



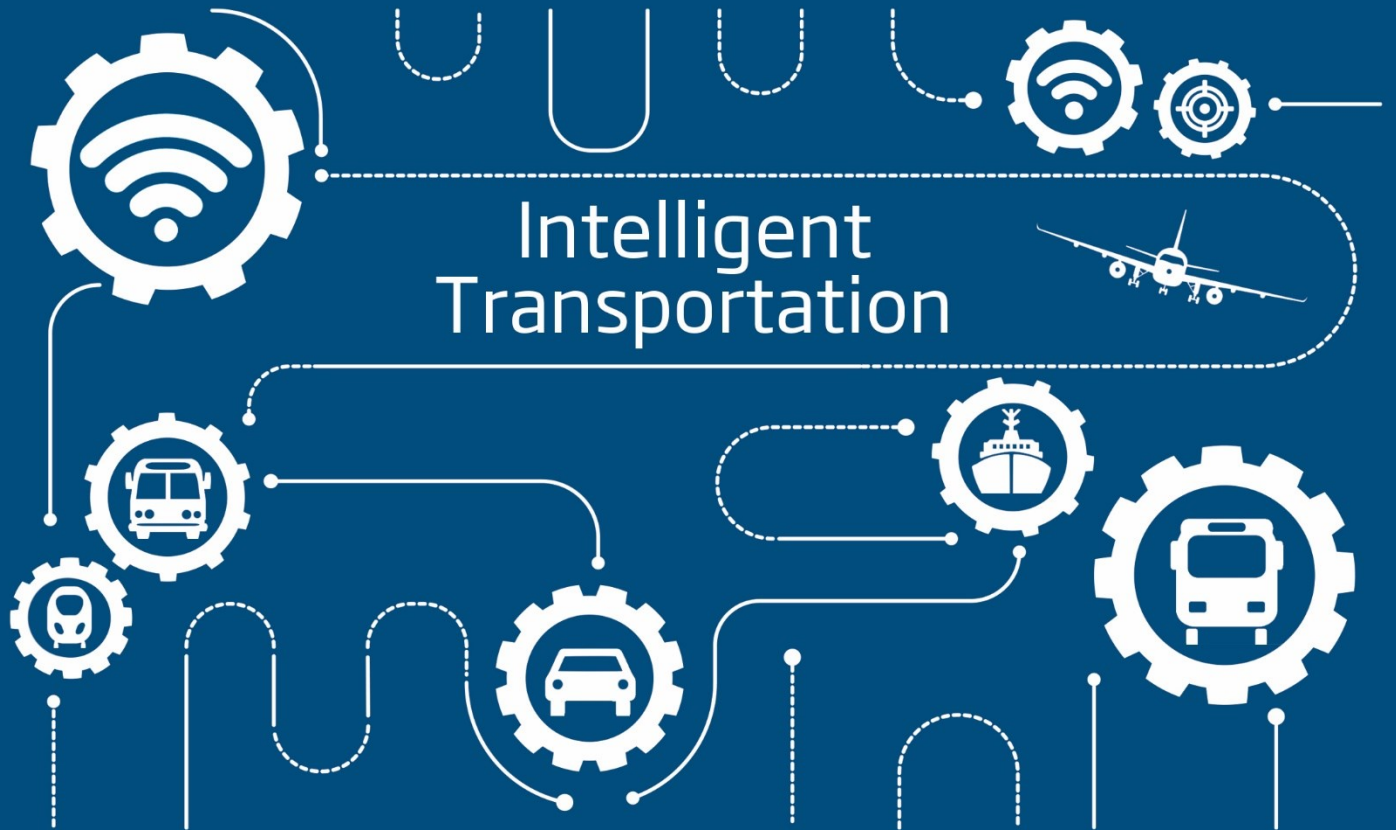
**BANDIRMA  
ONYEDİ EYLÜL  
ÜNİVERSİTESİ**

**AUSUD** | **Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi**  
**JITSA** | Journal of Intelligent Transportation System and Applications

