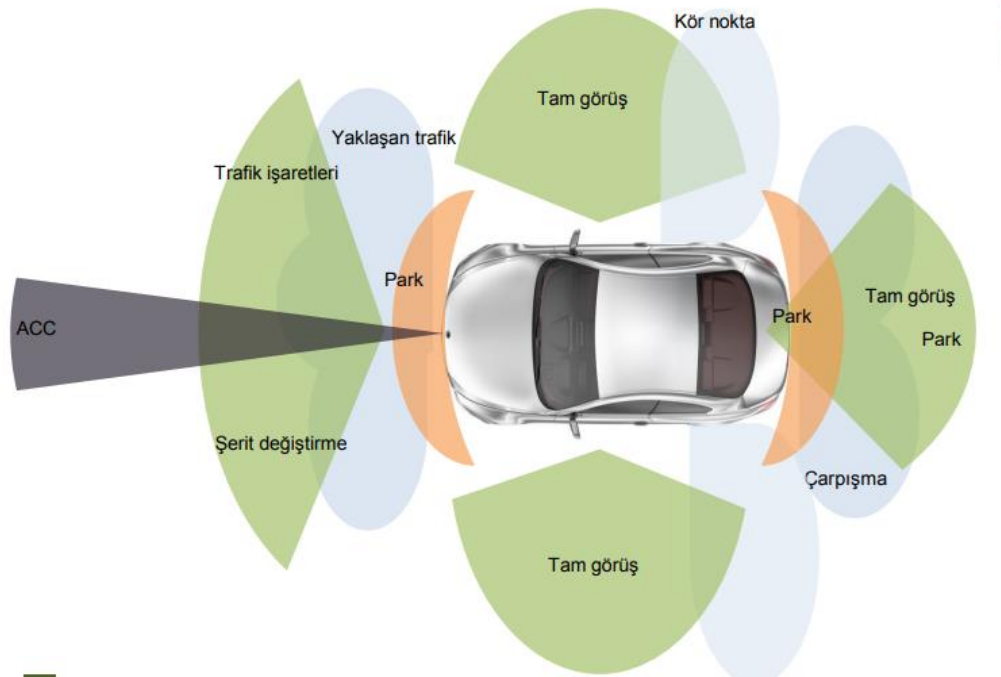
Şekil 3-12: Araç Yönetim Sistemlerinin Basitçe Çalışma Şeması [57]

Akıllı telefon kullanımının artması ile ortaya çıkan makineler arası haberleşme “M2M (Machine to Machine)” sistemleri sayesinde araç takip ve yönetim sistemlerinde büyük ölçüde artış olduğu gözlenmiştir. Özellikle özel sektörde kontrol ve tasarrufu sağlamak için M2M teknolojisine yönelim artmıştır. 2020 yılı Ulaştırma ve Altyapı bakanlığı verilerine göre mobil

abone sayısının 5,7 milyona, yetkilendirilen şirketlerin ise 17,5 milyar lira gelire ulaştığı söylenmektedir [42].

3.7 Sürücü Destek ve Güvenlik Sistemleri

Sürücülerin trafikte kullandıkları araca, araç ve yaya trafiğine daha hakim olmasını sağlayan; daha güvenli, daha konforlu ve daha verimli araç kullanımını sağlayan sistemlerdir. Araçlardaki sürücü destek ve güvenlik sistemleri; kör nokta tespitleri ile kazaları azaltmakta, trafik yoğunluğunu sürücü ile paylaşarak trafik sıkışıklığını azaltmakta, araç güvenliğini ve hız kontrolünü sağlamakta oldukça fayda sağlayan ve gün geçtikçe daha da gelişmekte olan bir teknolojidir [30]. Günümüz araçlarında kullanılan güvenlik sistemlerinin araç üzerinde gösterimi Şekil 3-13'te ki görselde gösterilmiştir.



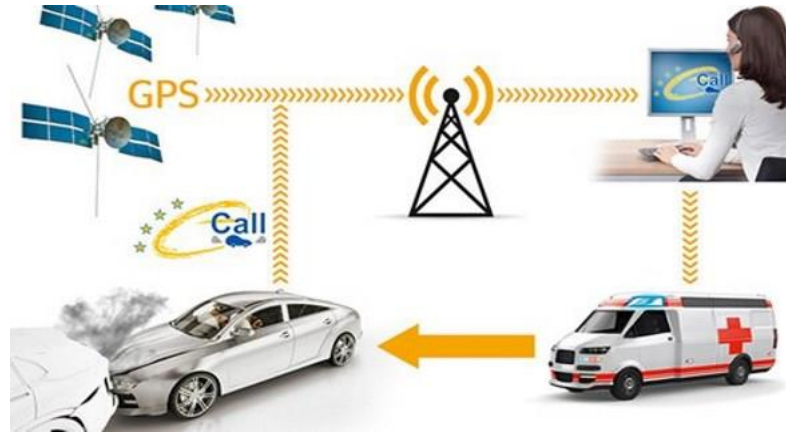
Şekil 3-13: Araç Çevresinde Güvenli Sürüşü Sağlayan Akıllı Sürüş Sistemleri [58]

Günümüzde sürücü destek sistemleri **Advanced Driver-Assistance Systems** kelimelerinin kısaltması ile oluşan ADAS, Türkçe karşılığı ise “İleri Sürücü Destek Sistemi” olarak isminden söz ettirmeye başlamıştır. ADAS iki alt başlık altında incelenmektedir. Bunlar; kaza oluşumunu aktif düşürmeye çalışan Aktif Güvenlik Sistemleri(Örn: ABS, ESP, ..), kaza olduktan sonra yolcuların güvenliğini sağlamaya çalışan Pasif Güvenlik Sistemleri’ dir (Örn: Hava yastığı) [59]. Günümüzde en çok bilinen ve kullanılan sürücü destek sistemlerinin başlıcalarını;

- Adaptif Hız Sabitleme
- Uyarlamalı Işık Kontrolü
- Anti-Lock Braking System (ABS)
- Otomatik Park
- Navigasyon Sistemleri
- Gece Görüşü
- Kör Nokta Kontrolü
- Çarpışma Önleme Sistemi
- Yorgunluk Algılama Sistemi
- Sürücü İzleme Sistemi
- Elektrikli ve Tam Elektrikli Hibrit Araçlar İçin Sesli Uyarı Sistemleri
- Acil Durum Destek Sistemi
- Çarpışma Uyarı Sistemi
- Yokuş İniş Kontrolü
- Şerit Takip Sistemi
- Şerit Değiştirme Destek Sistemi
- Park Sensörü
- Yaya Koruma Sistemi
- Yağmur Sensörü
- Çevre Görüş Sistemi
- Lastik Basınç Görüntülüne
- Trafik İşareti Algılama Sistemi
- Araçlar Arası İletişim Sistemleri oluşturmaktadır [59].

3.8 Kaza ve Acil Durum Sistemleri

Yollarda gerçekleşen trafik kazalarının ve acil durumların hemen tespit edilmesini ve bir an önce müdahale edilmesini amaçlayan sistemlerdir. Avrupa Birliği' nin aktif olarak kullandığı kaza ve acil durum sistemlerinin en önemlisi “Acil Çağrı(e-Call)” uygulamasıdır. E-call uygulamasının amacı kaza yapan araçlara ve sürücülere daha hızlı müdahale edilmesini sağlamaktadır[30]. E-call uygulamasından günlük hayatta elde edilmek istenen fayda, Şekil 3-14'te verilen trafik kazası örneğindeki gibidir.



Şekil 3-14: E-Call Uygulaması Çalışma Similasyonu [60]

Ülkemizde; 2015 yılında Avrupa Birliği ülkeleri, Norveç, İsviçre ve İzlanda gibi ülkelerin ürettikleri araçların uyumlu olmaları ve ortak çağrı iletişim numarası olan 112 tabanlı e-Call çağrılarını karşılamayı amaçlayan HeERO (Harmonised eCall European Pilot – Uyumlandırılmış e-Çağrı Avrupa Pilot Projesi) projesine 1 Ocak 2013 tarihinde dahil olmuştur [42].

Projenin ilk aşamasına 9 ülke başlamıştır. İkinci etapta ise Türkiye, İspanya, Bulgaristan, Lüksemburg, Danimarka ve Belçika yer almıştır. Ülkemizde Aselsan A.Ş.- Türk Telekom A.Ş. – Turkcell - Renault- Tofaş gibi firmalar projeyi İçişleri Bakanlığı İller İdaresi Genel Müdürlüğü alt yüklenicisi olarak yürütmüştür [61].

Projenin sonucunda ise Türkiye’de Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 29/4/2015 tarihli ve 2015/758/AB sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Regülasyonu kararını dikkate alarak Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde “112 Acil Çağrı Servisi Tabanlı Araç İçi Acil Çağrı Sisteminin Yerleştirilmesi İle İlgili Tip Onayı Yönetmeliği” ni yayımlamıştır [61].

Tüm Türkiye’ den gelecek e-Çağrıların operatörler tarafından karşılanması sağlanmıştır. Bu projeden sonra Volvo ve Mercedes gibi araç firmaları saha testleri yapmış 1000 den fazla e-çağrı ve 7500 km yol test etmişlerdir. Haziran 2018 tarihinden günümüze kadar 6868 çağrı alınmıştır [61].

3.9 Türkiye’ de Akıllı Ulaşım Sistemleri Tarihçesi

Ülkemizde faaliyete geçirilen akıllı ulaşım sistemi uygulamaları örnekleri yıllara göre başlıklar halinde sıralanmış ve aşağıda verilmiştir.

3.9.1 Boğaziçi Köprüsü Ücret Toplama Sistemi (1973)

1973 yılında Boğaziçi Köprüsü' nün hizmete açılmasıyla araç sınıflarına göre ücret alınmıştır. Ücret toplama merkezi Avrupa ve Asya yönlerinde bulunan ücret toplama gişeleri ve işletme binasında ki gişeden oluşmuştur [62]. Yapıldığı dönemde önemli bir yere sahip olan Boğaziçi Köprüsü' ne ait görsel Şekil 3-15'te gösterilmiştir.



Şekil 3-15: Boğaziçi Köprüsü [62]

3.9.2 KGM Otoyol Ücret Toplama Sistemi ve Acil Durum Yönetim Sistemi (1992)

1992 yılında otoyollarda araçların sınıflarına göre ve kullanmış olduğu olun mesafesine göre ücretlendirme yapılmasını sağlayan ayrıca bu yolculuklarda meydana gelen kazaları, acil durumları Otoyol Yönetim Merkezine iletmeyi sağlayan sistemlerdir [62]. Gişelere yerleştirilen ücret toplama sistemi kameraları ve yol kenarlarında yer alan acil durum çağrı sistemi telefonu örneği Şekil 3-16'da verilmiştir.



Şekil 3-16: Otoyol Ücret Toplama ve Acil Durum Sistemi [62]

3.9.3 Araç Takip Sistemi (1994)

Günümüzde hala araç takip sistemi teknolojileri işi ile uğraşan SATKO Araç Takip Sistemleri 1994 yılında ülkemizde kurulmuştur. Şekil 3-17’de görüldüğü gibi araca takılan takip cihazı uydu üzerinden araç takibini ve sürücüler arası haberleşme sistemini ülkemizde yük ve yolcu firmalarına sunmaya başlamıştır [62].



Şekil 3-17: Araç Takip Sistemi [62]

3.9.4 Akbil ve Otoyol Ücret Toplama Sistemi (1995)

Otoyol Ücret Toplama Sistemini ise tamamen yerli olarak Aselsan üretmiştir. Otoyollarda girişlerde bilet verip, çıkışlarda ise nakit ya da kupon kullanılarak ödemeler yapılmıştır [62]. Toplu taşımada kullanılan AKBİL ve otoyollarda kullanılan ücret ödeme gişesi örneği Şekil 3-18’de ki gibidir.



Şekil 3-18: Ücret Toplama Sistemleri [62]

Akbil; İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından toplu taşımada ücret toplamak için kullanılmış elektronik sistemdir. Gelişen teknoloji ile yerini kent içi toplu taşıma kartına bırakmıştır.

3.9.5 Trafik Kontrol Merkezi (1998)

Türkiye'nin ilk trafik kontrol merkezi İSBAK tarafından 1998 yılının Nisan ayında İstanbul Beyoğlu'nda İstiklal Caddesi'nde kurulmuştur. Bu gelişmeden sonra İSBAK sinyalizasyon programlama işlerini de kendisi yapmaya başlamıştır [63]. Kurulduğu dönemin teknolojisi ile yapılan trafik kontrol merkezi Şekil 3-19'da ki gibidir.



Şekil 3-19: Trafik Kontrol Merkezi [63]

3.9.6 Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) ve İzmir KentKart (1999)

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yoğunluk oluşmaması için kullanılan elektronik ücret ödeme sistemidir. İlk olarak Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nde kullanılmaya başlanmıştır [62]. Ülkemizde ki otoyollarda kullanılan OGS sistemi Şekil 3-20'de ki gibidir.



Şekil 3-20: Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) [62]

İzmir ÷lkemizde kent içi toplu taşıma kartı uygulamasını ilk kullanan ilimizdir. G÷n÷m÷zde otob÷s, feribot, tramvay ve fuar işletmesi de bu sistemi kullanmaktadır [62]. İzmir iline ait kent içi toplu taşıma kartı şekil 3-21’de g÷sterilmiştir.



şekil 3-21: İzmir KentKart rneği [64]

3.9.7 Bolu Dağı Geçişi Bilgilendirme Sistemi (2000)

1998 yılında çalışmalarına başlanıp 2000 yılında ÷lkemizde kullanılan ilk akıllı ulaşım sistemlerinden birisidir. 12 km’lik t÷nelde meydana gelen kazaları, olayları, hava ve yol durumunu elektrikli led mesaj panoları (DMİ) sayesinde s÷r÷c÷lere iletmektedir [62].Bolu Dağı T÷neli için kullanılan geçişi bilgilendirme haritası şekil 3-22’de g÷sterilmiştir.



şekil 3-22: Geçişi Bilgilendirme Haritası [62]

3.9.8 Yer Değiştiren (Mobil) Mesaj Tabelası (2002)

Yol alışması, trafik yoğunluğu, hız kısıtlaması vs. olan yerlerde s÷r÷c÷y÷ uyarmak için kullanılan akıllı ulaşım sistemleri uygulamasıdır. Kurulumu ve yer değişimi kolay olduğu için

istenilen her yerde kullanılabilir [62]. Şekil 3-23'te hız sınırlandırılmasını gösteren mobil mesaj tabelası örneği görülmektedir.



Şekil 3-23: Yer Değiştirebilen Tabela Örneği [62]

3.9.9 Trafik Yoğunluk Haritası, Trafik Bilgi Sistemi (2003; 2004)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) İSBAK tarafından ulaşımaya yön veren trafik ölçümü ilk kez 2003 yılında yapıldı. Hız bilgisi, araç sayısı, araç sınıfı, hız ihlalleri gibi trafik verilerin tespit etmek için trafik ölçüm cihazları kullanılmıştır. Bu sayede trafik yoğunluğunun düzenlenmesi ve mevcut yol ağ kapasitesinin en verimli şekilde kullanılması amaçlanmıştır. 2004 yılına gelindiğinde ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi teknolojinin de gelişmesi ile meydana gelen olayları her an takip etmek için Trafik Kontrol Merkezini kurmuştur [63]. İstanbul'da akıllı ulaşım sistemi uygulamaları kapsamında kullanılan trafik yoğunluk haritası, trafik ölçüm cihazı ve trafik kontrol merkezi görselleri Şekil 3-24'te gösterilmiştir.



Şekil 3-24: İstanbul Trafik Haritası ve Trafik Ölçüm Cihazı [62][63]

2004 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi şehirde trafik akışını takip etmek ve kontrol altına almak için çeşitli altgeçit ve kavşaklara kamera sistemleri kurarak trafik yoğunluğunu analiz etmeye çalışmıştır. Ölçülen yoğunluğa göre de akıllı ulaşım sistemlerini kullanarak sürücüleri yoğun olmayan yeni güzergahlara yönlendirmiştir [62]. Trafik yoğunluğunu sürücü ve yolculara harita üzerinde gösteren uygulama Şekil 3-25'te gösterilmiştir.



Şekil 3-25: Ankara Trafik Bilgi Sistemi [62]

3.9.10 Kartlı Geçiş Sistemi (KGS) ve Otoyol Trafik Yönetim Sistemi (2004)

Yol ücreti ödemelerindeki yoğunluğu azaltmak ve ödeme sistemlerinde düzenliliği sağlamak için Kartlı Geçiş Sistemleri (KGS) uygulamasına geçilmiştir. Ayrıca otoyollarda daha kesin ve ulaşılabilir verilere ulaşmak için otoyollarımızda ilk kullandığımız akıllı ulaşım sistemleri uygulaması olan otoyol trafik yönetimi kullanılmaya başlanmıştır. Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) etiketlerinden elde edilen daha net verilerle seyahat süresi bilgileri kullanılarak çalışan bir akıllı ulaşım sistemleri uygulamasıdır [62]. Şekil 3-26'da kartlı geçiş sistemini kullanan araç ve otoyol trafik yönetimini sağlayan sistemi görmekteyiz.

KARTLI GEÇİŞ
SİSTEMİ (KGS)

2004

OTOYOL TRAFİK
YÖNETİM SİSTEMİ

2004



Şekil 3-26: Kartlı Geçiş Sistemi ve Otoyol Trafik Yönetimi [62]

3.9.11 Kırmızı Işık Kural İhlal Sistemi (EDS) (2005)

2005 yılında İSBAK tarafından tek şeritte kırmızı ışık kural ihlallerini tespit etmek kullanılan uygulama günümüz elektronik denetleme sisteminin (EDS) temelini oluşturmuştur. Günümüzde ki EDS uygulamasıyla şerit, kırmızı ışık, hız vs. ihlallerini tespit etmek için elektronik denetleme sistemi uygulaması aktif olarak kullanılmaktadır [63]. Şekil 3-27’de hız kontrolünü sağlayan EDS uygulaması örneği verilmiştir.



Şekil 3-27: Elektronik Denetleme Sistemi [65]

3.9.12 Kent Güvenlik Sistemi (MOBESE) (2006)

Ülkemizde şehir izleme sistemlerine ilk kez 1996 yılında İstanbul’da uluslararası bir kongre olan Habitat-II’de (İnsan Yerleşkeleri Üzerine Birleşmiş Milletler Konferansı) Harbiye ve Maçka arasındaki vadinin analog kameralarla izlenmesi ile yatırım yapılmıştır. 2004 yılında

ise NATO zirvesi yapılmış ve MOBESE altyapı yatırımları arttırılmıştır.2005 yılında ise şehir izleme planlamalarını hayata geçirmek için tüm İstanbul' u kapsayan Mobil Elektronik Sistem Entegrasyonu (MOBESE) projesi faaliyetleri başlamıştır [66]. Şekil 3-28'de MOBESE uygulamasında kullanılan kameralar ve elde edilen görüntülerin izlendiği izleme merkezi gösterilmiştir.



Şekil 3- 28: MOBESE İzleme Merkezi ve MOBESE Kameraları [67]

İstanbul MOBESE sistemi:

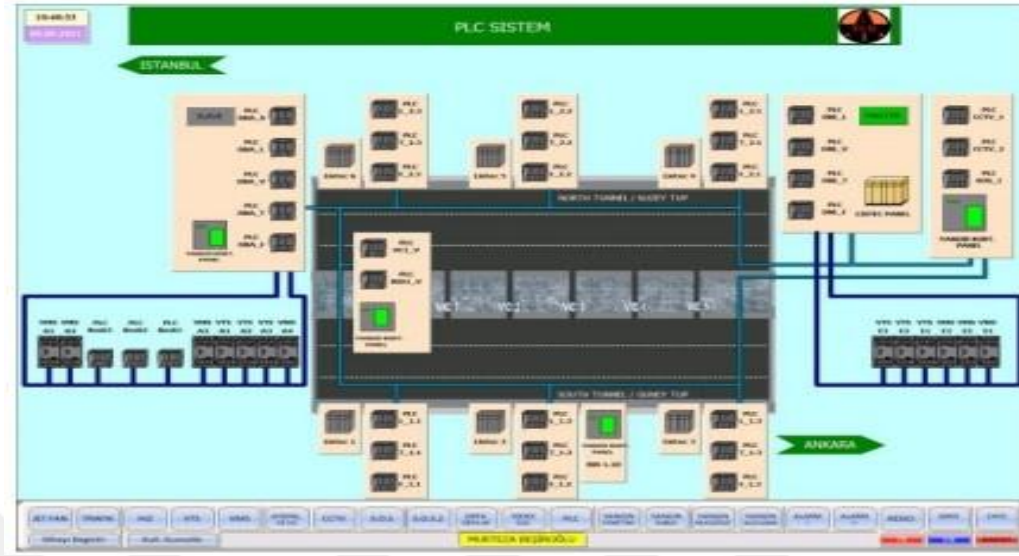
- Bölge Kamera Görüntüleme Sistemi
- Plaka Algılama Sistemi
- Araç Takip Sistemi
- Mobil Araç Sorgulama Sistemi
- Nezarethane İyileştirme ve Kontrol Sistemi
- Mobil Operasyon Yönetim Sistemi
- Komuta Kontrol Merkezi gibi 7 adet sisteminin beraber çalışması ile

çalışmaktadır [66].

3.9.13 Bolu Dağı Tüneli Yönetim Sistemi ve İlk Cep Trafik Uygulaması (2006; 2007)

Ülkemiz şehirlerarası ulaşımında önemli bir yere sahip olan Bolu Dağı Tünelini ve otoyolda kullanılan akıllı ulaşım sistemlerini her an denetleyebilmek ve müdahale edebilmek için Programlanabilir Mantıksal Kontrol Devreleri (PLC) kullanılmıştır. Bu devrelerde tünel kontrol merkezinde ki SCADA sistemi üzerinden takip edilebilmekte ve gerektiğinde müdahale

edilmektedir [68]. Şekil 3-29’da Bolu Dağı için kullanılan PLC devre sisteminin şeması verilmiştir.



Şekil 3-29: Bolu Dağı Yönetim Sistemi Mantıksal Kontrol (PLC) Devreleri Sistemi [68]

Değiştirilebilir trafik sinyalizasyon sistemleri, hız limit göstergeleri, yön okları, elektronik bilgilendirme panoları gibi trafik kontrol sistemleri, plaka okuma, acil haberleşme, buzlanma algılama ve önleme, sis uyarı, kapalı devre televizyon sistemi (cctv), yangın algılama, ihbar ve söndürme, havalandırma, enerji besleme, tünel radyo, kamu anons, otoyol aydınlatma gibi bulunduğu döneminin ileri teknolojilerinin bulunduğu sistemler ilk defa uygulanmıştır [62]. Şekil 3-30’da Bolu Dağı Tüneli için kurulan simülasyon ve izleme odası görülmektedir.