Cilt / Volume: 3

Sayı / Issue: 2

Yıl / Year: 2020



e-ISSN 2636-820X

# AUSUD Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi

## JITSA Journal of Intelligent Transportation System and Applications

ISSN 2636-820X | e-ISSN 2636-820X | Sayı 2 Cilt 3 - 2020

**Sahibi**  
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

**Dergi Yürütücüsü Editör**  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

**Editörler**  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Doç. Dr. Nevzat ÖNAT  
Doç. Dr. Hatice Tuğba YAMAN  
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÇELİK  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ARUCU

**Alan Editörleri**  
Prof. Dr. Serap İNCAZ  
Prof. Dr. Yasın ARSLANOĞLU  
Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU  
Doç. Dr. Necla TEKTAŞ  
Doç. Dr. İlgün GÖKASAR  
Doç. Dr. Abdullah YESİL  
Dr. Öğr. Üyesi Cemal KÖZKURT  
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN  
Dr. Öğr. Üyesi Adem DALCALI  
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÇELİK  
Dr. Öğr. Üyesi Hamza ÖZBAY  
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATIK  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan SAHİN  
Dr. Öğr. Üyesi İlyas ÖZER  
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AGAOĞLU  
Öğr. Gör. Abdullah ELEN

**Yayın ve Danışma Kurulu**  
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)  
Prof. Dr. Alparslan ŞEREL (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)  
Prof. Dr. Fevziullah TEMURTAŞ (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)  
Prof. Dr. Abdulkadir HANCI (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)  
Prof. Dr. Erdoğan KOSE (İstanbul Üniversitesi)  
Prof. Dr. Ergun Sarı VAROL (İstanbul Üniversitesi)  
Prof. Dr. Ferit KACAR (İstanbul Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi)  
Prof. Dr. Othman Behçet ALANKUS (Okan Üniversitesi)  
Prof. Dr. Rafet BOZDOĞAN (Yalova Üniversitesi)  
Prof. Dr. Serap İNCAZ (Niğme Üniversitesi)  
Prof. Dr. Şeref KILIÇ (Anadolu Üniversitesi)  
Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU (ODTÜ) (Türkiye)  
Prof. Dr. Mustafa ELKALI (İstanbul Kültür Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Serdal TERZİ (Süleyman Demirel Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Emre ÖZ (Yıldız Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Hatice TUĞBA YAMAN (ODTÜ)  
Doç. Dr. Mijdat SOYTÜRK (Marmara Üniversitesi)  
Doç. Dr. Nevzat ÖNAT (Marmara Çeşitli Bilimler Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Tarkan ARSLAN (Bursa Uludağ Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Abdullah YESİL (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Gülçin BAKMAYI (Bunlar Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. İlgün GÖKASAR (Boğaziçi Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Meseret NALÇAKAN (Eskişehir Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Murat ERGİN (İTÜ) (Türkiye)  
Doç. Dr. Necla TEKTAŞ (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Assoc. Prof. Dr. Viktor HÄCKER (Graz University of Technology) (Avusturya)  
Dr. Öğr. Üyesi Adem DALCALI (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİREL (Anadolu Bilimler Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇİLOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR (Tatvan Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Gillen KARA (Karadeniz Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AKBEN (Hasan Kalyoncu Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AGAOĞLU (Tatvan Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Melis ALMULA KARADAVI (İstanbul Medipol Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Mutlu AYDIN (Gümüşhane Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Mihir Şimşek (Tatvan Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ARUCU (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Murat AY (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Murat Eray KORKMAZ (Samsun Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Müntaz İPEK (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATIK (Dokuz Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP (Bartın Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATIS (Marmara Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Sıyeyya KOCABEY (Sağlık Bilimleri Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Serif DİLEK (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Yasın SARIKAVAK (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)  
Öğr. Gör. Dr. Cemal ÖCAK (Gazi Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Lee Young Kyun (Director of ITS Korea) (Kore)  
Dr. Evangelos Mitsakis (Hellenic Institute of Transport) (Yunanistan)  
Dr. Ziya ÇAKICI (Bartın Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Ahmet BAĞIŞ (İETT)  
Dr. A. Onur TURKOĞLU (İETT)  
Dr. Kadir KORKMAZ (TUBİTAK-BİLGEM)  
Uzman Hasan TUFAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Türkiye)  
Ander Bülk Erol YANAR (AUSUDER) (Türkiye)  
Öğr. Gör. İhsan AKTAŞ (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)  
Öğr. Gör. Tufan Volkan KÜÇÜK (Bilecik Seydi Edebali Üniversitesi) (Türkiye)  
Öğr. Gör. Yusuf AVŞAR (Tatvan Üniversitesi) (Türkiye)