Şekil 3-30: Bolu Dağı Yönetim Sistemi Örnek Simülasyon ve İzleme Odası [62]

Ülkemizde yolcu ve sürücüleri bilgilendirmek amacıyla yapılan ilk mobil uygulama “İBB Cep Trafik” uygulamasıdır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSBAK tarafından günün her anında istenilen her yerden; trafik ve yol bilgilerine, yolcu ve sürücülerin kolay ulaşılabilmesi için

hayata geçirilmiştir [62]. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından kullanıma sunulan cep trafik uygulamasından erişilen veriler ve görüntüler Şekil 3-31’de ki gibidir.



Şekil 3-31: İBB Cep Trafik Mobil Uygulaması [69]

3.9.14 Ulusal Araç ve Plaka Tanıma Sistemi (PTS) ve İlk Akıllı Durak Uygulaması-(2009)

Trafik akışı esnasında araçların tiplerini, renklerini ve plaka bilgilerini gece-gündüz fark etmeksizin yüksek doğrulukla tespit eden bir sistemdir. Bu tespitler sayesinde sahte plaka, çalıntı araç ve çeşitli sebeplerden aranan araçları tespit etmektedir [62]. Mobil araçlara montajı yapılarak her yerde kullanımı kolay ve pratik olan PTS Şekil 3-32’de verilmiştir.



Şekil 3-32: Plaka Tanıma Sistemine Sahip Denetim Aracı [70]

Otobüslerin ne zaman geleceğini, durağa ne kadar mesafede olduğunu gösteren akıllı durak uygulaması ülkemizde 2009 yılında ilk kez Antalya’ da hizmete açılmıştır [62]. Şekil 3-

33'te Antalya ilinde kurulumu yapılan yenilenebilir güneş enerjisi ile çalışan akıllı durak örneği verilmiştir.



Şekil 3-33: Antalya’da Güneş Enerjisi ile Çalışan Klimalı Akıllı Durak [71]

30 adet durağa bilgi veren ekranlar yerleştirilmiştir. Bunun yanı sıra cep telefonlarından mesaj ve internet yoluyla da yolcuların akıllı durak hizmetine erişimi sağlanmıştır. Duraklarda; kent içi toplu taşıma kartı otomatik dolum noktaları da ilk kez Antalya’da yapılmıştır [72].

3.9.15 Otonom Araç Çalışmaları (2011)

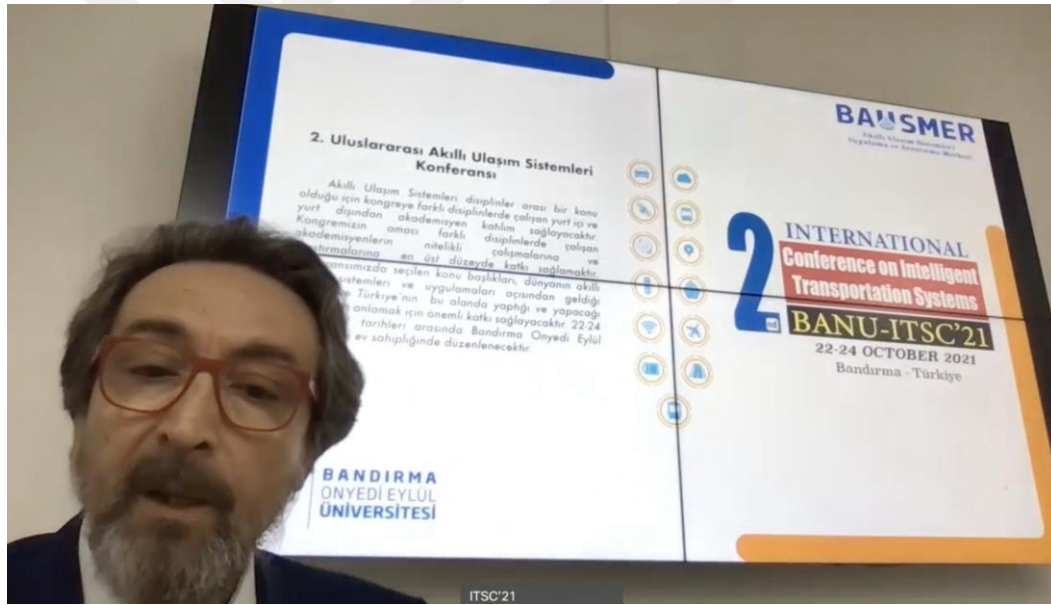
Okan Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi’nde Ulaştırma Teknolojileri ve Akıllı Otomotiv Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (UTAS)’nde “OKANOM” isimli otonom araç geliştirme projesidir. Aracın önünde bulunan “LIDAR” cihazı ile çalışma prensibine sahip bir araçtır. LIDAR cihazı trafikteki radar cihazı gibi çalışmaktadır. LIDAR cihazı lazer ışınları sayesinde önünde ki cisimleri ve engelleri tespit ederek aracın kendi kendini sürmesini sağlamaktadır. Araç 30 Haziran 2011’de basına tanıtılmıştır [73]. Otonom aracın resimleri Şekil 3-34’te verilmiştir.



Şekil 3-34: Okan Üniversitesi’ nin geliştirdiği Otonom Araç [73]

3.9.16 Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi Akıllı Ulaştırma Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (BAUSMER)'nin Açılması (2017)

Bandırma On Yedi Üniversitesi Yüksek Öğretim Kurumu tarafından Akıllı Ulaşım Sistemleri alanında ihtisas üniversitesi olarak görevlendirilmiştir. 22-24 Nisan 2021 tarihlerinde çevrimiçi “2. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı” üniversite tarafından gerçekleştirilmiştir. Konferansa Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneği (AUS Türkiye) üyeleri, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bürokratları, Yurt içi sektör temsilcileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi bürokratları ve çalışanları ile başta Bandırma olmak üzere Kuzey Marmara bölgesi belediye başkanlarının katılım sağladığı oturumlar ve sektörle ilgili sunumlar yapılmıştır [74]. Yapılan konferansa ait görsel Şekil 3-35’te görülmektedir.



Şekil 3-35: 2.Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı [74]

4. TÜRKİYE OTOYOLLARINDA AKILLI ULAŞIM SİSTEMİ UYGULAMALARI

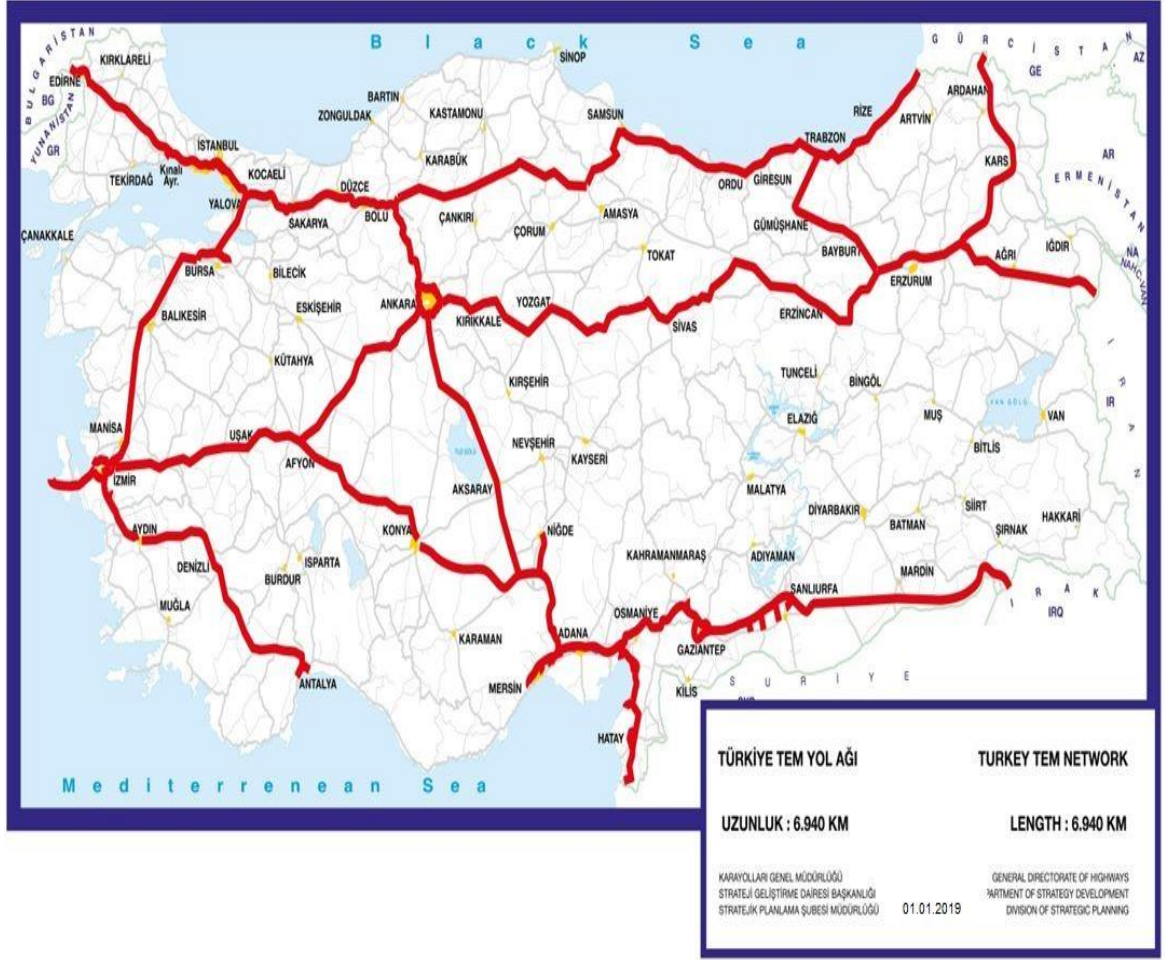
4.1 Ankara-Niğde Otoyolu

Ankara-Niğde Otoyolu 1977 yılında kurulan Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'na ait olan Trans Avrupa Kuzey Güney Otoyolu (TEM) Projesi'nin bir parçasıdır. TEM projesi, Avrupa Ulaştırma Projelerinin en eski ve en gelişmiş bölgesel altyapı projelerindendir. TEM projesine üye 15 ülke bulunmaktadır. Bu ülkeler; Avusturya, Bosna-Hersek, Bulgaristan, Çekya, Ermenistan, Gürcistan, Hırvatistan, İtalya, Litvanya, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Türkiye'dir. TEM Projesi batıda Avrupa Birliği yol ağına, doğuda ve güney-doğuda Kafkasya ve Batı Asya yol ağına direk bağlanmaktadır [75].

Ülkemizde yakın tarihte yapılan akıllı ulaşım sistemleri uygulamalarının kullanıldığı en donanımlı otoyol projesidir. Akıllı ulaşım sistemleri; alanında gelişen, değişen ve bulunduğumuz çağa ayak uyduran, ülkemize ait yerli teknoloji ve yerli üretim cihazlar kullanılarak modern bir teknoloji ile yapılmıştır [76].

4.1.1 Ankara-Niğde Otoyolu (ANO) Projesi Güzergah Koridoru

Ankara-Niğde Otoyolu projesinin güzergahı Ankara'dan başlayarak Gölbaşı, Bala, Şereflikoçhisar, Evren İlçeleri; Konya ili Kulu ilçesi; Kırşehir ili Merkez ilçesi; Aksaray ili Ortaköy, Sarıyahşi, Gülağaç, Ağaçören, Merkez ilçeleri; Nevşehir ili Acıgöl, Derinkuyu ilçeleri ve Niğde ili Merkez ilçesine ulaşımı sağlamaktadır. Yolun yapılması ile TEM otoyolunun en önemli eksik kesimi tamamlanmıştır [77]. TEM otoyolunun ülkemiz için planlanan kesiminin tamamı Şekil4-1'de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4-1: Trans-Avrupa Kuzey-Güney Otoyolu (TEM) Projesi Türkiye Haritası [75]

Yol güzergahını daha çok ağır vasıtalar kullandığından yolun açılması ile trafikte güvenliğin sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca Şekil 4-2’de güzergah haritasında da görüldüğü gibi turizm kenti Tuzgölü, Nevşehir Derinkuyu, Göreme, Kapadokya gibi yerlere ulaşımı sağladığından turizmin ve ticaretin gelişmesine de katkı sağlanması amaçlanmaktadır [78].

Yapılan bu yeni otoyol sayesinde ülkemizin kuzeyinden-güneyine ulaşımın kolaylaşması amaçlanmaktadır. Projenin özellikleri ve kazandıracığı faydaların bazıları Şekil 4-2’de ki resimde kısaca verilmiştir.

Ankara-Niğde Otoyolu



Edirne'den Şanlıurfa'ya
kesintisiz ulaşım
sağlanacak



Ankara'nın Gölbaşı ilçesinden
başlıyor, **Niğde'nin Gölçük**
Köprülü Kavşağı'nda
tamamlanarak mevcut
otoyola bağlanıyor

TOPLAM UZUNLUĞU
330 KİLOMETRE

275 KM'Sİ **55 KM'Sİ**
otoyol bağlantı yolu

✓ Ankara-Acıkuşu Kavşağı
(105 km otoyol + 14 km
bağlantı yolu) arasındaki
1. kesim ile

✓ Alayhan-Gölcük kavşakları
(57 km otoyol + 2 km
bağlantı yolu) arasındaki 3.
kesimin açılışı yapılacak

✓ Kalan son
kesimi de 29 Ekim'de
hizmete açılacak



Ankara-Niğde arası 4 saat 14
dakikadan 2 saat 22 dakikaya
inecek



Otoyol sayesinde 36 milyon
220 bin kişi/saatlik zaman
tasarrufu sağlanacak



Yıllık 127 milyon 551 bin litre
yakıt tasarrufu elde edilecek



Sağladığı yakıt ve zaman
tasarrufu sayesinde, ülke
ekonomisine yıllık 1,6 milyar lira
katkı sunacak



Karbon salınımı yıllık 318
milyon 240 bin kilogram
azalacak



Türkiye'nin en akıllı yolu



Akıllı ulaşım sistemi yerli ve
milli olarak tasarlandı

Bünyesinde

• 3 bin 566 metre
uzunluğunda
5 viyadük

• 2 bin 368 metre
uzunluğunda
49 köprü

• 4 bin 506 metrelik
75 üst geçit

• **669 menfez**

• **19 köprülü kavşak**

• **14 ücret toplama**
sistemi
bulunuyor

Şekil 4-2: Ankara-Niğde Otoyolu Tanıtım Broşürü [77]

4.1.2 Ankara-Niğde Otoyolu (ANO)'nun Ön Araştırma Aşaması

Yol yapım işlerinde gerekli olan çevresel, sosyal, işgücü, kültürel, arazi edinimi ve ulaşım yönetimi gibi uyulması gereken tüm mevzuatlar bu proje içinde uygulanmıştır. Ayrıca Ankara-Niğde Otoyolu projesi için uluslararası standartlarda yer alan ;

- Resmi Olarak Desteklenen İhracat Kredileri ve Çevre ve Sosyal Ortama Saygı Konusunda Ortak Yaklaşımlara dair Konsey Önerileri (OECD Ortak Yaklaşımları) (2016),
- Ekvator Prensipleri III (2013),
- IFC Performans Standartları ve Çevresel Sağlık ve Güvenlik Kılavuzları (2012),
- IFC Genel Çevre, Sağlık ve Güvenlik (ÇSG) Kılavuzları (2007) ve ilgili sektör kılavuzları,
- Türkiye'nin taraf olduğu Uluslararası Sözleşmeler ve Protokoller
- Proje Şirketinin çevresel ve sosyal politikaları, kılavuzları ve standartlarına göre de kabul gören çalışmalar yapılmıştır [79].

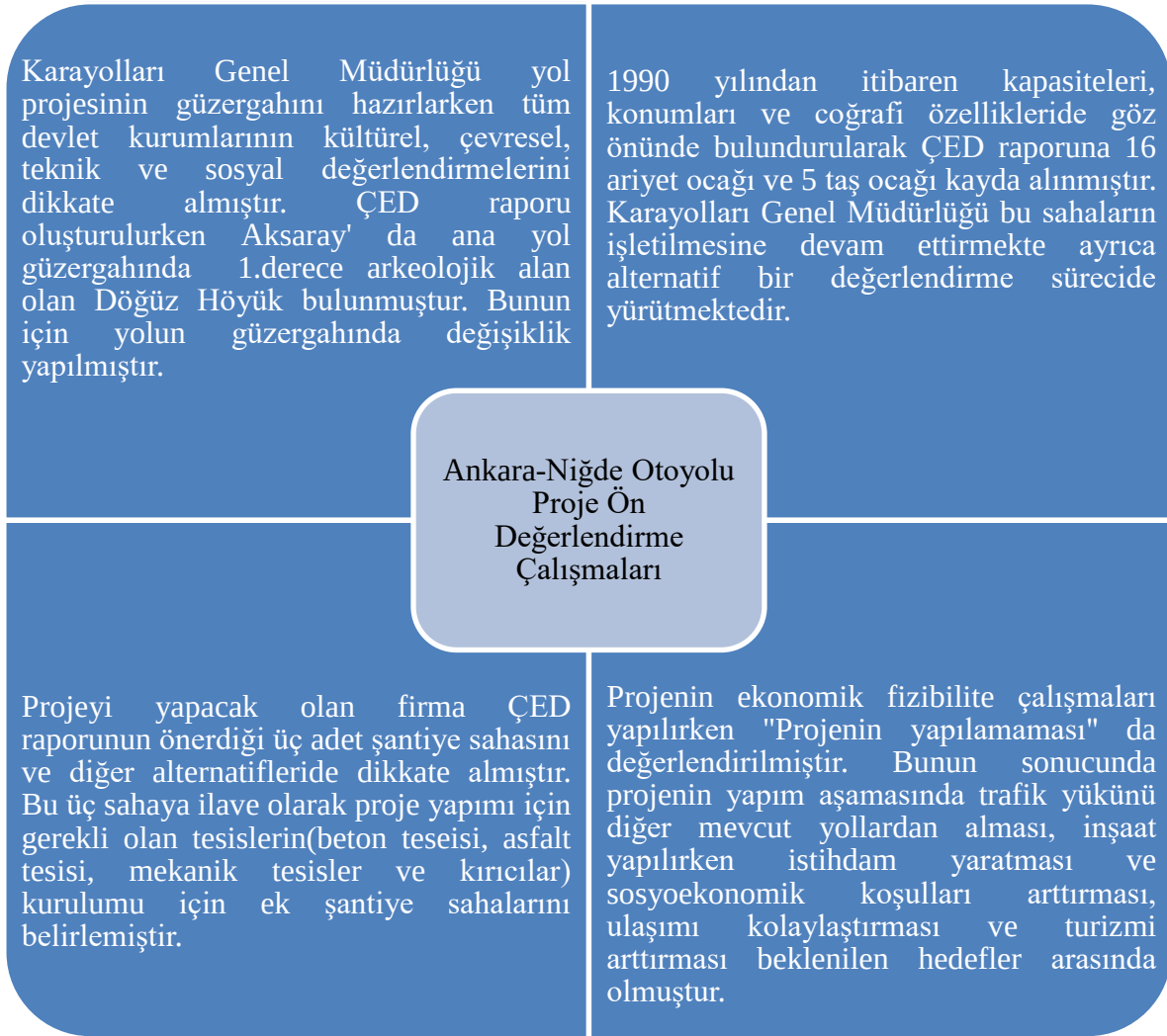
Müşavirlik firması tarafından 2016 yılında yol güzergahı, taş ocakları ve ariyet ocaklarını da içeren “Çevresel Etki Değerlendirilmesi (ÇED)” raporu hazırlanmıştır. Hazırlanan rapor Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından “ÇED Olumlu Kararı” ile sonuçlandırılmıştır [79].

Mühendislik firması tarafından ise Çevresel Sosyal Etki Değerlendirilmesi (ÇSED) çalışmaları yapılmıştır. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yönetmeliği esaslarına ek olarak çevresel ve sosyal araştırmaları çalışmalarına dahil etmişlerdir. ÇSED raporu ile projenin uygulanması sırasında çevrenin ve toplumun zararlarını en aza indirip, faydalanma oranını ise daha fazla arttırmak amaçlanmıştır. Bu süreçte;

- Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirme (ÇSED) Raporu
- Teknik Olmayan Özet (TOÖ)
- Paydaş Katılım Planı (PKP)
- Çevresel ve Sosyal Yönetim ve İzleme Çerçeve Planı (ÇSYİÇP)
- Çevresel ve Sosyal Eylem Planı (ÇSEP),
- Geçim Kaynaklarının Yeniden Yapılandırılması Planı (GKYYP) Çerçevesi
- Yeniden Yerleşim Eylem Planı (YYEP) Çerçevesi evrakları yine aynı mühendislik firması tarafından hazırlanmıştır. [79]

Proje öncesinde çeşitli ön araştırma çalışmaları yapılmıştır. Proje aşamasında yapılan ön araştırma ve değerlendirme çalışmalarına Şekil 4-3'te yer verilmiştir. Tabloyu incelediğimizde

projenin hayata geçirilmeden önceki çalışmalarını, karşılaşılan problemleri ve yapılan çözümlerini görmekteyiz.



Şekil 4-3: Ankara-Niğde Otoyolu Proje Öncesi Çalışmaları [79]

Projeye başlanmadan önce Karayolları Genel Müdürlüğü ve Proje Şirketi tarafından proje takvimine ve gerekli yapım mevzuatlarına göre alınan izinler ise Şekil 4-4'te verilmiştir.

İnşaat İzinleri



- Tarım arazilerinin kullanılması izni
- Mera alanlarının kullanılması izni
- Devletin sahibi olduğu araziler için resmi idarelerle arazi kullanım anlaşmaları
- Yollar, demiryolları, su kütleleri, kanallar, elektrik hatları, boru geçişleri vb. geçişler için izin ve onayların alınması
- Askeri yetkililerden izin alınması
- Şantiye alanları için işyeri bildirimi
- Yakıt sahası izni
- Taş ve ariyet ocakları için üretim izni
- Patlatma izni
- Atık yönetim planları
- Gerekli yerlerde ariyet ocakları ve atıksu tesislerinin işletilmesi izni

İşletme İzinleri



- Servis alanlarında atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi için çevre izni
- Bağlantı kalite kontrol sertifikası ve atıksu kanalı bağlantı izni

Şekil 4-4: Yapım İşlerine Başlamadan Önce Alınan İzinler [79]

4.1.3 Ankara-Niğde Otoyolu Projesi' nin Bileşenleri

Ankara-Niğde Otoyolu 277.00 km ana hat olmak üzere, bağlantı yolları dahil toplam 332.00 kilometreden oluşmaktadır. Ana yolun Ankara ilimizden başlayan ilk 30 kilometresi 4x2 şerit, geriye kalan kısmı ise 3x2 şerit olacak şekilde projelendirilmiştir. Anayol Ankara-Acıkuyu Kavşağı, Alayhan Kavşağı-Gölcük Kavşağı, Acıkuyu Kavşağı-Alayhan Kavşağı olmak üzere üç kesimden oluşmaktadır [78]. Projenin araştırma şirketi tarafından hazırlanan proje tanıtım içeriği de Şekil 4-5'te verilmiştir.



Şekil 4-5: Ankara Niğde Otoyolu Proje İçeriği [79]

Projenin geri kalan yapısal parçaları ise; 5 adet viyadük 3567 metre, 34 adet kavşak köprüsü, 15 adet anayol köprüsü, 73 adet üst geçit köprüsü, 109 adet alt geçit, 681 adet kutu menfez, 15 adet kavşak, 15 adet ücret toplama tesisi, 1 adet ana kontrol merkezi, 2 adet bakım işletme merkezi, 20 adet otoyol hizmet tesisinden oluşmaktadır [80].

4.1.4 Ankara-Niğde Otoyolu Yapımı ve İşletilmesi İhalesi

Ankara-Niğde Otoyolu Projesi İhalesi “Yap-İşlet-Devret (YİD)” modeliyle kapalı teklif alma usulü yapılmıştır [81]. Yap-İşlet Devret modeli en basit anlamıyla bir yatırımın kamunun isteklerinde ve denetiminde özel sektöre yaptırılıp belirli bir süre işletme hakkının verilerek borcunun ödenmesi ve kamuya devredilmesidir [82].

Yap-İşlet-Devret modelinin tarihteki ilk örnekleri İngiltere tarafından su dağıtım şebekelerinin özel sektör şirketlerine yaptırılmasıdır. Dünyada yapılan en bilindik bir diğer örnek ise Süveyş Kanalı'nın; Avusturya, Fransa ve İngiltere'nin kurmuş olduğu ortak kuruluşa yaptırılmasıdır. Ülkemizde ki ilk örnekleri ise 19. ve 20. yüzyılda Osmanlı Devleti'nde görülmektedir. 1870'lerde Karaköy-Pera arasına Fransız bir yatırımcıya tünel yaptırılmış ve işletmesi 42 yıllığına verilmiştir [82].

İhaleye; 10 firma 5 ortak girişim olarak teklif vermişlerdir [83]. İhalenin sonucunu ise dönemin Ulaştırma ve Altyapı Bakanı 14 Nisanda Kars Valiliğinde düzenlediği basın toplantısında açıklamıştır. Bakan yüklenici ortak girişim grubunun “3 yıl yapım süresi dahil olmak üzere 11 yıl, 10 ay, 17 gün ve bedeli 4 milyar 31 milyon Türk Lirası teklif ile en kısa sürenin verdiğini” söylemiştir [84].

Ankara-Niğde Otoyolu Yap-İşlet-Devret işine ait resmi sözleşme ise; Karayolları Genel Müdürlüğü ve ihaleyi kazanan yüklenici inşaat firması arasında 18.08.2017 tarihinde imzalanmıştır [85].

4.1.5 Ankara-Niğde Otoyolu; Akıllı Ulaşım Uygulamaları

Ankara-Niğde Otoyolu'nun fiber iletişim ağı, ücret toplama sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri, yerli yapay zeka ve makine öğrenimi ile çalışan olay algılama sistemi ve fiber optik merkezi sinir sistemini sürecin altyapısından bitim aşamasına kadar; akıllı ulaşım sistemleri sektöründe deneyimli bir firma tarafından yapılmıştır [86].

Otoyol boyunca haberleşmeyi sağlayan akıllı ulaşım sistemleri uygulamalarının altyapısını ve kurgusunu yapan bir diğer kuruluş ise teknoloji sektörün yetkin bir firmasıdır [87].

4.1.5.1 Fiber Optik İletişim Ağı

Fiber optik iletişim ağlarını; ışığı yayan ve içlerinde ince cam teller olan fiber optik kablolar oluşturur. Fiber optik iletişimin diğer bir adı da “ışıklı”dır. Bilgiler ışık sinyalleri sayesinde bir yerden başka bir yere iletilir. 1970 yılında telekomünikasyon sektöründe kullanılmış ve bilgi çağına gelişiminde önemli rol oynamıştır [88]. Fiber optik ağların en avantajlı yönü ise uzun mesafeler arasında bilgilerin hızlı iletilmesidir [89].

Akıllı Ulaşım Sistemleri uygulamalarının sahada temelini oluşturan; kamera, ölçüm ve yol sensörleri, değişken mesaj işaretleri, sinyalizasyon gibi uygulamaların birbirleri ile haberleşmesini ve çalışmasını sağlamak için karayolu alt yapısına fiber optik kablolar yerleştirilerek fiber optik iletişim ağları oluşturulur [90].

6-8 Ekim 2021 tarihlerinde yapılan 12.Ulaştırma ve Haberleşme Şurası' nda konuşan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Başkanı fiber optik altyapı uzunluğunun 2013 yılı 11. Ulaştırma ve Haberleşme Şurasında ki verilere göre 227 bin kilometre iken, 2021 yılının ilk yarısında 445 bin kilometreye ulaştığını söylemiştir [91].

Ankara-Niğde Otoyolu boyunca 3 omurga halinde 1300 kilometre uzunluğunda iletişimi sağlayan “Fiber Optik İletişim Ağı” altyapısı ve 45 adet Fiber/RL/4G yedek devre yapılmıştır [76].

4.1.5.2 Olay Algılama Sistemleri

Kaza istatistiklerine bakıldığında en yoğun olan kara yollarında oluşacak istenmeyen olaylar kaza olasılığını daha da arttırmaktadır. Kazaların önüne geçilebilmesi adına oluşan olaylara zamanında müdahale etmek oldukça önemlidir. Tünel, otoyol ve köprülerde kaçış yolları sınırlı olduğundan oluşabilecek en ufak kaza, araç arızası vb. gibi durumlar trafikte sıkışıklığa ve daha büyük kazalara neden olabilir.

Olay algılama sistemleri 7 gün 24 saat yolu izleyen kameralardan anlık olarak alınan canlı trafik akışının gerçek zamanlı olarak işlenmesi, oluşan ya da oluşabilecek trafik problemlerinin hızlıca tespit edilmesini sağlar [92]. Şekil 4-6'da otoyolda kullanılan olay algılama sistemine ait ekran görüntüsü verilmiştir.

Olay analizlerinin başlıca faydaları:

1. Duran, ters yönde hareket eden, aşırı hızlı ya da aşırı yavaş seyreden, şerit ihlali yapan araçları tespit etme,
2. Trafikteki araçların sayısını, sınıflarını, yoğunluklarını ve seyahat sürelerini belirleme,
3. Akıllı ulaşım sistemlerinde oluşabilecek sabotajların, kamera ve haberleşme arızalarının tespit edilmesidir [92].



Şekil 4-6: Ankara-Niğde Otoyolu Olay Algılama Sistemi [93]

Ankara-Niğde Otoyolu olay algılama sistemi yapay zeka tabanlı derin öğrenme mekanizması sayesinde kendi kendini eğitebilmektedir. Olay algılama sistemi, yol boyunca yerleştirilen 210 adet olay algılamalı hareketli kameraların görüş alanlarını sürekli tarayarak sisteme önceden tanımlanmış olayların dışında bir olay algılandığında merkeze uyarı vermektedir. Derin öğrenme mekanizması sayesinde de farklı gelişen olayları kendiliğinden sisteme kaydetmektedir. İlk uygulama örneği Ankara-Niğde Otoyolu'nda yapılmıştır [93].

Ankara Niğde Otoyolu olay algılama sistemleri sayesinde oluşan olumsuzluklar kısa sürede öğrenilmekte, trafik polisleri, jandarma, 112 Acil ve itfaiye gibi ilgili birimlere haber verilmektedir [94].



Şekil 4-7: Ankara-Niğde Olay Algılama Sisteminin Merkezden İzlenmesi [93]

Şekil 4-7'de ki resimde olay algılama sistemi ile otoyolun anlık olarak izlendiği sırada, sistemde önceden “Duran Araç” olarak tanımlanmış olayın otoyolda meydana geldiğini görmekteyiz. Şekil 4-8’de ise olay algılama sisteminin çalışmasını sağlayan verilerin elde edilmesinde kullanılan sabit ve hareketli akıllı ulaşım sistemi kameraları verilmiştir.



Şekil 4-8: Otoyol Boyunca Kullanılan Sabit ve Hareketli Olay Algılama Kamerası (210 Adet) [76]

Sistemin çalışmasına başka bir örnek ise hemen yolun açıldığı günün ertesi günü yaşanmıştır. Ankara Gişeler Çevreyolu istikameti 13. kilometrede sağ şeritte olay algılama sisteminde duran bir araç tespit edilmiştir. Trafik kontrol elemanlarını uyaran sistem sayesinde 8 dakika gibi sürede otoyol devriye ekibi aracın yanına ulaşmıştır. Araç sahibi aracının lastiğinin patladığını, sürücünün ise panikleyerek kimseyi arayamadığını ve daha tamir malzemelerini bile bulamadan ekibin geldiğini söylemiştir [95]. Böylelikle olay algılama sisteminin verimli olarak çalıştığı ve sağladığı faydalar ortaya çıkmıştır.

4.1.5.3 Elektronik Ücret Toplama Sistemi

İlk zamanlarda ücretli geçişin bulunduğu tüm yollarda trafik sıkışıklığının büyük bir kısmını ücret toplama noktalarında oluşan araç bekleme süreleri oluşturmuştur. Bekleyen araçlar trafik yoğunluğunun yanı sıra yakıttan ve işletme yoğunluğundan da kayıplara sebep olmuştur. Bu problemlerin çözümü için elektronik ücret toplama sistemleri gelişen teknoloji ile beraber yıllar içinde gelişmiştir [96].

Otoyol kullanıcılarının gişelerde hızlarını azaltarak tamamen durmadan yol ücretini ödemesini sağlayan sistemdir. Ödemeler nakit ya da araca tanımlı kartlar yardımıyla otomatik yapıldığından trafik akışı neredeyse hiç etkilenmez. Her boyutta araç ve otoyol, köprü, tünel gibi her yapıya kurulumu yapılabilir. Zaman, yolda kullanılan mesafe ve farklı araç sınıfları için ücretlendirme akıllı ulaşım sistemi yazılımları tarafından otomatik olarak yapılır. Bunun yanı sıra ücret toplama sistemlerinin zaman tasarrufu, yakıt tasarrufu, emisyon kontrolü, ödeme esnekliği, artan kapasite, tıkanıklığın azaltılması, kaza azaltma ve gelişmiş veri toplama gibi faydaları vardır [97]. Elektronik ücret toplama istasyonlarından bir tanesine ait görsel Şekil 4-9'da ki gibidir.



Şekil 4-9: Ankara-Niğde Otoyolu Ücret Ödeme Gişeleri [98]

Ankara-Niğde Otoyolu proje güzergahında 14 adet ücret toplama istasyonu, 57 adet ücret ödeme giriş gişesi, 62 adet ücret ödeme çıkış gişesi ve 1 adet Karayolları Genel Müdürlüğü serbest geçiş gişesi bulunmaktadır. Bu istasyonların çalışması için ise yol altyapısına 490 adet ücret toplama sistemi kamerası kurulumu yapılmıştır [76]. Şekil 4-10'da ücret ödeme için kullanılan gişe alanı gösterilmiştir.



Şekil 4-10: Ankara-Niğde Otoyolu Gişe Alanı [99]

4.1.5.4 Video Wall İzleme Ekranı (İzleme Merkezi)

Görüntü kalitesi ve çözünürlüğü yüksek ekranların, yan yana veya üst üste dizilerek olayların anlık olarak izlenmesini sağlayan sistemlerdir. Otoyolların dışında alışveriş merkezleri, stadyumlar, havaalanları ve kontrol odaları gibi yerlerde kullanılırlar [100]. Şekil 4-11 ve Şekil

4-12’de Ankara-Niğde Otoyolu’ na ait hareketliliğin izlendiği Video Wall görüntü izleme ekranları verilmiştir.



Şekil 4-11: Ankara-Niğde Otoyolu Video Wall Ekranı [94]

Ankara-Niğde otoyolunda 21 adet Video Wall izleme ekranı yapılmıştır. Video Wall izleme ekranları için proje kapsamında 980 adet bina ve çevre kamerası montajı yapılmıştır [76]. VideoWall izleme ekranları sayesinde yol kontrol merkezi tarafından 24 saat izlenmekte, olumsuz olay meydana geldiğinde trafik devriye ekipleri tarafından müdahale edilmektedir [94].



Şekil 4-12: Ankara-Niğde Otoyolu Video Wall Ekranı [101]

4.1.5.5 Değişken Mesaj İşareti

Sürücülere yol bilgileri, trafik yoğunluğu ve meteorolojik uyarıların LED ekranlara yansıtılarak bilgi verilmesini sağlayan sistemlerin tümüdür. Trafik kontrol merkezinden yönetildiği için anlık olarak müdahale edilebilmektedir. Tünel, köprü ve otoyol gibi yapılar için

istenilen projelere ve dış iklim şartlarına göre tasarımı yapılmaktadır. Ayrıca şehir içlerinde ve ücret toplama gişelerinde de yaygın örnekleri vardır [93]. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından sürücülerin hız kurallarına uyması için yapılan değişken mesaj işareti tabelası örneği Şekil 4-13'te verilmiştir.



Şekil 4-13: Karayolları Genel Müdürlüğü 14.Bölge Değişken Mesaj İşareti [102]

Ankara Niğde Otoyolu'nda 65 adet değişken mesaj işareti imalatı yapılarak sürücülere her an bilgi verilmektedir [76]. Ayrıca Değişken mesajlı radar sistemleri sayesinde sürücülerin hız kurallarına uyup uymadığı tespit edilir. Sürücülere, yaptıkları hız değişken mesaj işareti ekranlarında gösterilir [103].

4.1.5.6 Değişken Trafik İşareti

Değişken trafik işaretleri yolun dinamik trafik bilgisini, hız limitlerini ve trafiğe açık ya da kapalı olan yol şeritleri bilgilerinin sürücülere aktarılmasını sağlar. İstenilen her türlü boyutta yapılabilir olduğundan her yere montajı kolayca yapılabilmektedir. Ayrıca LED ekranlar için istenilen renkte yapıldığından sürücü görüşleri oldukça fazladır [104]. Ankara-Niğde Otoyolu'nda sürücülere uyulması gereken hız ve trafiğe açık-kapalı şerit bilgisinin verildiği değişken trafik işareti panosu örneği Şekil 4-14'te gösterilmiştir.



Şekil 4-14: Değişken Trafik İşareti ve Değişken Mesaj İşareti [76]

Ankara Niğde Otoyolu' nda 63 adet değişken mesaj işareti imalatı yapılarak sürücülere her an bilgi verilmektedir. Trafik kurallarına uymaları ile ilgili mesajlar verilmektedir [76].

4.1.5.7 Trafik ve İklim Ölçüm Sistemleri

Trafik ve iklim ölçüm sistemleri yol ağı üzerindeki mevcut hava durumunu sürücülerle paylaşmak ya da hava olaylarını ölçmek için kullanılır. Yolda oluşacak olan hava durumu olayları önceden bilinerek, gerekli tedbirlerin alınmasını sağlar. Yol meteoroloji sistemini oluşturan sensörler sayesinde termal haritalar ve veri istatistikleri çıkarılarak sürücülere karar destek çözüm bilgileri verilir [105].

Çoğu ülkelerde kışın meydana gelen trafik kazalarında diğer hava şartlarından oluşan felaketlere göre daha fazla can kaybı olmaktadır. Trafik ölçüm istasyonları sayesinde sürücü ve yolun sorumluluğunun ait olduğu kurum ya da kuruluşlara bilgi verilerek önceden tedbir almaları sağlanır [96].

Ankara-Niğde Otoyolu' nda hava sıcaklığı, bağıl nem, hava basıncı, yağış tipi, yağış yoğunluğu ve miktarı, rüzgâr yönü ve hızı, görüş mesafesi, kar tabakası kalınlığı gibi yol durum bilgisinin takip edildiği 9 adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Meteoroloji istasyonuna gelen veriler ana kontrol merkezinde analiz edilerek yine yol ağında bulunan 372 adet sis uyarı flaşörleri sayesinde sürücülerin ve araçların yol güvenlikleri artırılmaktadır [76]. İklim ölçüm sistemlerinin veri elde etmesini sağlamak için montajı yapılan sensör Şekil 4-15'te gösterilmiştir.



Şekil 4-15: Hava Durumu Algılayıcı Sensör [76]

Yol boyunca oluşan trafiğin durumunu ve yoğunluğunu, yolda bulunan mevcut araçların sınıflandırılmasını sağlayan, Şekil 4-16’da resmi verilen 38 adet trafik ölçüm sensörü yerleştirilmiştir [76].



Şekil 4-16: Trafik Ölçüm Sensörü [76]

4.1.5.8 SCADA İzleme Noktası

SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition kelimelerinin baş harfleri ile oluşturulmuştur. Türkçe’ye ise “Merkezi Denetleme, Kontrol ve Veri Toplama” olarak çevrilmiştir. SCADA sistemleri geniş alanlardan oluşan ve kontrol merkezleri bulunan yol, tünel, köprü gibi yol ağlarında, enerji üretim tesislerinde, su toplama-arıtma-dağıtım tesisleri gibi endüstriyel tesis yapılarında işletme kolaylığı sağlamaktadır. Anlık görüntünün bilgisayar, cep telefonu, tablet gibi internet erişimi olan cihazlardan izlenerek olaylara müdahale imkanı

sunmaktadır. Şekil 4-17’de verilen otoyola ait SCADA sistemi sayesinde aktif izleme, anında bilgi alma, kriz anında alarm verme, analiz yapma ve rapor verme, geçmişe dönük kayıtların izlenmesi gibi işlemler basitçe yapılmaktadır [106].

Ankara Niğde Otoyolu 70 adet SCADA izleme noktası, 262 adet saha yönetim ünitesi ile 7 gün 24 saat kontrol edilmekte, olay anlarında yol trafik ekipleri tarafından müdahale edilebilmektedir [78].



Şekil 4-17: Ankara Niğde Otoyolu SCADA İzleme Merkezi [76]

4.1.5.9 AUS Merkezleri

Otoyola ait Şekil 4-18’ de verilen kontrol merkezi yerleşkesi Ankara ilinin Gölbaşı ilçesinde bulunmaktadır. Ana Kontrol Merkezinde 15 kişilik bir ekip sürekli olarak yolu izlemektedir. Yolda akıllı ulaşım sistemleri sayesinde öğrenilen olaylara trafik ekipleri ya da bakım ekipleri yönlendirilerek en kısa sürede müdahale edilmektedir [101]. Yol ekipleri ile kesintisiz iletişim ve haberleşmenin sağlanmasında akıllı ulaşım sistemleri dahilinde kurulumu yapılan 14 adet telsiz röle istasyonu kullanılmaktadır [76].



Şekil 4-18: Ana Kontrol Merkezi Yerleşkesi [107]

Ana kontrol merkezinde “AUS Merkezi Yönetim Yazılımı” ile akıllı ulaşım sistemlerinin çalışma bütünlüğü sağlanmaktadır. Yol ağı boyunca kullanılan Akıllı ulaşım sistemlerinden(kamera, VMS-VTS, radar, meteoroloji ve trafik sensörler vb.) kontrol merkezine gelen bilgiler merkezde değerlendirilerek trafik bilgisi olarak kullanılmaktadır. Elde edilen verileri yapay öğrenme, derin öğrenme, yapay zeka ve algoritmalar yardımıyla analiz edilerek yapılması gereken müdahale ya da uyarılar oluşturulur [108]. Ana kontrol merkezinde yapılan otoyol izleme örneği Şekil 4-19’da ki gibidir.



Şekil 4-19: Ankara-Niğde Otoyolu Ana Kontrol Merkezi [109]

Otoyol hattında 1 adet Felaket Kontrol Merkezi bulunmaktadır [76]. Ana kontrol merkezinde istenmeyen bir durum oluştuğunda ve çalışmasında problem yaşandığında, Felaket

Kontrol Merkezi 15 Dakika gibi bir sürede devreye girerek sistemlerin çalışmasını sağlamaktadır [110].

Kontrol merkezinde bulunan ve Şekil 4-20’de gösterilen; 2 adet Veri Merkezi kontrol edilen bilgi ağını yöneten cihazları ve bilgileri depolayan sunucuları içermektedir [110].



Şekil 4-20: Otoyol Veri Merkezi [76]

Otoyol hattında bunlara ek olarak 1 adet Trafik Kontrol Merkezi, 4 adet Birim Kontrol Merkezi, 2 adet Otoyol Acil Çağrı Merkezi, 48 adet Elektronik Sistem Merkezi, 40 adet Otoyol Trafo Merkezi, 5 adet Bakım İşletme Merkezi ve yolcuların dinlenmesi için 20 adet Otoyol Hizmet Tesisi yapılmıştır [76].

4.2 Kuzey Marmara Otoyolu

Kuzey Marmara Otoyolu; sanayi sektörümüzün en gelişmiş olduğu Marmara Bölgesi’nde ulaşımı rahatlatması amaçlanan, Asya ve Avrupa kıtalarını birleştiren otoyol projesidir [111]. Karayolu ulaşımının büyük ölçüde sağlandığı E-5 ve TEM otoyolunda ki trafik yoğunluğunu azaltmak, daha hızlı ve daha akıcı bir trafik elde edebilmek gayesiyle yapılmıştır [112].

4.2.1 Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Güzergah Koridoru

Yol güzergahı Şekil 4-21’de de görüldüğü üzere İstanbul’ un Kınalı ilçesinden başlayıp Sakarya’ nın Akyazı ilçesinde bitmektedir. Kuzey Marmara Otoyolu; Gebze İzmir Otoyolu ile

birleşerek Marmara bölgesinin, Ege ve İç Anadolu bölgelerine ulaşımını kolaylaştırmaktadır [111].



Şekil 4-21: Kuzey Marmara Otoyolu Güzergah Haritası [113]

Otoyolun yapılış amaçlarından belki de en önemlisi İstanbul ilimizin trafik yoğunluğunun azda olsa rahatlatılmasıdır. Bunun yanı sıra otoyolun kazandırmış olduğu faydalar aşağıda Şekil 4-22'de verilmiştir.