**Dergi Sekreteryası**  
Asş. Gör. Ümit AYDIN (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)  
Asş. Gör. Serife Gülşah TAÇ (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)

**Mizansaj**  
Asş. Gör. Üstün ATAK (Bandırma Önyedi Eylül Üni.)  
Asş. Gör. Fatih ERGEZER (Bandırma Önyedi Eylül Üni.)

**Ön Kontrol**  
Asş. Gör. Caner PENSE (Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi)

Bandırma Önyedi Eylül Üniversitesi, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi (AUSUD) Editörlüğü, 10200, Bandırma/BALIKESİR  
Web: <http://dergipark.gov.tr/jitsa>  
Telefon: +90 266 717 01 17  
Fax: +90 266 717 01 30  
E-posta: [jitsa@bandirma.edu.tr](mailto:jitsa@bandirma.edu.tr)

Akıllı Ulaşım Sistemleri disiplinler arası bir konu ve uygulamaları sektörler arası olduğundan derginin ismine “Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları” dergisi olarak karar verilmiştir. Dergimiz Mühendislik, Teknik Bilimler, Temel Bilimler ve Sosyal Bilimlerin lojistik, ulaşım, haberleşme ve bilişim alanlarını ilgilendiren yapısıyla bilim dünyasına önemli katkı sağlayacaktır.

Dergide, Türkçe ve İngilizce dillerinde makaleler yayımlanmaktadır. Derginin içerdiği konular sayfanın sağ tarafında Konu Başlıkları–Journal Topics sekmesinde verilmiştir. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen metinlerin, daha önce yayımlanmamış, yayımlanmak üzere kabul edilmemiş ve yayımlanmak için değerlendirilme sürecinde olmaması gerekir. Değerlendirme sürecinde olan ve yayımlanan eserlerin sorumluluğu tümüyle yazar(lar)a aittir. Sayılarımız elektronik olarak yayımlanır. Yayımlanan eserlerin telif hakları Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi'ne aittir. Yayımlanması istenilen çalışmaları dergi yazım kuralları ve yayım ilkelerinde belirtilen koşullara uygun şekilde hazırlanıp gönderilmelidir. Dergiye sunulan makaleler öncelikle şekil ve içerik yönünden ön incelemeye tabi tutulmaktadır. Şekil ve içerik olarak uygun bulunan makaleler hakem tayin edilmek üzere yayım kuruluna sunulmaktadır.

Değerlendirme sürecine geçtikten sonra hakemlik süreci ortalama 3 ile 5 hafta arası sürmektedir. Yayın Kurulu tarafından incelenen makalelere uygun bulunduğu takdirde en az iki hakem atanmaktadır. Hakemlerden gelen raporlar doğrultusunda, makalenin yayımlanmasına, rapor çerçevesinde yazar(lar)dan düzeltme, ek bilgi ve kısaltma istenmesine veya yayımlanmamasına karar verilmektedir. Hakemlerden bir olumlu ve bir olumsuz rapor verilmesi halinde ilgili çalışma Dergi Editörlüğü tarafından uygun görülmesi halinde üçüncü bir hakeme de gönderilmektedir.