Şekil 4-22: Otoyolun Sağladığı Faydalar [114]

Otoyolun Çatalca kısmında bulunan 4 şeritli tüneller (T1-T2) 3,75 metre genişlik, 16,00 metre platform genişliği ve 5,00 metre gabari yüksekliği ile en geniş tünel olma özelliğine sahiptir [115]. Tünellerin yapım aşamasında ki bir resim Şekil 4-23'te verilmiştir.



Şekil 4-23: Çatalca T1 ve T2 Tünelleri Yapım Çalışması [116]

4.2.2 Kuzey Marmara Otoyolu (KMO)'nun Ön Araştırma Aşaması

Yolun yapım aşamasında ve kullanıma alınması sonrasında sosyal ve çevresel etkileri araştırarak; olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ya da hiç yaşanmaması için özel bir şirket tarafından araştırma ve sonrasında raporlama yapılmıştır. Bu çalışma sonucu “Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi (ÇSED)” raporu hazırlanırken; genel olarak UFK Kılavuzları, Türk Çevre Kanunu ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Kılavuzlarına (Çevre Yönetimi ve Değerlendirmesi Enstitüsü (EIMA), 2004) dayandırılmıştır [79] [117].

Rapor hazırlanırken ekoloji ve biyoçeşitlilik, arazi kullanımı, hava kalitesi, trafik gürültüsü ve titreşim, su kalitesi, jeoloji ve toprak yapısı, atık yönetimi, görsel etkiler, sosyo ekonomik yapı ve arkeoloji başlıkları altında detaylı çalışmalar yapılmıştır. Raporun olumlu ve olumsuz sonuçları ise aşağıda Tablo 4-1’de verilmiştir.

Tablo 4- 1: Proje Yapımında Oluşabilecek Ön Araştırma Raporu Sonuçları [117]

Olumlu Yönleri	Olumsuz Yönleri
Yeni ormanların yaratılması, mevcut ormanlarda ise ekolojinin canlanarak yeni yaşam alanlarının oluşmasını sağlamak.	Korunan alanlarda ekoloji ve biyolojik çeşitlilik, ağaç kaybı ve canlı yaşam alanları arasında kopuklukların meydana gelmesi
Yapılan köprü tasarımı ile duygulu ve kaliteli görsel elde etmek.	Arazilerin kullanımı konusunda değişikliklerin yaşanmasına bağlı olarak kontrolsüz iç göçlerin yaşanması.
Proje çalışmaları ile beraber İstanbul’ un kuzey bölgelerinde yapılacak altyapı işleri	Yol güzergahında kurulacak olan yol işletme noktalarında gürültü etkilerinin yaşanması ve

dahilinde istihdamın, ekonomik etkinliklerin ve ulusal bağlantıların artması	bazı noktalarda görüntü bozukluklarının görülmesi.
	Yapım çalışmaları sırasında mevcutta var ise arkeolojik eser ya da yapıların zarar görme ihtimali.

4.2.3 Kuzey Marmara Otoyolu Projesi'nin Bileşenleri

Kuzey Marmara Otoyolu projesi bağlantı yolları dahil 400.00 kilometrelik yol ağı, 30 adet viyadük, küçük-büyük 153 adet köprü, 73 adet üst geçit, 8 adet tünel, 96 adet alt geçit ve 599 adet menfezden oluşmaktadır [111]. Projenin diğer bir kısmı da Yavuz Sultan Selim Köprüsü' dür. Köprü 322 metre yüksekliğindeki kuleleri, 59 metre platform genişliği, 1408 metre uzunluğu ve üzerinde ki raylı sistemleri ile dünyanın sayılı köprüleri arasına girmiştir. Sahip olduğu bu özellikleri ile “İlklerin köprüsü” olarak adlandırılan köprü Şekil 4-24'te gösterilmiştir [118].



Şekil 4-24: İlklerin Köprüsü Yavuz Sultan Selim Köprüsü [119]

Kuzey Marmara Otoyolu'nun Uskumruköy kısmında ekolojik köprü yapılmıştır. Şekil 4-25' te sunulan görselde olduğu gibi ekolojik köprü ile yaban hayvanlarının otoyoldan zarar görmemesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu köprü ülkemizde yapılan ilk ekolojik köprüdür [120].



Şekil 4-25: Uskumruköy Ekolojik Köprüsü [121]

Projenin özellikleri, yapılan imalatlar, kullanılan malzeme ve faydaları Şekil 4-26’da kısaca özetlenerek, gösterilmiştir.



Şekil 4-26: Kuzey Marmara Otoyolu Proje Tanıtımı ve Yapılan İmalatlar [122]

Şekil 4-26'da da görüldüğü gibi otoyol ile İstanbul-Ankara arasında ki illerde (Bursa-Eskişehir-İzmir-Kocaeli) ulaşım kolaylaşmıştır. Bu sayede ülkemizin önde gelen sanayi şehirleri arasında ulaşım kalitesi arttırılmıştır. Ayrıca dünyanın en büyük havaalanları arasında yer alan İstanbul Havaalanına da ulaşım sağlanmaktadır.

Proje yapım işlerinde 12,4 milyon ton asfalt, 18,8 ton soğuk karışım ve 11,5 milyon metreküp beton kullanılmıştır. Aynı zamanda proje ile beraber 17 bin kişiye istihdam edilerek ülke ekonomisine fayda sağlamıştır.

4.2.4 Kuzey Marmara Otoyolu Yapımı ve İşletilmesi İhalesi

Otoyol yapım ve işletilmesi ihalesi “Yap-İşlet-Devret (YİD)” modeliyle kapalı teklif alma usulü ihale ile yapılmıştır. İhaleye; 8 firma teklif vermiştir. İhale 18.05.2016 tarihinde sonuçlandırılmıştır. Otoyolun Anadolu yakası işleri ve Avrupa Yakası işlerini ise 6 yıl 9 ay 12 gün süre ile iki farklı yüklenici firma ortak girişim grubu kazanmıştır [123].

4.2.5 Kuzey Marmara Otoyolu; Akıllı Ulaşım Uygulamaları

Kuzey Marmara Otoyolu trafik yoğunluğunun önlenmesi, trafik akışının gerçek zamanlı olarak takip edilerek zamanında kontrol edilebilmesi için akıllı ulaşım sistemleri ve uygulamalarına yer verilmiştir. Sürücülere yolun trafik akışı, hız limitleri, iklim olayları v.b. gibi ulaşımı etkileyen konularda bilgi verilmesi için akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları ile donatılmıştır [124]. Akıllı ulaşım sistemleri sayesinde trafik kazalarının minimum sayıya düşerek maddi ve manevi kayıpların azaltılması planlanmaktadır [125].

2021 Ekim ayında yapılan 12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurası’nda tanıtılan fiber optik altyapı ve yapay zekâ tabanlı akıllı ulaşım sistemleri projesi dünyada ilk olma özelliğine sahiptir. TÜBİTAK işbirliği ile tanıtımı yapılan proje ile fiber optik altyapı ile çalışan sensörler ile yerde oluşan titreşimler normalin dışına çıktığında tespit edilerek o bölgeye otonom uçan gözler gönderilecektir. Uçan gözler sayesinde o bölgeden bilgi ve görüntü alınıp gelişen olaylar karşısında daha hızlı çözümler üretilecektir [126].

4.2.4.1 Fiber Optik İletişim Ağı

Otoyol güzergahının tamamında 3500 kilometre uzunluğunda fiber optik altyapı, 6780 kilometre data kablosu, 490 adet yedek data hattı yapılmıştır. Merkezlere verinin iletilmesi ve verinin daha çabuk yorumlanabilmesi için 2 Adet veri merkezi, 115 adet sistem odası, bilgi akışının hızlı olması için fiber altyapılı 980 adet sunucu ve 2250 adet network cihazı imalatı yapılmıştır [124]. Otoyola ait verilerin transferini sağlayan sunucular Şekil 4-27’de gösterilmiştir.



Şekil 4-27: Fiber Altyapı Teknolojisi ile Çalışan Veri Akışını Sağlayan Sunucular [124]

4.2.4.2 Olay Algılama Sistemleri

Tünellerde ki SCADA alt yapısı teknolojisi ile duran araç, yola düşen yabancı cisim, duman, yolda seyreden yaya gibi normal dışı tüm durumlar anında tespit edilebilmektedir. Bu sayede kontrol merkezindeki operatörler tarafından veriler izlenmekte ve sahadaki müdahale ekiplerine yönlendirilmektedir. 210 adet hareketli AUS kameraları görüş alanlarını sürekli tarayarak sisteme önceden tanımlanmış olayların dışında bir olay algılandığında merkeze uyarı vermektedir. Olay algılama sistemine önceden tanımlaması yapılan 26 adet senaryoya göre tünel otomatik olarak kapanabilmektedir. Havalandırma sistemleri, trafik işaretleri, radyo anonsları dahil sürücülere yapılan tüm yönlendirme ve uyarılar yine otomatik olarak sistemsel bir bütünlük içerisinde çalışmaktadır [127].

4.2.4.3 Elektronik Ücret Toplama Sistemi

Otoyol hattında 21 adet gişe istasyonu alanı, 24 adet serbest geçiş noktası, 194 adet ücret toplama gişesi, 305 adet şerit ücret toplama, 1200 adet ücret toplama sistemi kamerası bulunmaktadır [124]. Otoyolun Akyazı çıkışına ait ücret toplama gişeleri Şekil 4-28’de verilmiştir.



Şekil 4- 28: Kuzey Marmara Otoyolu Akyazı Ücret Ödeme Noktası (Sakarya) [128]

4.2.4.4 Video Wall İzleme Ekranı (İzleme Merkezi)

Otoyolu 7 gün 24 saat izleyebilmek için; 210 adet hareketli akıllı ulaşım sistemi kamerası, 950 adet sabit akıllı ulaşım sistemi kamerası montajı yapılmıştır. Kameralardan elde edilen verileri izleyebilmek için 82 adet 70 inç boyutlarında Şekil 4-29'da gördüğümüz video wall izleme ekranı kurulmuştur [124].



Şekil 4-29: Kuzey Marmara Otoyolu Video Wall Görüntü İzleme Ekranı [129]

4.2.4.5 Değişken Mesaj İşareti

Otoyol ağında bulunan, Şekil 4-30'da bir örneğini gördüğümüz 86 adet değişken mesaj işareti ile sürücüler anlık olarak bilgilendirilmekte ve gerekli uyarılar yapılabilmektedir [124].



Şekil 4-30: Kuzey Marmara Otoyolu Değişken Mesaj İşareti [130]

4.2.4.6 Değişken Trafik İşareti

Otoyol boyunca 126 adet değişken trafik işareti ile sürücüler sürekli olarak uyarılmaktadır [124]. Böylece yolda meydana gelen olaylar için sürücülere bilgi akışı sağlanmakta ve kaza sayısı azaltılmaya çalışılmaktadır. Şekil 4-31’de tünel girişine montajı yapılan değişken trafik işareti örneği verilmiştir.



Şekil 4-31: Kuzey Marmara Otoyolu Çatalca T1-T2 Tünelleri Değişken Trafik İşareti [131]

4.2.4.7 Trafik ve İklim Ölçüm Sistemleri

Otoyolda hava sıcaklığı, bağıl nem, hava basıncı, yağış tipi, yağış yoğunluğu ve miktarı, rüzgâr yönü ve hızı, görüş mesafesi, kar tabakası kalınlığı gibi olumsuz hava koşulları ve yolun hava durum bilgisinin ölçüldüğü 25 adet meteoroloji istasyonu ve 1600 adet sis uyarı sistemi bulunmaktadır[132]. Otoyola ait sis uyarı sistemleri otomatik ya da manuel olarak çalıştırılabilmektedir [125]. Şekil 4-32’de otoyolda ki hava olaylarını anlık ölçmede kullanılan cihaz örneği verilmiştir.



Şekil 4-32: Kuzey Marmara Otoyolu Anlık Ölçümleme Cihazı [124]

Otoyolda hava koşullarının ölçümünün yapılması ve olumsuz hava şartlarının önceden bilinmesi içinde 21 adet meteoroloji ölçüm sensörü bulunmaktadır [124]. Şekil 4-33'te gösterilen bu sistemler sayesinde olumsuz hava şartları önceden bilinmekte ve sürücüler kaza olaylarına karşı bilgilendirilmektedir.



Şekil 4- 33: Kuzey Marmara Otoyolu Meteoroloji Sensörleri [124]

Yol boyunca oluşan trafiğin durumunu ve yoğunluğunu, yolda bulunan mevcut araçların sınıflandırılmasını sağlayan, Şekil 4-34'te bir örneğini gördüğümüz 78 adet trafik sayım sensörü bulunmaktadır [124].



Şekil 4-34: Trafik Sayım Sensörleri-Hareketli ve Sabit AUS Kameraları [124]

4.2.4.8. SCADA İzleme Noktası

SCADA alt yapısı sayesinde otoyol ve otoyola ait tünellerin güvenlik verileri 1 ana merkez ve 2 kontrol merkezinde 7 gün 24 saat izlenmektedir. Böylece otoyolda trafik güvenliği sürekli kontrol edilmekte, meydana gelen olaylar daha hızlı kontrol edilmekte ve akıcı-kesintisiz trafik sağlanmaktadır [133].

Tünellerde ise 292 adet acil telefon sistemi (Şekil 4-35), 900 adet hoparlör anons sistemi, 210 adet acil çağrı butonu, 199 adet yangın algılama butonu ve 494 adet adresleme ünitesi SCADA alt yapısını oluşturmaktadır [124]. Bu akıllı ulaşım sistemleri sayesinde tünellerde bulunan su ile çalışan yangın söndürme sistemlerinin vanaları, pompaları ve su seviyeleri izlenebilmektedir. Ayrıca tünele yerleştirilen lüminans metreler yardımı ile aydınlatmanın ışık şiddeti ayarlanabilmektedir. Anons sistemleri, değişken mesaj işaretleri ve değişken trafik işaretleri de otomatik ya da manuel olarak kontrol edilmekte ve sürücülere gerektiğinde gerekli uyarılar yapılabilmektedir [134].



Şekil 4-35: Otoyol Acil Durum Telefonu [124]

4.2.5.9. AUS Merkezleri

Akıllı ulaşım sistemleri altyapısı ile alınan verilerin yönetimi Şekil 4-36’da görünen 53.300 metrekarelik alana inşaat edilen ana kontrol merkezinden yapılmaktadır. Ana kontrol merkezinde çalışan 148 personel otoyolda kesintisiz ulaşımın sağlanabilmesi için 24 saat vardiya sistemi ile çalışmaktadır [125].



Şekil 4-36: Kuzey Marmara Otoyolu Ana Kontrol Merkezi Yerleşkesi [125]

Otoyolun ana kontrol merkezinde yol operatörleri tarafından; akıllı ulaşım sistemleri kapsamında yapılan video wall ekranlardan, Şekil 4-37’de görüldüğü gibi yüksek görüntü

kalitesi ile otoyol sürekli takip edilebilmektedir. Böylece otoyolda meydana gelen olaylar, aksaklıklar, trafik kazaları her an izlenmekte ve olay yaşandığında daha hızlı müdahale edilebilmektedir.



Şekil 4-37: Kuzey Marmara Otoyolu Ana Kontrol Merkezi [134]

4.3 Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu' Nun Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması

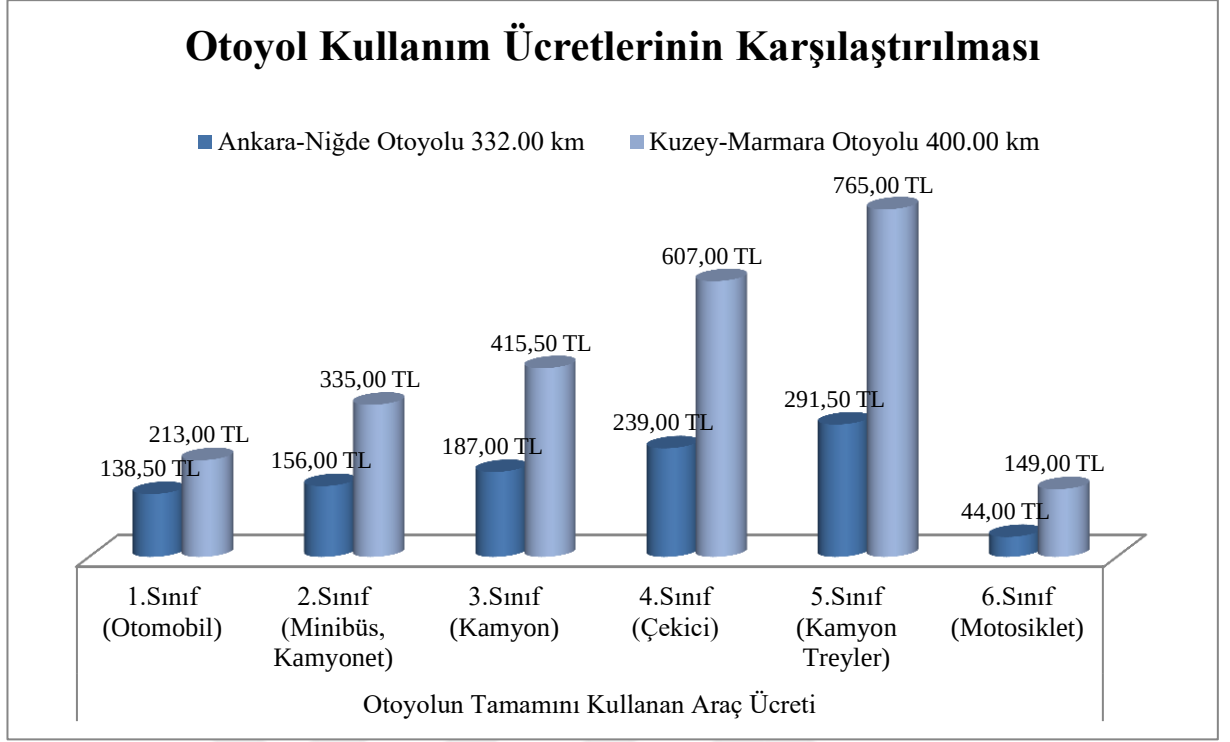
Günümüzde yaygın olarak kullanılan akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları ve literatür araştırması sonuçları da göz önünde bulundurularak; otoyollarda kullanılan akıllı ulaşım sistemi uygulamaları 9 ana kriter olarak belirlenmiştir. Ankara-Niğde ve Kuzey Marmara Otoyolu akıllı ulaşım sistemlerini oluşturan 9 kriter ve otoyollarda kullanılan uygulamaları Tablo 4-2'de verilmiştir.

Tablo 4- 2: Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları

Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları İçin Kullanılan Teknolojiler	Otoyollar	
	Ankara-Niğde Otoyolu	Kuzey Marmara Otoyolu
Fiber Optik İletişim Ağı Altyapısı	1300 km	3500 km
Olay Algılama Sistemleri	211 Adet Olay Algılamalı Kamera ile çalışan derin öğrenme mekanizmasına sahip olay algılama sistemi.	SCADA altyapısı ve 210 adet hareketli kamera ile 26 adet önceden belirlenmiş senaryoya göre çalışan olay algılama sistemi.
Elektronik Ücret Ödeme Gişesi	14 Adet Ücret Toplama Alanı, 119 Adet Ücret Toplama Gişesi, 490 Adet Gişe Ücret Toplama Alanı Kamerası	21 Adet Ücret Toplama Alanı, 194 adet Ücret Toplama Gişesi, 1200 Adet Ücret Toplama Alanı Kamerası
Video-Wall İzleme Ekranı	980 Adet Bina ve Çevre Kamerası, 21 Adet Video-Wall İzleme Ekranı	950 Adet Bina ve Çevre Kamerası, 82 Adet Video-Wall İzleme Ekranı
Değişken Mesaj İşaretleri	65 Adet	86 Adet
Değişken Trafik İşaretleri	63 Adet	126 Adet
Trafik ve İklim Ölçüm Cihazları	9 Adet Meteoroloji İstasyonu, 372 Adet Sis Uyarı Flaşörü, 38 Adet Trafik Ölçüm Sensörü	25 Adet Meteoroloji İstasyonu, 1600 Adet Sis Uyarı Flaşörü, 78 Adet Trafik Ölçüm Sensörü
AUS Merkezi	1 Ana Kontrol Merkezi, 15 Personel	1 Ana Kontrol Merkezi, 148 Personel

Otoyolu işleten firmaların internet sayfalarında yol kullanım ücreti hesaplama araçları bulunmaktadır. 2022 yılında yolu kullanan araç sınıflarının ödemesi gereken ücretler aşağıda ki tabloda verilmiştir. Ücretler yolu tamamen kullanan araçlar için hesaplanmıştır. Ankara-Niğde Otoyolu için Ankara-Alın gişeleri ile Niğde-Alın gişeleri arasından hesaplanmıştır. Kuzey Marmara Otoyolu içinde Tekirdağ-Kınalı gişeleri ile Sakarya-Akyazı gişeleri arasında hesaplanmıştır. Elde edilen otoyol kullanım ücretleri Tablo 4-3'te verilmiştir.

Tablo 4- 3: Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu Uzunluk ve Kullanım Ücreti [135] [136]



Otoyollarda kullanılan ve literatür araştırmasından elde edilen kriterlere dayanarak 5 ana kriter seçilmiştir. Fiber optik ağ uzunluğu, olay algılama sistemi, elektronik ücret toplama sistemi ve otoyol cep mobil uygulaması çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleriyle akıllı otoyol değerlendirilmesi yapmak üzere seçilmiştir.

5. MATERİYAL ve YÖNTEM

5.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) birden fazla seçeneğe sahip, genellikle karşıt seçeneği barındıran günlük hayatta karşılaştığımız sorunların çözümünü kolaylaştırmak için ortaya çıkmıştır [137]. Tarihteki ilk çok kriterli karar verme örnekleri 1960' lı yıllarda birden çok seçenek içeren problemlere karşı karar vermeyi kolaylaştırmak için yeni çözüm yöntemlerinin aranmasıyla başlamıştır [138].

Çok kriterli karar verme herkesin her an karşılaşılabileceği sorunlardır. Örneğin araba satın alırken insanlar arabanın modeli, rengi, alım-satım kolaylığı, konforu ve fiyatı gibi kriterleri göz önünde bulundurarak seçimlerini yaparlar. Seçim yaparken bazı kriterler doğru orantılı olarak artmaktadır. Örneğin arabanın özellikleri ve kalitesi arttıkça fiyatı da artacaktır [139].

Çok kriterli karar verme yöntemleri ile seçme, sıralama, sınıflandırma olmak üzere üç farklı problem türü çözüme kavuşturulabilir. Üç problem türü için karar verme sürecinin ortaya çıkması için değerlendirilmesi, sınıflandırılması ve karşılaştırılması oldukça zordur. Problemin kolay çözülebilir olması için çok kriterli karar verme yöntemleri; Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) olarak ikiye ayrılmıştır [140].

Çok Nitelikli Karar Verme yöntemi kriterler arasından seçim, sıralama ve karşılaştırma gibi karar verme problemlerinde kullanılmaktadır. Çok nitelikli karar verme yönteminin tek amacı ise karar verilecek sorun için en iyi sonucun (yüksek fayda, uygun maliyet) bulunmasıdır. Kullanılan başlıca yöntemler ise Analitik Hiyerarşi Prosesi, Analitik Ağ Prosesi, TOPSIS, VIKOR, Gri İlişkisel Analiz, MOORA, PROMETHEE, ELECTRE, MACBETH gibi uygulamalardır [141].

Çok Amaçlı Karar Verme yöntemi kriterlerin matematik programlama modeli ile analiz edilerek problemin çözülmesini sağlar. Çok Nitelikli Karar Verme yöntemleri ile arasındaki fark ise karar verilecek problem için birden çok amacın en küçük maliyetle belirlenmesini sağlamaktır. Kullanılan başlıca yöntemler ise Çok Amaçlı Doğrusal Programlama, Hedef Programlama, Step Metodu (STEM), SEMOPS, SWT gibi uygulamalardır [141].

Otoyolların akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada hangi kriterlerin daha öncelikli olduğunu belirlemek amacı ile çok nitelikli karar verme yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri seçilerek analiz gerçekleştirilmiştir.

5.2 AHP – ELECTRE – TOPSIS Yöntemi

5.2.1 AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

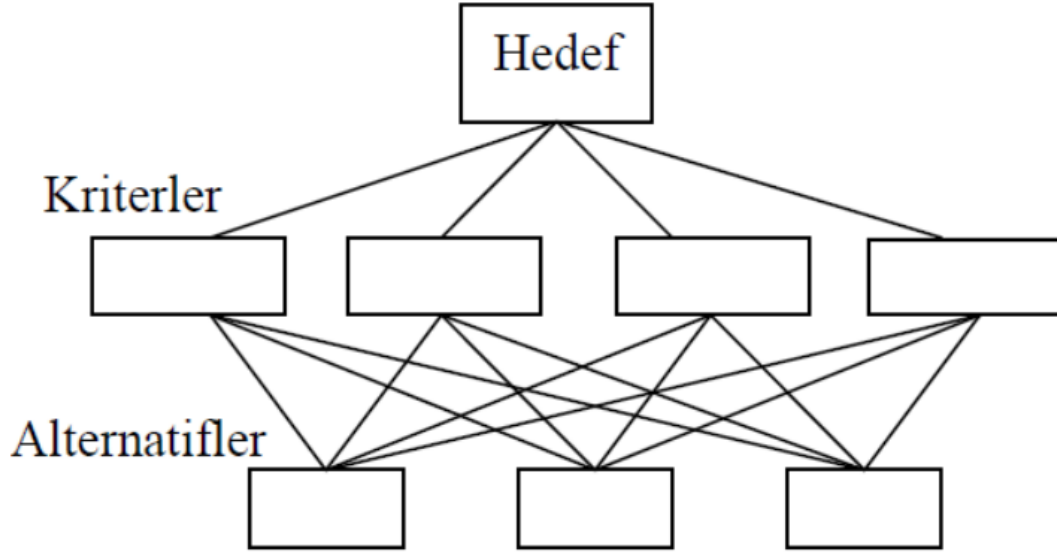
Analitik Hiyerarşi Prosesi modelini tarihte ilk kez 1968 yılında Alpert ve Myers ortaya atmıştır. 1978 yılında ise Profesör Saaty tarafından karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir bir yöntem haline getirilmiştir [142]. Saaty AHP yöntemini geliştirirken hisse senetlerinin dağılımı, Orta Doğu’ da yaşanan problemler, Sudan’ ın ulaştırma problemleri, Amerika Savunma Bakanlığı’ nda öngörülemeyen sorunların planlanması gibi çok değişikene bağlı problemler üzerine çalışmalar yapmıştır [143].

AHP yönteminin basitçe tanımı ise karar verilmesi istenilen problemin; kararı etkileyen kriterler için önceden belirlenen rakamsal değer karşılıkları kullanılarak, farklı kişilerden elde edilen verilere göre kriterlerin karar vermedeki ağırlıklarının rakamsal olarak elde edilerek karar verme sonucunun elde edilmesidir [142].

AHP yönteminin karar vermek için literatürde kullanıldığı başlıca alanlardan bazıları ise;

- Planlama,
- Pazarlama,
- Malzeme alımı ve taşınması,
- Farklı üretim sistemleri,
- İnsan gücü seçimi ve performans analizi,
- Proje seçimi,
- Bütçe tahsisi,
- Üretimin maliyetinin, hacminin ve kar oranının seçimi,
- Muhasebe ve denetim,
- Olasılık tahmini ve çapraz etkileri gibi problemlerin çözümüdür [144].

AHP’ nin üç seviyeli hiyerarşik yapısı ise Şekil 5-1’de verilmiştir. Şekle baktığımızda karar verilecek problemde hedefe ulaşmak için önceden belirlenen kriterler ve bunlara bağlı olarak yapılacak seçimlerin her biri atlanmadan birbiriyle ilişkilendirilir. Elde edilmek istenen yapı ağacının en üstünde ve tek iken, kriterler ve alternatif seçimler aşağı indikçe sayı (seçim kriteri) olarak artabilir.



Şekil 5-1: AHP Hiyerarşi Grafiği [145]

5.2.1.1 AHP Uygulamasının Aşamaları

AHP yöntemini uygulamada kullanabilmek için ilk sırada çözümde ulaşmak istediğimiz hedef belirlenir. Daha sonra alt basamaklar halinde kriterler ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik model elde edilir. Şekil-88’ de örnek hiyerarşik yapı modeli verilmiştir [146].

İkinci aşama olarak kriterler ve alternatifler kendi aralarında önem ağırlıklarının oluşturulabilmesi için ikişerli karşılaştırma matrisleri oluşturulur. İkili karşılaştırma yapılırken seçim yapılacak olan kriterler konusunda alanında uzman kişilerin bilgi ve deneyimlerine başvurulur [147]. Tablo 5-1’ de karşılaştırma matrisi örneği verilmiştir. Karar matrisinde köşegen değerleri kriterlerin kendilerine olan oranları olduğundan 1 değerini alır.

Tablo 5- 1: İkili Kriter Karşılaştırma Matrisi [147]

	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-3	Kriter-n
Kriter-1	1	$a1/a2$	$a1/a3$	$a1/an$
Kriter-2	$a2/a1$	1	$a2/a3$	$a2/an$
Kriter-3	$a3/a1$	$a3/a2$	1	$a3/an$
Kriter-n	$an/a1$	$an/a2$	$an/a3$	1

Problem için karşılaştırılması yapılacak olan ikili karşılaştırma kriterlerinin birbirlerine göre güçlü ya da zayıf yönlerinin belirlenmesi için Tablo 5-2’de verilen, Saaty tarafından geliştirilmiş olan 1-9 arasındaki önem ölçeği ile puanlama yapılır. Puanlama yapılırken uzman kişilerden görüş alınabilir [147].

Tablo 5- 2: AHP Önem Ölçeği Değer ve Tanımları [148]

Önem Ölçeği	Önem Değerinin Tanımı
1	İki seçenek eşit derecede öneme sahiptir.
2	İlk seçenek biraz daha önemlidir.
3	İlk seçenek orta derecede önemlidir.
4	İlk seçenek orta dereceden biraz fazla önemlidir.
5	İlk seçenek güçlü derecede öneme sahiptir.
6	İkinci seçenek güçlü dereceden biraz önemlidir.
7	İlk seçenek kuvvetli derecede önemlidir.
8	İkinci seçenek çok çok derecede önemlidir.
9	İlk seçenek aşırı derecede önemlidir.

Karşılaştırma matrisleri yapıldıktan sonra her bir ögenin diğer ögeye göre olan önemini rakamsal olarak temsil eden önem vektörü (özvektör) hesaplanır. Özvektörün hesaplanmasında ise;

$i=1, 2, 3, \dots, n$ ve $j=1, 2, 3, \dots, n$ ' e kadar olan kriter sayısını temsil etmek üzere,

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (5.1)$$

ve

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (5.2)$$

formülleri kullanılır [146].

İkili karşılaştırma matrisleri için; üst limitinin 0,10 değerini geçmemesi istenilen tutarlılık değeri oranı(CR) hesaplanır. Tutarlılık değeri oranı eğer 0,10 değerinden büyükse uzmanların verdiği cevaplar arasında tutarsızlık olduğu sonucuna varılır. Tutarlılığın sağlanması için ise kriterlere verilen önem ölçeği değerleri kontrol edilerek tutarlılık sağlanana kadar işlem tekrar yapılır[147].

Profesör Saaty' nin tutarlılık değerini hesaplamak için kullandığı formüller aşağıda verilmiştir.

$$CR = \frac{CI(Tutarlılık Göstergesi)}{RI(Rassallık Göstergeleri)} \quad (5.3)$$

Denklemin çözülmesi için bilinmeyen CI değerinin bulunması için gerekli olan formüller ise;

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5.4)$$

Maksimum özdeğer olarak isimlendirilen λ_{max} değeri önemler vektörünün yine kendisine karşılık gelen göreceli öneme bölünüp aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilir bulunması için gerekli formül ise;

$$\lambda_{max} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (5.5)$$

şeklindedir[147].

Rassal endeks (RI) değeri ise matrisin boyutuna göre sabit değerlerden oluşmaktadır [149]. Tablo 5-3' te 1-10 boyutunda ki matrislerin Rassal Endeks değerleri verilmiştir.

Tablo 5- 3: Rassal Endeks (RI) Değerleri [149]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Yapılan işlemlerin ardından problemin kararının verilmesi için kriterlerin önem ağırlıklarını belirlemede kullanılacak öncelik vektörüne ihtiyaç vardır. Öncelik vektörü bulunurken kriterlerin hepsi için belirlenen öncelik vektörünün ağırlıklı ortalaması alınır [147]. Bulunan ağırlık değerine göre problemin sonucu için karar verilerek AHP yöntemi ile çözüm elde edilmiş olur.

5.2.2 TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution) yöntemi 1980 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. ELECTRE yönteminde kullanılan temel işlemler kullanılarak yapılır. Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ve uzaklığının belirlenerek sıralanması ile problem çözüme kavuşturulur [150]. Günden güne daha da artan rekabet ortamında işletmeler tarafından performans analizlerinde oldukça kullanılmaktadır[151].

5.2.2.1 Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:

Karar matrisinde satırlara önemleri belirlenmek istenen karar noktaları, sütunlara ise karar vermemizi sağlayan kriterler yazılır. Aşağıda örnek olarak verilen A_{ij} karar matrisinde m karar noktası sayısını, n ise değerlendirme kriteri sayısını temsil etmektedir [152].

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

5.2.2.2 Standart Karar Matrisinin (R) Normalleştirilmesi

Karar matrisinde yer alan; kriter değerlerinin karelerinin toplamının, kareköklerine bölünmesi işlemi ile normalizasyon gerçekleştirilir. Normalizasyon işleminin formülü aşağıda verilmiştir [152].

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i=1, 2, \dots, m \quad j=1, 2, \dots, n \quad (5.7)$$

Elde edilen karar matrisi(R) örneğinde aşağıda verilmiştir[152].

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

5.2.2.3 Normalleştirme İşlemi Yapılan Karar Matrislerinin(V) Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması

Normalize edilmiş karar matrisinde elde ettiğimiz sütunlarda ki değerler, değerlendirmede kullanılan kriterlere verilen ağırlık değerleri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi ($V_{m \times n}$) oluşturulur. Ağırlık değerleri ise aşağıda yazılı formül ile bulunur [150].

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5.9)$$

5.2.2.4 İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm verilerinin hesaplanması için; önceki adımda bulunan ağırlıklı karar matrisinde(V) ağırlıklandırılmış değerlendirme faktörlerinden(sütunlarda ki değerler) en büyük rakamsal değere sahip olanlar seçilir. Eğer değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise seçim negatif en büyük değer olarak değiştirilir[150]. Daha sonra ise aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplama yapılır[146].

$$A^* = \{(max V_{ij} \mid J \in I) \mid (min V_{ij} \mid J \in I)\} \quad (5.10)$$

$$A^- = \{(min V_{ij} \mid J \in I) \mid (max V_{ij} \mid J \in I)\} \quad (5.11)$$

Formüllerde yer alan I değeri kriterin sağladığı faydayı(maksimizasyon), J değeri ise kriterin maliyetini (minimizasyon) temsil etmektedir [146].

5.2.2.5 Ayırım(Mesafe) Ölçülerinin Hesaplanması

Alternatiflerin birbirlerine göre ayırım (mesafe) değerleri ölçümü yapılır. Alternatiflerin pozitif ideal çözümünden ya da negatif ideal çözümünden uzaklık mesafeleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır [146].

Pozitif ideal çözümünden olan uzaklık için;

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j)^2} \quad (5.12)$$

Negatif ideal çözümünden olan uzaklık için;

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (5.13)$$

Alternatif sayısı kadar pozitif ideal çözümünden uzaklık (S_i^*) ya da negatif ideal çözümünden uzaklık mesafesi (S_i^*) değeri vardır [153].

5.2.2.6 İdeal Çözüme Göre Yakınlık Değerinin (C_i^*) Hesaplanması

İdeal çözüme göre yakınlık değeri (C_i^*) her alternatif için ayrı ayrı hesaplanır. İdeal ve ideal olmayan noktalara göre olan uzaklık mesafelerinde kullanılır. İdeal çözüme göre yakınlık değeri (C_i^*) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır[153].

$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- - s_i^+} \quad (5.14)$$

Hesaplanan değer 0 ile 1 aralığında olmalıdır. Elde edilen sonuç $C_i^* = 1$ ise alternatif ideal çözüme mutlak yakın; eğer $C_i^* = 1$ sonucu elde edilirse alternatif negatif ideal çözüme mutlak yakın olarak yorumlanır [153]. Buradan hareketle 1 değerine eşit yada yakın olan değere sahip alternatifler karar seçeneği olarak öncelik sıralamasına konulur ve karar verme probleminin sonucu elde edilir.

5.2.3 ELECTRE Yöntemi

ELECTRE yöntemi adını “Elimination and Choice Translating Reality English” kelimelerinin baş harflerinin kısaltılmasından almaktadır. Türkçe olarak kelimelerin anlamı ise gerçeği yansıtan eleme ve seçimdir. Çoklu kriterli karar verme problemlerinde 1966 yılında Benayoun, Roy ve arkadaşları tarafından çalışmalarda kullanılmıştır. Yöntemin basitçe çalışma şekli ise tercih edilen veya tercih edilmeyen bütün alternatiflerin kendi içlerinde değerlendirilerek, üstün yönlerinin karar verilebilmesidir [154].

ELECTRE yöntemi seçim ve sıralama problemlerinde karar vermeyi sağladığından; ekonomi problemleri, üretim, pazarlama, pazar yeri seçimi problemlerinde, planlama, başvuru değerlendirme, risk analizi ve daha birçok problemin çözümü için karar vermede kullanılabilir [154]. ELECTRE yöntemi kriter sayısının az alternatif sayısının ise fazla olduğu karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya daha uygundur [139].

ELECTRE yöntemi ile karar verme probleminde 8 adımda sonuca varılmaktadır. İşlem sıralaması aşağıda kısaca özetlenmiştir.

5.2.3.1 Karar Matrisinin (A) Oluşturulması:

Karar matrisinde(A) satırlarda probleme ait kriterler, sütunlarda ise alternatifler yer alır. Karar matrisi uzmanlardan alınan verilerin ilk matematiksel gösterimidir [155]. Karar matrisi (mxn boyutlu) örneği aşağıda gösterilmiştir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

m: kriter (karar noktası) sayısı

n: alternatif (değerlendirme faktörü) sayısı

5.2.3.2 Standart Karar Matrisinin (X) Elde Edilmesi

Elde ettiğimiz A karar matrisindeki değerlerin her biri için;

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (5.16)$$

formülü kullanılarak standart karar matrisi (X) elde edilir. Standart karar matrisi alternatif ve kriterler için her bir elemanın (X matrisinde ki x_{11} ' i bulmak için A matrisinde ki a_{11} değeri ve verilen formül kullanılır.) kendi arasında ilişki kurularak diğer karar noktalarıyla da ağırlıklandırılmasıdır[156]. Standart karar verme matrisi örneği aşağıda gösterilmiştir.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} w_i x_{11} & w_i x_{12} & w_i x_{1n} \\ w_i x_{21} & w_i x_{22} & w_i x_{2n} \\ w_i x_{m1} & w_i x_{m2} & w_i x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

5.2.3.3 Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (Y) Elde Edilmesi

Karar probleminin kriterleri kararı veren uzmanlar için farklılıklar gösterebilir. Ortaya çıkabilecek farklılıkların ELECTRE yöntemine aktararak, karar vermede kullanılabilmesi için ağırlıklı standart karar matrisi (Y) yapılır [155]. Farklılıkları ELECTRE yönteminde kullanabilmek için karar verici tarafından değerlendirmede kullanılacak olan faktörlerin ağırlık oranları(w_i) belirlenmelidir. Ağırlıkların değerlerinin toplamı ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$) görüldüğü gibi 1 değerine eşit olmalıdır [155].

Ağırlıklı standart karar matrisinin değerlerinin elde edilmesi işlemi aşağıdaki matriste gösterilmiştir [155].

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_i x_{11} & w_i x_{12} & w_i x_{1n} \\ w_i x_{21} & w_i x_{22} & w_i x_{2n} \\ w_i x_{m1} & w_i x_{m2} & w_i x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

5.2.3.4 Uyum (C_{kl}) ve Uyumsuzluk (D_{kl}) Setlerinin Oluşturulması

Ağırlıklı standart karar matrisi (Y) kullanılarak uyum ve uyumsuzluk setleri oluşturulur. Alternatif seçenekler kriterler dikkate alınarak değerlendirilir. Veri setleri elde edilirken aşağıda yazılı formül kullanılır [156].

$$C_{kl} = \{j, \quad y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (5.19)$$

Formül ağırlıklı standart karar matrisinde (Y) satırları oluşturan sayısal değerlerin büyüklüklerinin karşılaştırılmasını ifade etmektedir. Formülden elde edilecek uyum seti sayısı ise (m.m-m) formülü ile bulunur. Uyum ve uyumsuzluk set değerleri karşılaştırılırken k ve l değerleri birbirine eşit değerler olamaz. Her uyum seti (C_{kl}) için birde uyumsuzluk seti (D_{kl}) vardır. Uyum setini oluşturan eleman sayısı değeri en fazla değerlendirme faktörü sayısı (n) kadar olabilir [157].

ELECTRE yönteminde uyum ve uyumsuzluk setlerini etkileyen ve dikkat edilmesi gereken en önemli etken maliyet ve kar kriteridir. Eğer karar verilecek kriter maliyet ise uyum seti formülünün tersi ($y_{kj} \geq y_{lj}$) kullanılarak uyum (C_{kl}) ve uyumsuzluk (D_{kl}) setleri oluşturulur [158].

5.2.3.5 Uyum (C) ve Uyumsuzluk (D) Matrislerinin Hesaplanması

Uyum setlerinde elde edilen veriler kullanılarak uyum (C) matrisi oluşturulur. Oluşturulan yeni matrisler (C ve D matrisleri) “mxm” boyutludur ve k=1 için değere sahip olamaz. C matrisini oluşturmak için aşağıda verilen formüller kullanılır [155].

$$C_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} W_j \quad (5.20)$$

Örnek olarak ise $C_{12} =$

$$C = \begin{bmatrix} - & C_{12} & C_{13} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & - & C_{23} & \dots & C_{2m} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ C_{m1} & C_{m2} & C_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

Uyumsuzluk matrisi(D) elde etmek için kullanılan formül aşağıda verilmiştir [155].

$$d_{kl} = \frac{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (5.22)$$

Örnek olarak Uyumsuzluk matrisi(D) örneği de aşağıda gösterilmiştir [155].

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & \dots & d_{2m} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

5.2.3.6 Uyum Üstünlük (F) ve Uyumsuzluk Üstünlük (G) Matrislerinin Hesaplanması

Hesaplanacak olan uyum üstünlük matrisinin (F) boyutu da (mxm)' dir. Matris elemanları hesaplayabilmek için uyum eşik değeri ($\underline{c}$) ve uyum matrisinin (c) elemanları ayrı ayrı karşılaştırılmaktadır. Uyum eşik değerini ($\underline{c}$) hesaplayabilmek için kullanılacak olan formül aşağıda verilmiştir [155].

$$\underline{C} = \frac{1}{m-(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m C_{kl} \quad (5.24)$$

m değeri alternatif sayısını temsil etmektedir. Uyum eşik değerinin ($\underline{c}$) hesaplanmasında ise formülde uyum matrisini (c) oluşturan elemanların toplamı ile $\frac{1}{m-(m-1)}$ değerinin çarpımı kullanılır. Uyum üstünlük matrisinin (F) eleman değerleri ise 0 ya da 1 değerini almaktadır. Köşegenler aynı karar noktalarını temsil ettiğinden herhangi bir değer yoktur [157].

Uyumsuzluk üstünlük matrisi de (mxm) boyutludur. Uyum matrisinin oluşturulma şekliyle aynı şekilde oluşturulur. Matrisin değerleri de aynı uyum üstünlük matrisi(F) gibi 0 yada 1 değerini alabilir ve köşegenlerde aynı karar noktalarını gösterdiğinden değeri yoktur[157].

5.2.3.7 Toplam Baskınlık Matrisinin (E) Oluşturulması

Toplam baskınlık matrisi (E); uyum üstünlük matrisi (f_{kl}) ve uyumsuzluk üstünlük matrisinin (g_{kl}) çarpımı ile elde edilir. Toplam baskınlık matrisi; (E) uyum (C) ve uyumsuzluk (D) matrislerine bağlı olarak hesaplandığından (mxm) boyutunda, 0 ya da 1 değerine sahip elemanlardan oluşmaktadır [156].

5.2.3.8 Karar Noktalarının Değerlendirilmesi

Uyum üstünlük (F) ve uyumsuzluk üstünlük (G) matrisleri elemanları çarpımı sonucu ($t_{kl} = f_{kl}xg_{kl}$) toplam baskınlık matrisi (T) elde edilir. Toplam baskınlık matrisi (T) kriterlerin önem ağırlıklarına göre sıralanmasını sağlar. Örnek verecek olursak elde edilen karar matrisinde (T) $t_{kl} = 1$ ise A_k kriteri A_l kriterinden daha üstündür [159].