### Bu Sayının Hakemleri / Referee Board

- Dr. Öğr. Üyesi Akif KARAFİL (Yalova Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EKER (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Mücahit SOYASLAN (Sakarya Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Rafet DURGUT (Karabük Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Metin Mutlu AYDIN (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Caner ÖZCAN (Karabük Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Emre AVUÇLU (Aksaray Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ULUKAVAK (Harran Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ILICA (Dumlupınar Üniversitesi)
- Dr. Öğr. Üyesi Akif KARAFİL (Yalova Üniversitesi)
- Öğr. Gör. Dr. Cemil OCAK (Gazi Üniversitesi)
- Öğr. Gör. Tufan Volkan KÜÇÜK (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)
- Arş. Gör. Kadir İLERİ (Karabük Üniversitesi)

**İÇİNDEKİLER / CONTENT**

- Toplu Ulaşımında Hizmet Kalitesi: İstanbul'da Yolcu Memnuniyeti Araştırması** ..... 94-111  
Service Quality in Public Transportation: Passenger Satisfaction Survey in İstanbul  
Baranalp Özkan, Selçuk Alp  
Araştırma makalesi
- Elektrikli bisiklet paylaşımı: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi örneği** ..... 112-122  
E-Bike Sharing: Çanakkale Onsekiz Mart University Terzioğlu Campus case study  
Sevcan Turan, Serhat Berat Efe  
Araştırma makalesi
- Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri** ..... 123-139  
Electric Vehicle Charging Methods  
Furkan Said DURMUŞ, Habib KAYMAZ  
Derleme makale
- Trafik işaret levhası tespiti için derin öğrenme yöntemi** ..... 140-157  
A deep learning method for traffic sign detection  
Mert Çetinkaya, Tankut Acarman  
Araştırma makalesi
- Havacılık endüstrisinde kullanılan teknolojilerin dünü, bugünü ve gelecek eğilimleri** ..... 158-167  
Mustafa Şen, Adem Dalcalı, Feyzullah Temurtaş  
Araştırma makalesi
- Coğrafi bilgi sistemleri kapsamında akıllı ulaşım sistemlerinde asimetrik gezgin satıcı problemine R programlama dili TSP, MAPSAPI ve LEAFLET paketleri ile çözüm yaklaşımı** ..... 168-175  
A solution approach to the asymmetric travelling salesperson problem in intelligent transportation systems within the scope of geographical information systems with R programming language TSP, MAPSAPI and LEAFLET packages  
Ufuk Çelik  
Araştırma makalesi

**Elektrikli araçlar: mekanik güç aktarma yapıları, elektrik güç sistemleri ve şarj yaklaşımları** ..... 176-201

M. Erhan Balcı, Fuat Kılıç, Oktay Karakaya, İrem Dağlı

Derleme makale

**Digital dimension of urban transportation: Transpotation 4.0** ..... 202-215

Hatice Gül Önder, Furkan Akdemir

Araştırma makalesi

**Elektrikli bisikletle paylaşımlı hareketlilik: Balıkesir Üniversitesi Kampüsü örneği** ..... 216-226

Shared mobility with electric bicycles: Balıkesir University Campus example

Suat Onur, Serhat Berat Efe

Araştırma makalesi

*Araştırma makalesi*

## **Toplu Ulaşım da Hizmet Kalitesi: İstanbul'da Yolcu Memnuniyeti Araştırması**

Baranalp Özkan<sup>1</sup>, Selçuk Alp<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

\*Correspondence: [alp@yildiz.edu.tr](mailto:alp@yildiz.edu.tr)