6. UYGULAMA

6.1 Araştırmanın Amacı

Otoyollarda kullanılan akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları ve ülkemize ait iki adet otoyolun akıllı ulaşım sistemleri açısından karşılaştırılması bu bölümde incelenmiştir. Otoyolların akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları karşılaştırılması yapılırken 5 adet kriter belirlenmiştir. Sonuca ulaşmak için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmada AHP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemi kullanılarak 5 adet uzman görüşü alınmış ve en ideal akıllı otoyol seçimi kararı verilmiştir.

6.2 Araştırmanın Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan akıllı ulaşım sistemleri uygulamalarına ait veriler Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu' nun resmi internet sayfalarından alınmıştır. Otoyol kullanım ücreti bilgileri ise otoyolu işleten firmalara ait resmi internet sayfalarında kullanıcılara sunulan hesaplama aracından elde edilmiştir.

Akıllı otoyolların karşılaştırılması probleminin çözümünde ise otoyollarda akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları için yapılan fiber optik ağ uzunluğu, olay algılama sistemleri, elektronik ücret toplama sistemleri, yol birim ücreti ve yol cep mobil uygulaması olmak üzere 5 adet kriter seçilmiştir. Alternatifler ise araştırmada akıllı ulaşım sistemlerini incelemiş olduğumuz Kuzey Marmara Otoyolu ve Ankara-Niğde Otoyolu' dur. Tablo 6-1' de alternatifler için seçilen kriterlere ait veriler verilmiştir.

Hesaplama işlemlerinde ise kolaylık sağlamak amacıyla karar vermede kullanılan kriterler aşağıdaki gibi kısaltmalarla gösterilmiştir:

Fiber Optik Ağ Uzunluğu (A1)

Olay Algılama Sistemleri (A2)

Elektronik Ücret Toplama Sistemleri (A3)

Yol Birim Ücreti (A4)

Yol Cep Mobil Uygulaması (A5).

Tablo 6- 1: Akıllı Otoyol Kriterleri ve Otoyollar

Kriterler	Otoyollar	
	Ankara-Niğde Otoyolu	Kuzey Marmara Otoyolu
Fiber Optik İletişim Ağı Altyapısı (A1)	1300 km	3500 km
Olay Algılama Sistemleri (A2)	211 Adet Olay Algılamalı Kamera ile çalışan derin öğrenme mekanizmasına sahip olay algılama sistemi.	SCADA altyapısı ve 210 adet hareketli kamera ile 26 adet önceden belirlenmiş senaryoya göre çalışan olay algılama sistemi.
Elektronik Ücret Ödeme Gişesi (A3)	14 Adet Ücret Toplama Alanı, 119 Adet Ücret Toplama Gişesi, 490 Adet Gişe Ücret Toplama Alanı Kamerası	21 Adet Ücret Toplama Alanı, 194 adet Ücret Toplama Gişesi, 1200 Adet Ücret Toplama Alanı Kamerası
Yol Birim Ücreti (A4)	138,50 TL (Otomobil)	213.00 TL (Otomobil)
Yol Cep Mobil Uygulaması (A5)	Var	Yok

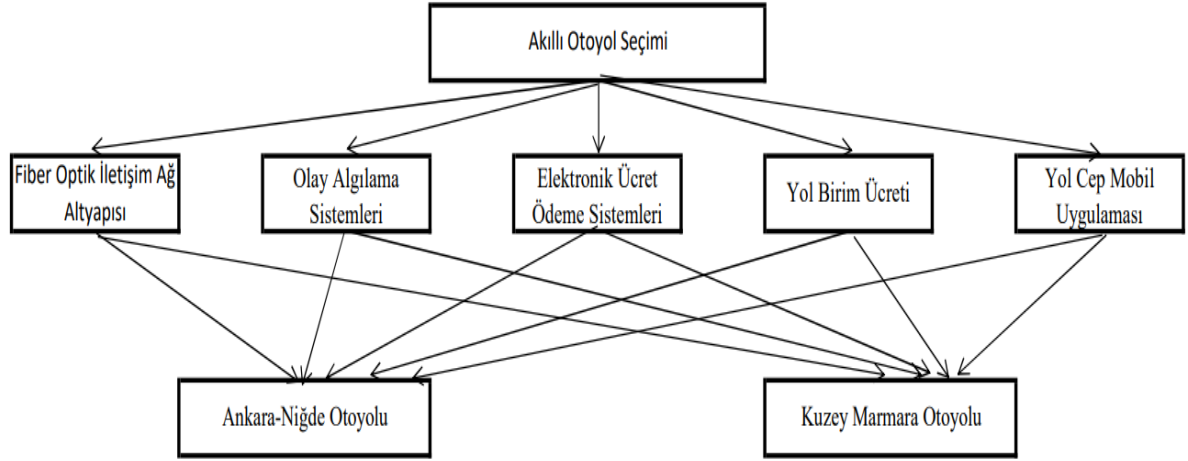
Karar vermede kullanılacak olan alternatifler ise aşağıda ki gibi kısaltılmıştır:

Ankara-Niğde Otoyolu (ANO) (B1)

Kuzey-Marmara Otoyolu (KMO) (B2).

6.3 AHP Yöntemi ile Uygulama

Akıllı otoyol seçimine karar verebilmek için, Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu' nun seçilen 5 kriter ile değerlendirilip karar verilmesi gerekmektedir. İlk olarak otoyollarda kullanılan akıllı ulaşım sistemi altyapı ve uygulamalarının AHP yöntemi ile karar vermede ki ağırlık oranları bulunacaktır. Araştırmada karar verici olarak 5 uzmandan AHP önem ölçeğine göre görüşleri alınmıştır. Seçilen uzmanlar, ulaşım sektöründe aktif olarak çalışan, çeşitli görev ve projelerde yer almış sektör profesyonellerinden oluşmaktadır. Uzmanlar sırasıyla akıllı ulaşım sistemleri anabilim dalında profesör, trafik şube müdürü, otoyol trafik ve yol güvenliği müdürü, kent içi ulaşım proje plancısı ve ulaşım koordinasyon şube müdürü olarak çalışmaktadırlar. Şekil 6-1'de araştırma probleminin hiyerarşik grafiği verilmiştir.



Şekil 6-1: Uygulamaya Ait Hiyerarşi Modeli

AHP yöntemi uygulaması ile kriter ağırlıkları bulunurken aşağıda işlem adımları sırasıyla yapılmıştır.

1. Karar vericilerden gelen kriter değerlendirme cevapları karar matrislerinde yazılmıştır. Uzmanlardan alınan cevaplar Tablo 6-2’de verilmiştir.

Tablo 6- 2: Uzmanlara Ait Karar Matrisleri

KV-1 Karşılaştırma Matrisi					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1,00	1,00	1,00	5,00	9,00
A2	1,00	1,00	1,00	7,00	7,00
A3	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00
A4	0,20	0,14	1,00	1,00	3,00
A5	0,11	0,14	0,33	0,33	1,00
KV-2 Karşılaştırma Matrisi					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1,00	5,00	3,00	0,20	0,33
A2	0,20	1,00	1,00	0,14	0,20
A3	0,33	1,00	1,00	0,14	0,33
A4	5,00	7,00	7,00	1,00	5,00
A5	3,00	5,00	3,00	0,20	1,00
KV-3 Karşılaştırma Matrisi					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1,00	1,00	0,14	1,00	3,00
A2	1,00	1,00	0,20	0,33	3,00
A3	7,00	5,00	1,00	1,00	7,00
A4	1,00	3,00	1,00	1,00	5,00
A5	0,33	0,33	0,14	0,20	1,00

KV-4 Karşılaştırma Matrisi					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1,00	0,14	3,00	0,11	0,20
A2	7,00	1,00	7,00	0,33	3,00
A3	0,33	0,14	1,00	0,14	0,14
A4	9,00	3,00	7,00	1,00	3,00
A5	5,00	0,33	7,00	0,33	1,00

KV-5 Karşılaştırma Matrisi					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1,00	5,00	7,00	9,00	5,00
A2	0,20	1,00	1,00	1,00	0,33
A3	0,14	1,00	1,00	5,00	1,00
A4	0,11	1,00	0,20	1,00	0,33
A5	0,20	3,00	1,00	3,00	1,00

2. Beş karar verici uzmandan alınan kriter karşılaştırma matrisi geometrik ortalama ($G = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \dots X_n}$) formülü kullanılarak tek bir ortak karşılaştırma matrisinde birleştirilir. Formül kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 6-3'te verilmiştir.

Tablo 6- 3: Kriterler İçin Ortak Karar Matrisi

Kriterler İçin Ortak Karar Matrisi(Geometrik Ortalama)					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1,00	1,29	1,55	1,00	1,55
A2	0,78	1,00	1,07	0,64	1,33
A3	0,64	0,93	1,00	0,63	1,00
A4	1,00	1,55	1,58	1,00	2,37
A5	0,64	0,75	1,00	0,42	1,00

3. Matriste ki her eleman kendi sütununda ki değerler toplamına bölünerek ortak karar matrisi normalize edilir. Normalize edilmiş matris Tablo 6-4'te gösterilmiştir.

Tablo 6- 4: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Normalize Edilmiş Matris					
	A1	A2	A3	A4	A5
A1	0,25	0,23	0,25	0,27	0,21
A2	0,19	0,18	0,17	0,17	0,18
A3	0,16	0,17	0,16	0,17	0,14
A4	0,25	0,28	0,25	0,27	0,33
A5	0,16	0,14	0,16	0,11	0,14

4. Normalize edilen matrisin satırında ki değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak Tablo 6-5'te verilen öncelik vektörü bulunur.

Tablo 6- 5: Öncelik Vektörünün Hesaplanması

Öncelik Vektörünün Hesaplanması						Öncelik Vektörü
	A1	A2	A3	A4	A5	
A1	0,25	0,23	0,25	0,27	0,21	0,24
A2	0,19	0,18	0,17	0,17	0,18	0,18
A3	0,16	0,17	0,16	0,17	0,14	0,16
A4	0,25	0,28	0,25	0,27	0,33	0,28
A5	0,16	0,14	0,16	0,11	0,14	0,14

5. Yapılan AHP uygulamasının tutarlılık analizi (CR) yapılır. Matrisin tutarlılık değerinin kabul edilebilir olması için sonucun 0,10 değerinden küçük çıkması gerekmektedir. Aşağıda verilen denklem ile sonuca gidilir.

$$CR = CI/RI \quad (6.1)$$

Rassal indeks (RI) değeri için aşağıda verilen tabloda ki sabit sayılar kullanılır. Sabit sayı seçiminde ki matrisin boyutuna göre Tablo 6-6'da verilen değerlerden uygun olanı seçilir.

Tablo 6- 6: Rassal Endeks (RI) Tablosu

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tutarlılık indeksi (CI) için ise aşağıda verilen formüller kullanılır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{ve} \quad \lambda_{max} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (6.2)$$

λ_{max} değerini bulmak için ise kriterler için ortak karar matrisinde ki sütunların her biri, öncelik değeri ile teker teker çarpılır.

$$0,24x \begin{bmatrix} 1,00 \\ 0,78 \\ 0,64 \\ 1 \\ 0,64 \end{bmatrix} + 0,18x \begin{bmatrix} 1,29 \\ 1,00 \\ 0,93 \\ 1,55 \\ 0,75 \end{bmatrix} + 0,16x \begin{bmatrix} 1,55 \\ 1,07 \\ 1,00 \\ 1,58 \\ 1,00 \end{bmatrix} + 0,28x \begin{bmatrix} 1,00 \\ 0,64 \\ 0,63 \\ 1,00 \\ 0,42 \end{bmatrix} + 0,14x \begin{bmatrix} 1,55 \\ 1,33 \\ 1,00 \\ 2,37 \\ 1,00 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,22 \\ 0,91 \\ 0,80 \\ 1,39 \\ 0,71 \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

Daha sonra ise bulunan değerler öncelik değerlerine bölünür. Sonuçların aritmetik ortalaması alınarak λ_{max} değeri bulunur.

$$\begin{aligned} 1,22/0,24 &= 5,02 \\ 0,91/0,18 &= 5,02 \\ 0,80/0,16 &= 5,02 \\ 1,39/0,28 &= 5,03 \\ 0,71/0,14 &= 5,01 \end{aligned} \tag{6.4}$$

$$\lambda_{max} = \frac{5,02+5,02+5,02+5,03+5,01}{5} = 5,02 \tag{6.5}$$

$$CI = \frac{5,02-5,00}{4} = 0,005 \tag{6.6}$$

Denklemin çözümünde gerekli olan bütün değerler yerine yazılarak tutarlılık indeksi (CI) bulunmuştur. Değer 0,10 değerinden küçük çıktığı için uzmanlar tarafından yapılan kriter değerlendirmesi tutarlıdır.

$$CR = \frac{0,005}{1,12} = 0,004 \tag{6.7}$$

Yaptığımız AHP uygulaması sonucuna baktığımızda ise kriterlerin önem ağırlıkları ve sıralaması;

0,28 yol birim ücreti (A4),
0,24 fiber optik ağ uzunluğu (A1),
0,18 olay algılama sistemleri (A2),
0,16 elektronik ücret toplama sistemleri (A3) ve,
0,14 ile yol cep mobil uygulaması (A5) olarak bulunmuştur.

6.4 TOPSİS Yöntemi ile Uygulama

AHP uygulaması ile elde edilen kriter ağırlıklarının ardından akıllı otoyol seçiminin yapılabilmesi için TOPSİS uygulaması yapılmıştır. Yapılan uygulama ile sonuç elde etmek için kullanılan işlem adımları aşağıda sırası ile verilmiştir.

1. İlk olarak Tablo 6-7’de verilen karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinde seçenekler Ankara-Niğde Otoyolu (B1) ve Kuzey Marmara Otoyolu (B2); kriterler ise fiber optik ağ uzunluğu (A1), olay algılama sistemleri (A2), elektronik ücret toplama sistemleri (A3), yol birim ücreti(A4) ve yol cep mobil uygulamasıdır (A5).

Tablo 6- 7: TOPSİS Yöntemi Karar Matrisi

Karar Matrisi					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
B1	1300	211	14	138,5	1
B2	3500	210	21	213	0

2. Oluşturulan karar matrisi vektörel normalizasyon yöntemi kullanılarak normalize edilir. Bu işlem için karar matrisinde yer alan her bir elemanın karesi alınıp, bulunduğu sütundaki kareler toplamının kareköküne bölünür. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6-8’de gösterilmiştir.

Örneğin fiber optik ağ uzunluğu-ANO değerinin vektörel normalizasyonu için: $n_{11} = 1300 / ((1300^2 + 3500^2)^{1/2}) = 0,3482$ değeri elde edilir.

Tablo 6- 8: Normalize Edilmiş TOPSIS Karar Matrisi

Normalize Edilmiş Karar Matrisi(Rij)					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
B1	0,348187	0,708784	0,5547	0,545127	1
B2	0,937425	0,705425	0,83205	0,838354	0
Kareler Toplamı $\wedge(1/2)$	3733,631	297,6928	25,23886	254,0694	1

3. AHP uygulaması ile bulduğumuz kriter ağırlıkları ile normalize edilen karar matrisinde ki değerler ile çarpılarak Tablo 6-9’da verilen ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

Tablo 6- 9: Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi(Rij)					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
	0,24	0,18	0,16	0,28	0,14
B1	0,083565	0,127581	0,088752	0,152635	0,14
B2	0,224982	0,126977	0,133128	0,234739	0

4. Elde edilen verilerden pozitif ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözüm kümeleri oluşturulur. Kriter fayda yönlü ise sütunda ki maksimum değer pozitif ideal çözüm; eğer kriter maliyet yönlü ise sütuna ait minimum değer pozitif ideal çözüm sonucunu verir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6-10’da verilmiştir.

Tablo 6- 10: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Bulunması					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
B1	0,083565	0,1275812	0,088752	0,152635	0,14
B2	0,224982	0,1269765	0,133128	0,234739	0
A^*	0,224982	0,1275812	0,133128	0,152635	0,14
A^-	0,083565	0,1269765	0,088752	0,234739	0

A4 kriteri yol birim ücreti(maliyet) olduğundan küçük olan değer pozitif ideal çözüm olarak yazılır. Diğer dört kriter fayda yönlü olduğundan büyük olan değerler pozitif ideal çözüm satırına yazılır.

5. Alternatiflerin pozitif ve negatif çözümlere olan uzaklıkları öklid uzaklık yaklaşımı sayesinde hesaplanır. Pozitif ideal çözüme olan uzaklık için kriter değeri kriterin pozitif ideal değerinden çıkartılır ve sonucun karesi alınır. Kriterlerin hepsi için işlem tekrar edilir. Negatif çözümlere olan uzaklık için de aynı formüller kullanılır. Problemin çözümü için bulunan değerler Tablo 6-11’de ki gibidir.

Tablo 6- 11: İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri

İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri		
	B1	B2
Si*	0,1482	0,1623002
Si-	0,1623	0,1482163

6. Görelî yakınlığın (C_i^+) bulunması işleminde alternatifin negatif ideal çözüme uzaklığı (S_i^-), pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıkların toplamına bölünerek sonuç elde edilir. Görelî yakınlık 0 ve 1 aralığında değerler alır. Elde edilen sonuca göre sıralama elde edilerek TOPSIS yöntemine göre en uygun alternatif seçilmiş olur. İdeal çözüm için elde edilen sıralama listesi Tablo 6-12’de verilmiştir.

Tablo 6- 12: İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri

İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri		
	B1	B2
Si*	0,1482	0,1623
Si-	0,1623	0,1482
Ci*	0,52268	0,47732
Sıralama	1	2

TOPSIS yöntemine göre uzmanlardan alınan verilerin hesaplanmasıyla yaptığımız uygulama sonucunda Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları karşılaştırılmıştır. Bu uygulama sonucunda akıllı otoyol karşılaştırma sıralaması;

1. Ankara-Niğde Otoyolu (B1),
2. Kuzey Marmara Otoyolu (B2) şeklinde bulunmuştur.

6.5. ELECTRE Yöntemi İle Uygulama

AHP uygulamasından elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile beraber ELECTRE yöntemi ile de uygulama yapılmıştır. Uygulama adımları sırası ile aşağıda verilmiştir. TOPSIS yöntemi ile ELECTRE yönteminin ilk 3 adımı aynı işlemlerden oluşmaktadır.

1. Çalışmada kullandığımız veriler ile karar matrisi oluşturulur. Satırlarda seçenekler, sütunlarda ise kriterler yer almaktadır. Karar matrisi Tablo 6-13'te gösterilmiştir.

Tablo 6- 13: ELECTRE Yöntemi Karar Matrisi

Karar Matrisi					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
B1	1300	211	14	138,5	1
B2	3500	210	21	213	0

2. Karar matrisi vektörel normalizasyon yöntemi ile normalize edilir. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 6-14'te ki gibidir.

Tablo 6- 14: Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Normalize Edilmiş Karar Matrisi(Rij)					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
B1	0,348187	0,708784	0,5547	0,545127	1
B2	0,937425	0,705425	0,83205	0,838354	0
Kareler Toplamı $\wedge(1/2)$	3733,631	297,6928	25,23886	254,0694	1

3. AHP uygulaması ile elde edilen kriter ağırlıkları ile normalize edilen karar matrisinde ki değerler ile çarpılarak Tablo 6-15'te verilen ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

Tablo 6- 15: Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi(Rij)					
Alternatifler	Kriterler				
	A1	A2	A3	A4	A5
	0,24	0,18	0,16	0,28	0,14
B1	0,083565	0,127581	0,088752	0,152635	0,14
B2	0,224982	0,126977	0,133128	0,234739	0

4. Ağırlıklı standart karar matrisi ve 5.19'da verilen formül kullanılarak uyum ve uyumsuzluk setleri bulunur. Bulunan set verileri Tablo 6-16'da verilmiştir.

Tablo 6- 16: Uyum ve Uyumsuzluk Setlerinin Belirlenmesi

Uyum-Uyumsuzluk Setlerinin Belirlenmesi			
Uyum Setleri		Uyumsuzluk Setleri	
C12	2, 5	D12	1, 3, 4

5. Uyum setlerinden bulduğumuz veriler kullanılarak uyum matrisi (C) oluşturulur. Matris oluşturulurken 5.20’de verilen formül kullanılır. Örneğin C_{12} değerini bulmak için uyum setinde olan (2, 5) kriterlerin AHP uygulaması ile elde ettiğimiz ağırlıkları toplanır ($C_{12} = w_1 + w_5$). Uyum matrisi için bulunan değerler Tablo 6-17’de ki gibidir.

Tablo 6- 17: Uyum Matrisi

Uyum Matrisi(C)		
	B1	B2
B1	0	0,32
B2	0,68	0

Uyumsuzluk (D) matrisi elemanları da 5.22’de verilen formül kullanılarak elde edilir. Örneğin D_{12} değerini bulmak için pay değerinde uyumsuzluk seti elemanları(1, 3, 4), payda değerinde ise tüm elemanların mutlak değer farklarından en büyük olan belirlenir ve hesaplama yapılır. Problem için bulunan uyumsuzluk setleri Tablo 6-18’de verilmiştir.

Formülde ki pay kısmı için;

$$D_1 = |0,0836 - 0,225|=0,141$$

$$D_3 = |0,0888 - 0,133|=0,044$$

$$D_4 = |0,153 - 0,235|=0,08$$

Formülde payda kısmı için eksik değerler ise;

$$D_2 = |0,12758 - 0,1269765|=0,0006$$

$$D_5 = |0,14 - 0,00|=0,14$$

Tablo 6- 18: Uyumsuzluk Setleri

Uyumsuzluk Matrisi		
	B1	B2
B1	0	1
B2	0,989978	0

6. Uyum matris elemanı olan C_{kl} ile uyum eşik değerlerinin ($\underline{C}$) karşılaştırılması ile uyum üstünlük (F) ve uyumsuzluk üstünlük (G) matrisleri bulunur. 5.24’de verilen formül kullanılarak uyum eşik değeri elde edilir. Örnek hesaplama aşağıda verilmiştir. Hesaplama sonucuna göre ise Tablo 6-19’ da verilen uyum üstünlük matrisi elde edilmiştir.

$$\underline{C} = \frac{1}{2X(2-1)} (0,32 + 0,68) = 0,50 \quad (6.8)$$

Tablo 6- 19: Uyum Üstünlük(F) Matrisi

Uyum Üstünlük(F) Matrisi		
	B1	B2
B1	0	0
B2	1	0

Uyumsuzluk üstünlük (G) matrisi elde edilirken 5.24’de verilen formül kullanılarak uyumsuzluk eşik değeri ($\underline{d}$) elde edilir. Örnek hesaplama aşağıda verilmiştir. Bulunan değere göre Tablo 6-20’de ki uyumsuzluk üstünlük matrisi elde edilmiştir.

$$\underline{d} = \frac{1}{2X(2-1)} (1,00 + 0,99) = 0,995 \quad (6.9)$$

Tablo 6- 20: Uyumsuzluk Üstünlük(G) Matrisi

Uyumsuzluk Üstünlük(G) Matrisi		
	B1	B2
B1	0	1
B2	0	0

7. Elde edilen uyum üstünlük (F) ve uyumsuz üstünlük (G) matrisleri karşılıklı olarak çarpılır ve sonuç olarak Tablo 6-21’de ki toplam baskınlık (E) matrisi elde edilir. Elde ettiğimiz toplam baskınlık matrisine göre alternatifler arasında sıralama yapılmaktadır.