**Özet:** İstanbul'da İETT sunmuş olduğu toplu ulaşım hizmetlerinin kalitesini ölçülmesi, iyileştirme gereken alanların belirlenmesi ve geliştirme yapılması için EN 13816 standardı çerçevesinde bir "Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli" oluşturarak uygulamaya koymuştur. Müşteri odaklı hizmet kalitesi yöntemi istenen ve algılanan hizmet kalitesi arasındaki farkı ölçmekte ve memnuniyet ölçümü adını almaktadır. Bu ölçüm anketler yoluyla yapılmaktadır. Bu çalışmada İstanbul toplu ulaşımının bir parçası olan metro sistemini kullanan yolcuların (müşteri) bu hizmetten arzu ettikleri hizmet kalitesi ile algıladıkları hizmet kalitesi arasındaki farkı saptamak ve bu farkın hangi sebeplere dayandığını belirlemek amaçlanmaktadır. Anket yöntemiyle toplanan veriler, istatistiksel analize konu edilmiştir. Toplanan veriler tanımlayıcı istatistik inceleme yanı sıra faktör analizi ve t-testi yöntemleriyle çıkarımsal analize tabi tutulmuştur. Araştırma sonucunda toplu ulaşım hizmetlerinin kalitesinde memnuniyet açısından anlamlı olan faktörler saptanmıştır. Yolcuların demografik özelliklerinin memnuniyet düzeyleri üzerine etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstatistiksel analiz, müşteri memnuniyeti, hizmet kalitesi ölçümü

## **Service Quality in Public Transportation: Passenger Satisfaction Survey in İstanbul**

**Abstract:** In İstanbul, İETT has established a Service Quality Measurement Model within the framework of EN 13816 standard. İETT aims to measure the quality of public transportation services and to identify areas open to improvement. Customer-oriented service quality approach measures the difference between desired and perceived service quality and takes the name of customer satisfaction measurement. İETT is carried this measurement out through surveys. In this study, it is aimed to determine the difference between perceived service quality and expected service quality of the passengers (customers) who are using metro system as a part of İstanbul public transportation and determine the reasons of this gap. The data collected by the İETT customer satisfaction survey were analyzed statistically. These data were subjected to descriptive analysis and inferential analysis by means t-test and factor analysis. As a result of the research, significant factors affecting customer satisfaction in public transportation services were determined. The effects of customer demographics on satisfaction was also investigated.

**Key words:** Statistical analysis, customer satisfaction, service quality measurement

\* Corresponding author. Tel.: +90-212-383-3195

E-mail address: [alp@yildiz.edu.tr](mailto:alp@yildiz.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-6545-4287 (Selçuk Alp)

Received 26 June 2020; accepted 5 Oct 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

## 1. Giriş

Hizmet, elle tutulamayan ve stoklanması mümkün olmayan, ihtiyaç anında ihtiyacın giderilmesine yönelik olarak üretilen veya organize edilen bir faaliyettir. Zaman, yer, biçim, psikolojik gibi açılardan yararlar sağlar. İnsanlar yaşamları süresince değişik biçimlerde, hizmete gereksinim duymaktadır. İnsanlarla doğrudan veya dolaylı ilgili olan her konuda hizmet ile karşılaşılabilir. Grönroos (1984) hizmeti, yapı itibarıyla az ya da çok soyut olan ve müşteri ile hizmet sunucusu personel/fiziksel kaynaklar kullanılarak müşteri sorunlarına çözüm olmak üzere sunulan faaliyetler olarak tanımlamaktadır. Kotler (2003) ise hizmeti, mülkiyet gerektirmeyen soyut bir eylem olarak tanımlamaktadır. Üretildiği anda tüketilen bir iş, faaliyet, performans, fiil veya çaba olarak tanımlanan hizmetin kendine özgü özellikleri olduğu görülmektedir. Bu özellikler soyutluk, heterojenlik, eş zamanlılık ve depolanamama şeklinde sıralanabilir (Murdick vd., 1990).

Müşteriler ve dolayısıyla hizmet sağlayıcı açısından hizmetin kalitesi kritik bir öneme sahiptir. Ürünler somut ise kalite, “istenilen özelliklere uygunluk” şeklinde kolayca tanımlanabilir (Metters vd., 2003). Uygunluğu artırarak ürün kalitesi geliştirilebilir. Hizmet üretiminde ise hizmetin soyut olması ve sahip olduğu ayrıntıların zor öngörülmesi nedeniyle kalite daha zor yükseltilebilir (Parasuraman vd., 1985). Hizmet kalitesinin düzeyi, hizmetin üretilmesi esnasında, hizmeti alan ve sunan arasındaki temas noktasında sağlanan memnuniyetin değerlendirilmesiyle ilgilidir (Fitzsimmons ve Fitzsimmons, 2008).

Hizmet kalitesi, zorunlu ve çekici kalite olmak üzere iki farklı açıdan değerlendirilir. Müşteri beklentilerini karşılayan kısım zorunlu kalite, müşteri beklentilerini aşan kısım ise çekici kalite olarak adlandırılmaktadır (Oral, 2001).

Literatürde, hizmet kalitesinin ölçülüp değerlendirilebilmesi için çeşitli kriterler önerilmiştir. Ortaya konulan bu kriterler hizmet kalitesi boyutları olarak adlandırılmaktadır. Algılanan hizmet kalitesinin çok boyutlu bir yapıya sahip olduğu genel kabul görmekte; ancak hizmet kalitesinin boyutlarının neler olduğu ve boyut sayısı konusunda tartışmalar sürmektedir.

Grönroos'a (1984) göre, teknik ve fonksiyonel olmak üzere kalite boyutu iki tanedir. Rust vd. (1995) hizmet ortamı boyutunu da ekleyerek Grönroos'un iki boyutlu modelini üç boyutlu modele dönüştürmüşlerdir. Parasuraman vd. (1985) ise hizmet kalitesi boyutları konusunda hizmet sektöründe faaliyet gösteren firmalarda yürüttükleri kapsamlı bir çalışma ile müşterilerin hizmet kalitesini değerlendirmek için kullandıkları on kriter (Güvenilirlik, Heveslilik, Yeterlik, Erişim, Nezaket, İletişim, İnanılabilirlik, Güvenlik, Müşteriyi Tanıma-Anlama ve Somut Özellikler) tespit etmişlerdir.

Müşteri, hizmet kalitesi için belirtilen bu 10 belirleyici boyutun yalnızca iki tanesi, yani inanılabilirlik ve somut özellikler hakkında hizmeti satın almadan önce bilgiye sahip olabilir. Güvenlik ve yeterlik boyutlarını ise hizmeti satın aldıktan sonra dahi değerlendirmesi mümkün değildir. Müşteri ancak hizmeti satın aldığı anda veya tükettiğinde geriye kalan altı boyut hakkında bilgiye ulaşabilir. Müşteriler bir hizmete ilişkin kendi geçmiş deneyimleri ve bu hizmeti alan başkalarının değerlendirmeleri sonucu bazı bilgilere sahip olsalar bile hizmeti her satın aldıklarında bu boyutlarla yeniden değerlendirirler. On hizmet boyutunun göreceli ağırlıkları müşterinin kendi algısına göre şekillenmektedir.

Hizmetin sağlanması sürecinde kalite boyutlarının ölçülmesi gereklidir. Müşterinin beklentisi, geçmişteki hizmete ait algısı, önem takdiri, memnuniyet düzeyi ve gelişme talepleri gibi hizmet sağlama sürecinin iç ve dış değişkenleri ölçülmelidir. Çünkü algılanan hizmet kalitesi, müşterinin hizmetten beklentisi ile algıladığı hizmeti karşılaştırması sonucu ortaya çıkmaktadır. Müşteri için beklenen hizmet kalitesi üç farklı etkiyle oluşmaktadır. Bunlar kişiye iletişim yoluyla gelen bilgiler, müşterinin kişisel ihtiyaçları ve geçmiş deneyimleridir. Müşterinin beklentisi algısından yüksek ise hizmet kalitesi düşüktür. Müşteri algısının, müşteri beklentisini sağlaması ya da aşması durumunda ise tatmin edici ya da yüksek hizmet kalitesinden söz edilir. Hizmet kalite ölçümü için birçok farklı model geliştirilmiştir. Geliştirilen ölçüm modellerinden yaygın olarak kullanılanlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1. Hizmet Kalitesi Ölçüm Modelleri**