Tablo 6- 21: Toplam Baskınlık(E) Matrisi

Toplam Baskınlık Matrisi		
	B1	B2
B1	0	0
B2	0	0

Yaptığımız ELECTRE uygulamasında Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu'nun beş kriter ve beş uzman tarafından akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları bakımından karşılaştırılması sonucu eşdeğer çıkmıştır.

7. SONUÇ

İnsanların temel ihtiyacı haline gelen ulaşım hizmetinde; şehirlerde ki nüfus ve araç sayısı fazlalığından dolayı ulaşım ve trafikte geçirilen zamanı arttırmaktadır. Bunun yanı sıra trafik yoğunluğundan dolayı araçlar daha fazla akaryakıt tüketmekte, çevreye salınan zararlı gaz miktarı artmaktadır. Ulaşımı rahatlatmak için yeni yol yapımı da arazi edinimi ve inşaat maliyetleri bakımından zor ve pahalı bir iştir. Bu problemlerin zamanla artmasıyla akıllı ulaşım sistemi uygulamaları çözümleri ortaya çıkmıştır.

Akıllı ulaşım sistemi uygulamaları şehir içi ve şehirlerarası yollarda; bireysel ve toplu taşımacılıkta zamanla yaygınlaşan bir sektör haline gelmiştir. Ulaşım konforunun artırıldığı şehirlerarası otoyollarda da akıllı ulaşım sistemi uygulamalarına olabildiğince yer verilmektedir.

Bu çalışmada otoyollarda kullanılan akıllı ulaşım sistemi uygulamaları incelenmiştir. Ülkemizde yakın zamanda hizmete açılan Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu akıllı otoyol ismi ile açılan otoyollardır. Yapılan bu çalışmada Ankara-Niğde Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolu yapım, işletme, akıllı ulaşım uygulamaları açısından incelenmiştir.

Otoyollarda akıllı ulaşımı sağlayan fiber optik iletişim ağı, olay algılama sistemleri, elektronik ücret toplama sistemleri, izleme merkezi, değişken mesaj işareti, değişken trafik işareti, trafik ve iklim ölçüm sistemleri, SCADA izleme noktası ve AUS merkezleri konu başlıkları altında 9 ortak kriter sayısal verilerle birlikte incelenmiştir. İki otoyolun akıllı otoyol olarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Otoyolların karşılaştırılması yapılırken 5 ayrı kriter seçilmiştir. Seçilen kriterler kullanılarak ulaşım sektöründe uzman 5 kişi tarafından karşılaştırılma yapılmıştır. İlk Olarak kriterlerin AHP uygulaması ile ağırlıkları hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonucunun doğru çıkması için uzmanların verdiği cevapların tutarlılığı AHP ile kontrol edilmiştir. Uzmanlar tarafından verilen cevaplar neticesinde kriterlerin ağırlık sıralaması 0,28 yol birim ücreti birinci, 0,24 fiber optik ağ uzunluğu ikinci, 0,18 olay algılama sistemleri üçüncü, 0,16 elektronik ücret toplama sistemleri dördüncü ve 0,14 ile yol cep mobil uygulaması beşinci sırada yer almıştır.

AHP uygulaması ile bulunan akıllı otoyolların kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS ve ELECTRE yöntemi ile uygulama yapılmıştır. TOPSIS ve ELECTRE yönteminin ilk üç adımı aynı işlemlerden oluştuğundan aynı sayısal değerlere sahip ağırlıklandırılmış karar matrisi kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi ile yapılan akıllı otoyol karşılaştırılması probleminin çözümünde; Ankara-Niğde Otoyolu' nun Kuzey Marmara Otoyolu' ndan üstün olduğu sonucuna

varılmıştır. ELECTRE yöntemi ile yapılan uygulamada ise aynı kriterler ve veriler için iki otoyolun da eşit sonuçlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuçların farklı çıkmasının sebebi ise yöntemlerin uygulanmasında ki işlemlerin farklı olmasıdır. Ancak TOPSIS ve ELECTRE yöntemi ile yapılan uygulamalarda sonuçların farklı çıkması yada bu çalışmada olduğu gibi eşdeğer çıkmasında; TOPSIS uygulamasında bulunan sonuç en ideal ve güvenilir çözüm kabul edilir [160].

Akıllı ulaşım sistemleri ve otoyollarda ki uygulamaları incelenen bu çalışmada uzmanlardan alınan veriler ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak ülkemizde kullanıma açılan iki akıllı otoyolun karşılaştırılması sonucunda birinci sırayı Ankara-Niğde Otoyolu almıştır.

Akıllı otoyol değerlendirilmesi yapılırken uzman kişilerin verdiği cevaplar neticesinde, otoyolun kullanım ücretinin diğer kriterlerden daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Buradan hareketle akıllı ulaşım sistemleri ile ülkemizde yapılan yada yapımı planlanan otoyollarda kullanıcıların ödeyeceği ücretin göz önünde bulundurulması gerektiği görülmektedir. Yol kullanım ücreti belirlenirken bütün vatandaşların rahatlıkla ödeyebileceği fiyatlar seçilmelidir. Vatandaşlar akıllı otoyolları kullanırken ücretine değil trafik güvenliğine ve konforuna dikkat etmelidir.

Ele alınan kriterler ve karar verilecek olan alternatifler için çok kriterli karar vermede kullanılan farklı yöntemler ile farklı sonuçlar elde edilebilir. Bunun için yapılan bu çalışmanın otoyollar konusunda daha sonra yapılacak olan farklı uygulama ve çalışmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

8. KAYNAKLAR

- [1] A. Doğan, “Ulaştırma Tarihi”, 2012. <http://www.ulasimgazetesi.com/kose-yazisi/6672/ulastirma-tarihi.html> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [2] M. Bakırcı, “Ulaşım Coğrafyası”, 2018.
- [3] F. Ayhan, “Kuzey Marmara Otoyolu Güzergahında Bulunan Yerleşmeler Ve Yolun Yerleşmelere Muhtemel Etkileri–Sakarya İli Örneği”, 2011, Erişim: Eyl. 14, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/93298>.
- [4] G. Nakliyat, “Yolların tarihsel gelişimi”. <https://goztepenakliyat.com.tr/yollarin-tarihsel-gelisimi> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [5] Ö. Sertbaş, “Antik Dönemin Mühendislik Harikası: Roma Yolları”, 2019. <https://nereye.com.tr/antik-donemin-muhendislik-harikasi-roma-yollari/> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [6] Ö. Acımaç, “Antik Roma Yolları, İmparatorluğun Altyapısını Oluşturuyordu”, 2021. <https://arkeofili.com/antik-roma-yollari-imparatorlugun-altyapisini-olusturuyordu/> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [7] Paraf, “Bir Zamanlar Ticarete Yön Veren Tarihi Yollar”. https://www.parafcard.com.tr/24312-bir_zamanlar_ticarete_yon_veren_tarihi_yollar (erişim Eyl. 14, 2021).
- [8] “İpek Ve Baharat Yolu Haritası”, 2021. <https://yearofthefly.org/8148/turkiye-ipek-yolu-haritasi/ipek-ve-baharat-yolu-haritasi-goruntuler-ile-baharat-turkiye-ipek-yolu-haritasi/> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [9] B. Dalkıranoglu, “Dünya Tarihini Şekillendiren 8 Antik Ticaret Yolu”, 2017. <https://listelist.com/antik-ticaret-yollari/> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [10] “Kara Yolu Taşımacılığının Dünyadaki Gelişimi”. <https://www.navlun.com.tr/tr/blog/kara-yolu-tasimaciliginin-dunyadaki-gelisimi/157> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [11] T. D. Yurt, “Ankara-İstanbul Otoyolu Bitkilendirme Çalışmalarının İrdelenmesi , Akıncı Gişeleri Çeltikçi Kavşağı Örneği”, 2018.
- [12] C. McFadden, “John Loudon McAdam: Modern Yolun Babası”, 2021. <https://interestingengineering.com/john-loudon-mcadam-the-father-of-the-modern-road> (erişim Eyl. 14, 2021).
- [13] W. Dick & A. Lichtenberg, “İlk Otobanın Hikâyesi”, 2012. <https://www.dw.com/tr/ilk->

otobanın-hikâyesi/a-16143393 (erişim Eyl. 14, 2021).

- [14] KGM, “Yol Ağı Bilgileri”. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx> (erişim Kas. 17, 2021).
- [15] Z. Çağrı, “Avrupa’da en fazla otoyol uzunluğuna sahip ülkeler hangisi?”, Ara. 30, 2020. <https://kronos34.news/tr/avrupada-en-fazla-otoyol-uzunluguna-sahip-ulkeler-hangisi/> (erişim Kas. 17, 2021).
- [16] E. Kapluhan, “Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye’de Karayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi Ve Mevcut Yapısı”, 2014, Erişim: Eyl. 13, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: www.sosyalarastirmalar.com.
- [17] KGM, “Dünden Bugüne KGM”, 2021. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/BasinveHalklaIliskilerBirimi/tarihce.pdf> (erişim Kas. 10, 2021).
- [18] B. Çetin, S. Barış, ve S. Saroğlu, “Türkiye’de Karayollarının Gelişimine Tarihsel Bir Bakış”, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, c. 1, sayı 1, ss. 123–150, 2011.
- [19] eskiistanbul.net, “Boğaziçi Köprüsü Açılış Töreni”, Eki. 30, 1973. <http://www.eskiistanbul.net/818/bogazici-koprusu-acilis-toreni-30-ekim-1973-salt-arastirma-fotograf-arsivi> (erişim Kas. 10, 2021).
- [20] H. Yıldırım Keser, S. Ay, ve I. Çetin, “Ulaştırmada Karayolları: Türkiye’deki Gelecek Beklentileri”, *TESAM Akad. Derg.*, ss. 63–93, Ağu. 2018, doi: 10.30626/TESAMAKADEMI.455999.
- [21] KGM, “Otoyol Envanter Bilgisi”, 2021. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/OtoyolEnvanterBilgisi.aspx> (erişim Eyl. 10, 2021).
- [22] KGM, “Otoyollar Haritası”, 2021. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Otoyollar/Otoyollar.aspx> (erişim Eyl. 10, 2021).
- [23] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, “Resmi Gazete/28292 Sayılı”, 2012. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120514-1.htm> (erişim Kas. 11, 2021).
- [24] T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi, “Mevzuat Bilgi Sistemi”, 2012. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16136&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (erişim Eyl. 10, 2021).

- [25] KGM, “Otoyol Ve Köprü Gelirleri (2001-2019)”, 2019, doi: 10.334.172.372.
- [26] Yavuz Sultan Selim Köprüsü ve Kuzey Çevre Otoyolu İşletmesi, “Otoyol Kullanım Kuralları”, 2016. <https://www.ysskoprusuveotoyolu.com.tr/TR/icerik/otoyol-kullanim-kurallari-102> (erişim Oca. 24, 2022).
- [27] ERG Otoyol A.Ş., “Otoyol Kullanım Kuralları”, 2020. <https://www.ankaranigdeotoyolu.com/otoyol-kullanim-kurallari-57> (erişim Oca. 24, 2022).
- [28] “Otoyol Kullanım Kuralları – OTOYOL A.Ş.”, 2016. https://isletme.otoyolas.com.tr/?page_id=5708 (erişim Eyl. 09, 2021).
- [29] T. Açıkgoz, “Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Analizi Ve Uygulamaları”, ss. 9–11, 2020.
- [30] M. E. Kenanoğlu, “Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Dışsallık: Çanakkale Örneği”, c. 6, sayı 1, ss. 1–8, 2018, [Çevrimiçi]. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>.
- [31] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı”, *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanl.*, ss. 15–18, 2020.
- [32] Ö. Yılmaz, “Karayolu Ulaşımında Akıllı Ulaştırma Sistemleri”, *Bilgi Toplumu Dairesi*, Ağu. 2012. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/OzhanYilmaz.pdf> (erişim Kas. 11, 2021).
- [33] N. Tektaş ve M. Tektaş, “Dünyada Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Gelecek Hedefleri Japonya Örneğinin İncelenmesi”, *Paradoks*, Nis. 2020. https://www.researchgate.net/publication/340459883_Dunyada_Akilli_Ulasim_Sistemlerinin_Gelecek_Hedefleri_Japonya_Orneginin_Incelenmesi (erişim Kas. 11, 2021).
- [34] M. Tektaş ve N. Tektaş, “Akıllı ulaşım sistemleri(AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı”, 2020.
- [35] B. Çapalı, “Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Türkiye’deki Uygulamaları”, 2009.
- [36] RayHaber, “Akıllı Durak Sistemi Nedir?”, Haz. 24, 2014. <https://rayhaber.com/2014/06/akilli-durak-sistemi-nedir/> (erişim Kas. 11, 2021).
- [37] Stuff, “Akıllı durak konsepti İstanbul’da”, May. 09, 2016. <https://www.stuff.com.tr/akilli-durak-konsepti-istanbulda/> (erişim Kas. 11, 2021).
- [38] Neutron, “İlk Akıllı Durak İstanbul’ da Hizmete Sunuldu”, May. 06, 2016. <http://www.neutr10.com/ilk-akilli-durak-istanbulda-hizmete-sunuldu-ozellikleri-neler/>

(erişim Kas. 11, 2021).

- [39] HaberTürk, “Gaziantep’te Akıllı Durak Dönemi ”, May. 31, 2018. <https://www.haberturk.com/gaziantep-haberleri/61224271-gaziantep-te-akilli-durak-donemi> (erişim Kas. 12, 2021).
- [40] Kentkart, “Yolcu Bilgilendirme Sistemi ”. <https://www.kentkart.com/tr/cozumler/yolcu-bilgilendirme-sistemi/> (erişim Kas. 12, 2021).
- [41] Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, “Araç İçi Yolcu Bilgilendirme Servisi”. <https://kahramanmaras.bel.tr/foto-galeri/arac-ici-yolcu-bilgilendirme-servisi> (erişim Kas. 12, 2021).
- [42] H. Tufan, “Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye İçin Bir AUS Mimarisi Önerisi”, *T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*, 2014. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/hasan-tufan-akilli-ulasim-sistemleri-uygulamaları-ve-türkiye-icin-bir-aus-mimarisi-onerisi.pdf> (erişim Kas. 13, 2021).
- [43] Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO, “Abb Trafik Uygulaması”, 2014. <https://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/2126/abb-trafik-uygulamasi> (erişim Kas. 13, 2021).
- [44] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, “11.Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Şurası”, 2013. <https://sgb.uab.gov.tr/uploads/pages/11-ulasirma-surasi/11-ulasirma-surasi-calisma-gruplari-rapor-ozeti-karayolu.pdf> (erişim Kas. 14, 2021).
- [45] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, “Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları”. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/gaziantep-aus-calismalari.pdf> (erişim Kas. 14, 2021).
- [46] Akıllışehirler, “Gaziantep Trafik Kontrol Sistemi”, Eyl. 24, 2021. <https://www.akillisehirler.gov.tr/2021/09/24/gaziantep-trafik-kontrol-sistemi/> (erişim Kas. 14, 2021).
- [47] Ç. Demiral, “Otoyol Trafiği Yönetiminde Akıllı Sistem Yaklaşımı: Katılım Denetimi Örneği Ve Farklı Denetim Algoritmalarının Başarım Sınaması”, 2011.
- [48] M. Tektaş, K. Korkmaz, ve H. Erdal, “Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği (Ekonomik Ve Çevresel Faydaları)”, 2016.
- [49] Australian Government Department of Infrastructure and Transport, *Walking, Riding and Access to Public Transport*. 2013.
- [50] M. Ilıcalı vd., “Akılcı ve Güvenli Trafik İçin Akıllı Ulaşım Sistemleri”. https://www.researchgate.net/publication/351748089_AKICI-_GUVENLI_TRAFIK_ICIN_AKILLI_ULASIM_SISTEMLERI (erişim Kas. 15, 2021).

- [51] S. Balcıkoca, “İstanbul-İzmir Otoyolu’nda Gişede Sürücülerin Bekleme Sürelerini Azaltan Uygulama Başladı”, Tem. 07, 2021. <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/istanbul-izmir-otoyolunda-gisede-suruculerin-bekleme-surelerini-azaltan-uygulama-basladi/2296637> (erişim Kas. 10, 2021).
- [52] H. G. Önder ve H. Kaplan, “Ankara’da Park Et-Devam Et Sisteminin Modellenmesi İle Yolculuk Değişimine Bağlı Emisyon Azaltımının Ölçülmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, s. 140, Şub. 2014.
- [53] T. Geçer, “Elektronik Ücret Toplama Sistemi ve İstanbul Örneği”, *Bilgi Ekon. ve Yönetimi Derg.*, c. XI, sayı I, ss. 84–85, 2016, Erişim: Kas. 16, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.beykon.org/dergi/2016/SPRING/2016XI.I.7.T.Gecer.pdf>.
- [54] Y. İtergen, “Ulaşımda Akıllı Ödeme Sistemleri-”, May. 14, 2019. <https://medium.com/kartliodemeler/https-medium-com-kartliodemeler-ulasim-2cc7fde72e27> (erişim Kas. 16, 2021).
- [55] Lordiz.com, “İzmirim Kart (Kentkart) Bakiye Sorgulama ve TL Yükleme”, Kas. 21, 2015. <https://www.lordiz.com/izmirim-kart-kentkart-bakiye-sorgulama.html> (erişim Kas. 16, 2021).
- [56] E. Akçetin, M. Çiftçi, Y. Yurtay, N. Yurtay, E. Öztürk, ve A. Kılıç, “Araç Takip Sistemi ve Uygulaması”. s. 2, 2014, Erişim: Kas. 17, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: https://www.academia.edu/9069925/ARAÇ_TAKİP_SİSTEMİ_VE_UYGULAMASI.
- [57] elcobil.com, “Araç Takip ve Filo Yönetimi”. <https://elcobil.com/hizmetler/arac-takip-ve-filo-yonetim-sistemi/> (erişim Kas. 17, 2021).
- [58] Hella-Guttmann Solutions, “İleri Sürücü Destek Sistemleri”, Erişim: Kas. 17, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: www.intermobil.com.tr.
- [59] A. Oruz, “Taşıtlarda Güvenlik Sistemleri, ADAS ve ADAS Fonksiyonları – Otomotiv Laboratuvarı”, Eyl. 01, 2018. <https://otomotivlab.net/tasitlarda-guvenlik-sistemleri-adas-ve-adas-fonksiyonlari/> (erişim Kas. 17, 2021).
- [60] xTRLarge, “E-Call: Avrupa’da Her Arabada Bulunacak Acil Durum Sistemi”, Haz. 04, 2018. <https://www.xtrlarge.com/2018/06/04/ecall-avrupa-araba-acil-durum-sistemi/> (erişim Kas. 17, 2021).
- [61] “Uyumlaştırılmış Araç İçi Acil Çağrı Sistemi Projesi”. <https://icisleri.gov.tr/uyumlastirilmis-arac-ici-acil-cagri-sistemi-projesi> (erişim Eyl. 09, 2021).
- [62] AUS Türkiye, “Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Türkiye’deki ,Km Taşları Milestones of ITS in Turkey”, 2019.

- [63] İSBAK, “Dünden Bugüne İSBAK”. <https://docplayer.biz.tr/95172355-Dunden-i-s-b-a-k.html> (erişim Eyl. 09, 2021).
- [64] “Eshot Genel Müdürlüğü Resmi Web Sitesi”, 1987. <https://www.eshot.gov.tr/tr/Haberler/787/91?AspxAutoDetectCookieSupport=1> (erişim Eyl. 15, 2021).
- [65] E. Öztürk, “EDS 28 Mart’ta Devreye Giriyor”, 2020. <https://www.sabah.com.tr/akdeniz/2020/03/05/eds-nihayet-basliyor> (erişim Eyl. 15, 2021).
- [66] E. Özer, “EEC Entegre Bina Kontrol Sistemleri”, 2016. <http://www.eec.com.tr/blog/sehir-izleme-sistemlerinin-turkiyedeki-gelisimi.3.aspx>.
- [67] “Mobese Nedir, Mobese Sistemleri Hakkında Bilgi”. <https://www.canlimobese.com/mobese-nedir-mobese-sistemleri-hakkinda-bilgi/> (erişim Eyl. 15, 2021).
- [68] KGM, “Bolu Dağı Tüneli Elektromekanik Sistemleri”.
- [69] Alemdar, “iPhone, iPad İçin IBB CepTrafik Uygulaması”, 2012. <https://www.bilgisayarkurdu.com/iphone-ipad-icin-ibb-ceptrafik-uygulamasi-13774/> (erişim Eyl. 15, 2021).
- [70] U. Bingöl, “Mobil PTS’ler ile Denetim Başladı”, 2018. <https://www.iha.com.tr/haber-mobil-ptsler-ile-denetim-basladi-729654/> (erişim Eyl. 24, 2021).
- [71] Enerji Günlüğü, “Antalya’da Güneş Enerjili Klimalı Durakların İkincisi Açıldı”, Nis. 04, 2013. <https://www.enerjigunlugu.net/antalyada-gunes-enerjili-klimali-duraklarin-ikincisi-acildi-3017h.htm> (erişim Eyl. 24, 2021).
- [72] “Antalya’da Akıllı Duraklar Hizmete Girdi”, Mar. 10, 2009. <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/antalyada-akilli-duraklar-hizmete-girdi-11177022> (erişim Eyl. 24, 2021).
- [73] “OKANOM - Okan Otonom Araç Projesi ”. <https://www.okan.edu.tr/arastirma/sayfa/914/okanom-okan-otonom-arac-projesi/> (erişim Eyl. 24, 2021).
- [74] Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, “2.Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı”, 2022. <https://bausmer.bandirma.edu.tr/tr/bausmer/Sayfa/Goster/2-ULUSLARARASI-AKILLI-ULASIM-SISTEMLERI-KONFERANSI-14491> (erişim May. 28, 2022).
- [75] “TEM (Trans - Avrupa Kuzey - Güney Otoyolu Projesi)”, 2019. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Projeler/UluslararasıProjeler/Tem.aspx> (erişim Eyl. 17, 2021).

- [76] ERG Otoyol A.Ş., “Akıllı Ulaşım Sistemleri”, 2020. <https://www.ankaranigdeotoyolu.com/akilli-ulasim-sistemleri> (erişim Kas. 23, 2021).
- [77] M. A. Yiğit, “Ankara-Niğde Otoyolu”, 2020. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Projeler/OtoyolProjeleri/AnkaraNigde.aspx> (erişim Eyl. 17, 2021).
- [78] ERG Otoyol, “ERG Otoyol Yatırım ve İşletme A.Ş.”, 2020. <http://www.ergotoyol.com.tr/proje-hakkinda/> (erişim Eyl. 17, 2021).
- [79] AECOM Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. Şti, “Ankara-Niğde Otoyolu Projesi ERG Otoyol Yatırım ve İşletme”, 2018.
- [80] Santiye.com.tr, “En Gelişmiş Akıllı Ulaşım Sistemleriye Donatılan ‘Ankara-Niğde Otoyolu’”, 2020. <https://www.santiye.com.tr/ankara-nigde-otoyolu-746.html> (erişim Eyl. 23, 2021).
- [81] “Ankara-Niğde Otoyolu Projesi’nin Yapım İşletim ve Devri İşine Ait İhalesi”, 2016. <https://www.ilan.gov.tr/ilan/97012/ihale-duyurulari/hizmet-alim-ihaleleri/ankara-nigde-otoyolu-projesinin-yapim-isletim-ve-devri-isine-ait-ihalesi> (erişim Eyl. 22, 2021).
- [82] Y. E. Günaydın, “Türkiyede Yap-İşlet-Devret Modeli ile Otoyol Projelerinin Yapılması”, 2015. https://www.academia.edu/17822248/MSc_Thesis_Turkish_Türkiyede_Yap_İşlet_Devret_Modeli_ile_Otoyol_Projelerinin_Yapılması?email_work_card=reading-history (erişim Şub. 25, 2022).
- [83] Sabah, “Ankara-Niğde Otoyolu İhalesi sonuçlandı!”, 2017. <https://www.sabah.com.tr/ekonomi/2017/04/24/ankara-nigde-otoyolu-ihalesi-sonuclandi> (erişim Eyl. 23, 2021).
- [84] UAB, “Ankara-Niğde Otoyolu İhalesi Açıklandı”, 2017. <https://www.uab.gov.tr/haberler/ankara-nigde-otoyolu-ihalesi-aciklandi> (erişim Eyl. 23, 2021).
- [85] KGM Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, “2021 Yılı Kurumsal Mali Durum ve Beklentiler Raporu”, 2021, Erişim: Eki. 23, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/MaliDurum/malidurum.pdf>.
- [86] Yol Teknolojileri, “Niğde-Ankara Otoyolu İntetra İle ‘Akıllandı’”, Eki. 26, 2020. <https://yolteknolojileri.com.tr/nigde-ankara-otoyolu-intetra-ile-akillandi/> (erişim Kas. 23, 2021).
- [87] Robit Teknoloji, “Akıllı Ulaşım Sistemleri projemiz Ankara-Niğde Otoyolu Tamamlandı

- ”, Eki. 23, 2020. <https://www.robite.com.tr/akilli-ulasim-sistemleri-projemiz-ankara-nigde-otoyolu-tamamlandi/> (erişim Kas. 23, 2021).
- [88] Vikipedi, “Fiber Optik İletişim ”. https://tr.wikipedia.org/wiki/Fiber_optik_iletişim (erişim Kas. 23, 2021).
- [89] Netinbag.com, “Fiber Optik Ağı Nedir?” <https://www.netinbag.com/tr/technology/what-is-a-fiber-optic-network.html> (erişim Kas. 23, 2021).
- [90] KGM, “Akıllı Ulaşım Sistemleri Şubesi Müdürlüğü Çalışmaları”. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/TrafikGuvenligiDairesiBaskanligi/Calismalar/AkilliUlasimSistemleriCalismalar.pdf> (erişim Kas. 23, 2021).
- [91] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, “12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurası Tamamlandı ”, Eki. 08, 2021. <https://www.btk.gov.tr/haberler/12-ulasirma-ve-haberlesme-surasi-tamamlandi> (erişim Kas. 23, 2021).
- [92] a2, “Olay Algılama Sistemi”. <http://a2technology.co/urunler/a2-vca/a2-vca-olay-algilama-sistemi/> (erişim Kas. 23, 2021).
- [93] İntetra, “Akıllı Olay Algılama Sistemi (OASIS)”. <http://www.intetra.com.tr/akilli-olay-algilama-sistemi/> (erişim Kas. 24, 2021).
- [94] N. Özönur ve İ. Kordemirci, “‘Türkiye’nin En Akıllı Otoyolu’ Açılıyor ”, Eyl. 03, 2020. <https://www.dha.com.tr/yurt/turkiyenin-en-akilli-otoyolu-aciliyor/haber-1787506> (erişim Kas. 25, 2021).
- [95] İntes, “Karayollarının 100’ ü 100 Yılı (İnsan İnşaat Sanayii)”, 2020. <https://intes.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/intes177h.pdf> (erişim Kas. 24, 2021).
- [96] N. Özdemir, “ Akıllı Şehir Yolculuğu (XVI) ”, Eyl. 26, 2020. <https://www.ogunhaber.com/yazarlar/necmi-ozdemir/akilli-sehir-yolculugu-xvi-intetra-101252m.html> (erişim Kas. 25, 2021).
- [97] Tetra HGS Sistemleri, “Collection System”. <https://tetrahgs.com.tr/Products/Collection> (erişim Kas. 25, 2021).
- [98] S. Şengül, “Ankara-Niğde Otoyolu Vatandaşlardan Tam Not Aldı”, Eyl. 05, 2020. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/ankara-nigde-otoyolu-vatandaslardan-tam-not-aldi/1964052> (erişim Kas. 25, 2021).
- [99] E. Sansar, “Ankara-Niğde Otoyolu’nun Tamamlanan Bölümleri Yarın Açılıyor”, *Anadolu Ajansı*, Eyl. 03, 2020.
- [100] Deltoid Video Projects, “Videowall”. <https://www.deltoid.com.tr/detay/videowall/159> (erişim Kas. 25, 2021).

- [101] Mynet, “Türkiye’nin En Akıllı Otoyolu Ankara-Niğde Otoyolu Yarın Açılıyor”, Eyl. 03, 2020. <https://finans.mynet.com/haber/detay/ekonomi/turkiye-nin-en-akilli-otoyolu-ankara-nigde-otoyolu-yarin-aciliyor/402818/> (erişim Kas. 25, 2021).
- [102] digipan group, “Vms Bilgi Ekranları”. <https://digipan.com.tr/vms-bilgi-ekranlari56> (erişim Kas. 25, 2021).
- [103] İntetra, “Hız İkaz ve Uyarı Sistemleri ”. <http://www.intetra.com.tr/hiz-ikaz-ve-uyari-sistemleri/> (erişim Kas. 25, 2021).
- [104] İntetra, “Değişken Trafik İşareti ”. <http://www.intetra.com.tr/degisken-trafik-isaretleri/> (erişim Kas. 25, 2021).
- [105] İntetra, “Akıllı Ulaşım Sistemleri ”. <http://www.intetra.com.tr/akilli-ulasim-sistemleri/> (erişim Kas. 25, 2021).
- [106] HUBBOX Smart Industrial, “SCADA nedir, nerelerde kullanılır, avantajları nelerdir ? ”. <https://www.hubbox.io/tr/blog/veri-toplama/scada-nedir-nerelerde-kullanilir-avantajlari-nelerdir> (erişim Kas. 26, 2021).
- [107] G. N. Bayar, “Cumhurbaşkanı Erdoğan Tarafından Açılan Ankara-Niğde Otoyolundaki Tesisler, 10 Bin Kişiye İstihdam Sağlayacak”, *Haberler.com*, Eyl. 26, 2021.
- [108] İntetra, “AUS Yönetim Merkezi Yazılımı ”. <http://www.intetra.com.tr/aus-yonetim-merkezi-yazilimi/> (erişim Kas. 26, 2021).
- [109] M. Aktaş, “Ankara-Niğde Otoyolu’nun Tamamlanan Bölümleri Yarın Açılıyor”, *Anadolu Ajansı*, Eyl. 03, 2020. <https://www.aa.com.tr/tr/pg/foto-galeri/ankara-nigde-otoyolunun-tamamlanan-bolumleri-yarin-aciliyor> (erişim Kas. 26, 2021).
- [110] ERG Otoyol, “AUS Sunum ”. <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox/FMfcgzGlksLZMbHXkSpvbVxZSTThJC?projector=1&messagePartId=0.1> (erişim Kas. 26, 2021).
- [111] KMO Anadolu Otoyolu, “Proje Hakkında”, 2019. <https://www.anadoluotoyolisletmesi.com/proje-hakkinda> (erişim Ara. 15, 2021).
- [112] F. Ayhan ve M. Hayır, “Kuzey Marmara Otoyolu Projesi ve Mekan İlişkisi Sakarya İli Örneği”, *1.Ulusal Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 2011. https://www.researchgate.net/profile/Fatih-Ayhan-3/publication/349805875_Kuzey_Marmara_Otoyolu_Projesi_ve_Mekan_Iliskisi_Sakarya_Ili_Ornegi/links/6041d04c4585154e8c780268/Kuzey-Marmara-Otoyolu-Projesi-ve-Mekan-Iliskisi-Sakarya-Ili-Oernegi.pdf (erişim Oca. 11, 2022).
- [113] Y. Demirci, “Kuzey Marmara Otoyolu İhalesi Sonuçlandı”, May. 17, 2016. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/kuzey-marmara-otoyolu-ihalesi-sonuclandi/573831>

(erişim Ara. 15, 2021).

- [114] Kuzey Marmara Otoyolu İşletmesi, “Projenin Önemi”, 2019. <https://www.kuzeymarmaraotoyolu.com/projenin-onemi> (erişim Ara. 16, 2021).
- [115] DHA Demirören Haber Ajansı, “Guinness Rekoru Öncesi Kuzey Marmara Otoyolu’nda Özel Hazırlık”, Eyl. 09, 2021. <https://www.dha.com.tr/ekonomi/guinness-rekoru-oncesi-kuzey-marmara-otoyolunda-ozel-hazirlik/haber-1847422> (erişim Ara. 15, 2021).
- [116] enKocaeli, “Dünyanın İlk 4 Şeritli Tüneli”, Tem. 11, 2018. <https://www.enkocaeli.com/haber/2643013/dunyanin-ilk-4-seritli-tuneli> (erişim Ara. 15, 2021).
- [117] AECOM, “Kuzey Marmara Otoyolu (3.Boğaz Köprüsü dahil) Projesi için Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi(ÇSED)”, Ağu. 02, 2013. https://www.3kopru.com/content/pdf/15112013140523cevreseel_ve_sosyal_etki_degerlendirme_raporu.pdf (erişim Mar. 01, 2022).
- [118] ICA, “İlklerin Köprüsü YSS”, 2016. <https://www.ysskoprusuveotoyolu.com.tr/TR/icerik/ilklerin-koprusu-yss-126> (erişim Ara. 15, 2021).
- [119] IC İbrahim Çeçen Yatırım Holding A.Ş., “Yavuz Sultan Selim Köprüsü ve Kuzey Çevre Otoyolu”, 2021. <http://www.icholding.com.tr/tr/insaat/ProjeDetay/27> (erişim Ara. 15, 2021).
- [120] ICA YSS Köprüsü ve Kuzey Çevre Otoyolu İşletmesi, “Ekolojik Köprü”, 2016. <https://www.ysskoprusuveotoyolu.com.tr/TR/icerik/ekolojik-kopru-106> (erişim Ara. 16, 2021).
- [121] L. Pehlivanoğlu, “Türkiye’ nin İlk Ekolojik Köprüsü Uskumruköy’ de”, <https://www.sariyerposta.com/>, Tem. 2021, Erişim: Ara. 16, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.sariyerposta.com/yasam/turkiye-nin-ilk-ekolojik-koprusu-uskumrukoy-de-h64176.html>.
- [122] Ö. F. Cebeci, “Kuzey Marmara Otoyolu’nda Sona Doğru”, Ara. 12, 2020. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/kuzey-marmara-otoyolunda-sona-dogru/2074431> (erişim Ara. 15, 2021).
- [123] utikad, “Kuzey Marmara Otoyolu İhalesi Sonuçlandı”, May. 18, 2016. <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/13528/kuzey-marmara-otoyolu-ihalesi-sonuclandi> (erişim Ara. 15, 2021).
- [124] Kuzey Marmara Otoyolu, “Akıllı Ulaşım Sistemleri”, 2019. <https://www.kuzeymarmaraotoyolu.com/akilli-ulasim-sistemleri> (erişim Ara. 21, 2021).

- [125] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, “Akıllı Ulaşım Sistemleriyle Donatılan Kuzey Marmara Otoyolu Ana Kontrol Merkezi Açıldı ”, Kas. 05, 2021. <https://hgm.uab.gov.tr/haberler/akilli-ulasim-sistemleriyle-donatilan-kuzey-marmara-otoyolu-ana-kontrol-merkezi-acildi> (erişim Oca. 10, 2022).
- [126] T. Yanık, “Kuzey Marmara Otoyolu ve TÜBİTAK’tan Fiber Optik Tabanlı Akıllı Ulaşım Sistemi”, Eki. 08, 2021. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/kuzey-marmara-otoyolu-ve-tubitaktan-fiber-optik-tabanli-akilli-ulasim-sistemi/2386673> (erişim Ara. 16, 2021).
- [127] Yeni Asır, “Akıllı yollar güven veriyor! ”, Ağu. 15, 2021. <https://www.yeniasir.com.tr/yasam/2021/08/15/akilli-yollar-guven-veriyor-istanbul-izmir-otoyolu-1041-kamerayla-kontrol-ediliyor> (erişim Oca. 03, 2022).
- [128] Milliyet, “Kuzey Marmara Otoyolu Tamamen Hizmete Açıldı”, Ara. 19, 2020. <https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/kuzey-marmara-otoyolu-tamamen-hizmete-acildi-6383908> (erişim Ara. 21, 2021).
- [129] Yeni Journal, “Ana Kontrol Merkezi Açıldı!”, <https://www.yenijournal.com/>, c. 2021, Kas. , Erişim: Ara. 21, 2021. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.yenijournal.com/gundem/ana-kontrol-merkezi-acildi-h11167.html>.
- [130] Ortana, “Referanslar”, 2021. <http://www.ortana.com/new/index.php/tr/referanslar> (erişim Ara. 22, 2021).
- [131] Ortana, “Kuzey Marmara Otoyolu’ nun Gebze-İzmit Etabı Açıldı”, Eyl. 21, 2020. <http://www.ortana.com/new/index.php/tr/anasayfa/8-haberler/228-kuzey-marmara-otoyolu-nun-gebze-izmit-etabi-acildi> (erişim Ara. 21, 2021).
- [132] Kuzey Marmara Otoyolu, “Kuzey Marmara Otoyolu-KMO”, *Kuzey Marmara Otoyolu*. (2020, December 23). *Kuzey Marmara Otoyolu-KMO*. <https://www.facebook.com/kmotoyolu/posts/1360885717609563/>, Ara. 23, 2020. <https://www.facebook.com/kmotoyolu/posts/1360885717609563/> (erişim Ara. 23, 2021).
- [133] Kuzey Marmara Otoyolu Anadolu İşletmesi, “Kuzey Marmara Otoyolu Hakkımızda”, 2019. <https://www.anadolutoyolisletmesi.com/hakkimizda> (erişim Oca. 03, 2022).
- [134] Karayolları Genel Müdürlüğü, “Kuzey Marmara Otoyolu Ana Kontrol Merkezi Açıldı”, 2018. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Duyurular/DuyuruDetay.aspx?Parameter=984> (erişim Oca. 10, 2022).
- [135] ERG Otoyol İşletme A.Ş., “Ankara Niğde Otoyolu Ücret Hesaplama”, 2020. <https://www.ankaranigdeotoyolu.com/ucret-hesaplama> (erişim Mar. 03, 2022).
- [136] Kuzey Marmara Otoyolu Avrupa İşletmesi, “Kuzey Marmara Otoyolu Ücret Hesaplama

- Haritası”, 2022. <https://harita.avrupaotoyolisletmesi.com/> (erişim Mar. 03, 2022).
- [137] A. Öztel, “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım”, Oca. 2016. <https://docplayer.biz.tr/52931291-Cok-kriterli-karar-verme-yontemi-seciminde-yeni-bir-yaklasim-ahmet-oztel-doktora-tezi-istatistik-anabilim-dali.html> (erişim Mar. 13, 2022).
- [138] F. Urfalioğlu ve T. Genç, “Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Türkiye’ nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri İle Karşılaştırılması”, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B Derg.*, c. XXXV, sayı 2, ss. 329–360, 2013, doi: 10.14780/iibdergi.201324469.
- [139] D. Cengiz, “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Karşılaştırmalı Analiz”, Tem. 2012.
- [140] M. Toksoy Erdoğan, “Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri ve VIKOR Yöntemi ile Bir Uygulama”, 2012.
- [141] B. F. Yıldırım, “Çok Kriterli Karar Verme ”, Mar. 30, 2019. <https://bahadirfyildirim.com/blog/serie/cok-kriterli-karar-verme/> (erişim Mar. 13, 2022).
- [142] K. Yaralıoğlu, “Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Proseesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F Derg.*, c. 16, sayı 1, ss. 129–142, 2001, Erişim: Mar. 13, 2022. [Çevrimiçi]. Available at: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211403>.
- [143] İ. F. Gülenç ve G. Aydın Bilgin, “Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi”, c. 9, sayı 34, ss. 97–107, Tem. 2010.
- [144] F. Zahedi, “The Analytic Hierarchy Process: A Survey of the Method and Its Applications”, *informs*, c. 16, sayı 4, ss. 96–108, Ağu. 1986, Erişim: Mar. 15, 2022. [Çevrimiçi]. Available at: <https://about.jstor.org/terms>.
- [145] T. L. Saaty ve L. G. Vargas, “Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process”, *Springer Science & Business Media*, 2012. https://books.google.com.tr/books?id=FJLWhG5mWncC&pg=PA201&dq=The+analytic+hierarchy+process+-+A+survey+of+the+method+and+its+application&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKEwiC2PLt9Mj2AhWRQ_EDHaEwC8MQ6AF6BAGEEAI#v=onepage&q&f=false (erişim Mar. 16, 2022).
- [146] A. A. Supçiller ve O. Çapraz, “AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması”, *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonom. ve İstatistik Derg.*, sayı 13, 2011.
- [147] N. Ömürbek ve A. Şimşek, “Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri İle Online Alışveriş Site Seçimi”, *J. Manag. Econ. Res.*, sayı 22, ss. 306–306, Oca. 2014,

doi: 10.11611/JMER214.

- [148] E. Akdeniz, “AHP Yöntemi İle Bir İşletmede En İyi Çalışanın Seçilmesi: BT Sektöründe Bir Organizasyon İncelemesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 2, sayı 2, ss. 61–90, 2018.
- [149] İ. Güngör ve D. B. İşler, “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı İle Otomobil Seçimi”, *ZKÜ Sos. Bilim. Derg.*, c. 1, sayı 2, ss. 21–33, 2005.
- [150] S. Kadioğlu, “Topsis-Çok Kriterli Karar Verme”, Ara. 2012. <https://www.slideshare.net/SelinKadolu/topsisok-kriterli-karar-verme> (erişim Mar. 28, 2022).
- [151] M. Soba ve K. Eren, “TOPSIS Yöntemini Kullanarak Finansal ve Finansal Olmayan Oranlara Göre Performans Değerlendirilmesi, Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama”, *SÜ İİBF Sos. ve Ekon. Araştırmalar Derg.*, sayı 21, ss. 23–40, 2011.
- [152] N. Ömürbek, Y. Makas, ve V. Ömürbek, “AHP Ve TOPSIS Yöntemleri İle Kurumsal Proje Yönetim Yazılımı Seçimi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, sayı 21, ss. 59–83, 2015.
- [153] H. Bircan, G. Demir, ve F. Güvendi, “TOPSIS VE VIKOR Yöntemleriyle İkinci Dil Seçimi *”, *Ulakbilge Sos. Bilim. Derg.*, c. 46, ss. 313–324, 2020, doi: 10.7816/ulakbilge-08-46-08.
- [154] D. Livdumlu, “Mobilya Sektöründe Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Yeni Tasarımlardan En İyisinin Seçilmesi”, 2016. <https://docplayer.biz.tr/203604000-T-c-erciyes-universitesi-bilimsel-arastirma-projeleri-koordinasyon-birimi.html> (erişim Mar. 20, 2022).
- [155] H. M. Arslan, “ELECTRE Ve Maksimum Kapsama Modeli Yöntemleri İle Bilim Merkezlerinin Optimum Tesis Yeri Seçimi”, c. 17, sayı 65, ss. 337–355, 2018, Erişim: Mar. 21, 2022. [Çevrimiçi]. Available at: www.esosder.org.
- [156] M. Yücel ve A. Ulutaş, “Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden ELECTRE Yöntemiyle Malatya’ da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi”, *SÜ İİBF Sos. ve Ekon. Araştırmalar Derg.*, sayı 17, ss. 327–344.
- [157] Ç. Özarı ve E. Demir Erol, “ELECTRE Yöntemi ”. https://www.academia.edu/33281534/ELECTRE_Yöntemi (erişim Mar. 22, 2022).
- [158] P. Çelik ve T. Ustasüleyman, “ELECTRE I Ve PROMETHEE Yöntemleri İle GSM Operatörlerinin Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi”, *Int. J. Econ. Adm. Stud. İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*), sayı 12, 2014.
- [159] A. Alinezhad ve J. Khalili, *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision*

Making (MADM), sayı 277. 2019.

- [160] B. Türkmen ve A. R. Botsalı, “Lojistik Köyü Yer Seçimi ve Türkiye’ de Örnek Bir Uygulama”, Ağ. 30, 2021.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/69643724/30_AGUSTOS_KITAP_I-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653739653&Signature=IqIKG7as~Bg1orq6dJvIwwUD-Yy0-PxG6QluW41~SqgsCq6dj3OChN3ag4iJNkOnDrBPmbD76OJ77FU7z6PiV2UPQgQBgpR9sNB0gi-9l2yEf1jAQ-f8gTJh87zScbzSEmuf6Y4B (erişim May. 28, 2022).



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Adem PAŞ	Fotoğraf
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kocaeli Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri
Programı	

Makale ve Bildiriler