Yıl	Yazarlar	Model Adı
1984	Grönroos	Teknik ve Fonksiyonel Kalite Modeli
1985	Parasuraman, Zeithaml ve Berry	Boşluk Modeli (Sevqual)
1987	Moore	Kurumsal Hizmet Kalitesi İyileştirme Modeli
1988	Haywood-Farmer	Niteliksel Hizmet Kalite Modeli
1990	Brogowicz, Delene ve Lyth	Hizmet Kalitesinin Sentez Modeli
1992	Cronin ve Taylor	Performans Bazlı Hizmet Kalitesi Modeli (Servpefr)

Tüm büyük şehirlerde olduğu gibi İstanbul ilinde de en kritik hizmet alanlarından birisini toplu ulaşım oluşturmaktadır. Her insanın günlük hayatı içinde ulaşım önemli bir yer tutmaktadır. Toplu ulaşım sektöründe hizmet kalitesi denince, toplu ulaşım hizmeti üreten organizasyonun yolcuları istedikleri yere, en uygun koşullarda ve güvenli olarak ulaştırması anlaşılmalıdır. Toplu ulaşım hizmeti alan kişilerin memnuniyeti hizmet kalitesinin önemli bir göstergesidir. Yolcu (müşteri) memnuniyeti, kalite yönetiminin en temel hedefi, dolayısıyla hizmet kalitesinin belirlenmesinde en temel ölçüttür.

İstanbul'da İETT sunduğu toplu ulaşım hizmetleri kalitesinin ölçülmesi, geliştirme fırsatlarının belirlenmesi ve kalitenin geliştirilmesi için EN 13816 standardı çerçevesinde bir "Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli" oluşturarak uygulamaya koymuştur. Yolcu odaklı hizmet kalitesi yöntemi istenen ve algılanan hizmet kalitesi arasındaki farkı ölçmekte ve memnuniyet ölçümü adını almaktadır. Bu ölçüm anketler yoluyla yapılmaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul toplu ulaşımının bir parçası olan metro sistemi M1 hattını kullanan yolcuların bu hizmetten umdukları hizmet kalitesi ve yolculuk ardından oluşan hizmet kalitesi algısı arasındaki farkı saptamak ve bu farkın nedenlerini dayandığını belirlemektir. İETT tarafından anket yöntemiyle 1044 yolculardan toplanan veriler kullanılarak metro yolcularının genel memnuniyet düzeyi araştırılacaktır. Bu çalışmada ayrıca, metro yolcularının memnuniyetini etkileyen ve EN 13816 standardı kapsamında belirlenen "23 adet hizmet kalite kriterlerinin faktörlere dağıtmak mümkün müdür? Bu faktörler nelerdir?" araştırma sorularına cevap aranacaktır. Veriler, tanımlayıcı istatistik inceleme yanı sıra faktör analizi ve t-testi yöntemleriyle çıkarımsal analize tabi tutulacaktır.

Araştırma sonucunda toplu ulaşım hizmetlerinin kalitesinde yolcuların demografik özelliklerinin memnuniyet düzeyi üzerine etkisi ve memnuniyet açısından anlamlı olan faktörler ve memnuniyet düzeyleri saptanarak yolcu gözüyle M1 metro hattı hizmet sunumu için geliştirmeye açık alanlar belirlenebilecektir.

Çalışma sırasında kurulan hipotezler ve araştırma soruları aşağıda belirtilmiştir.

**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: Kadın ve erkek yolcuların hizmet kalitesine ilişkin genel memnuniyet algıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: 25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcuların hizmet kalitesine ilişkin genel memnuniyet algıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: Yüksek eğitimliler ile diğer eğitim düzeyinde olan yolcuların hizmet kalitesine ilişkin genel memnuniyet algılarında anlamlı istatistiksel fark vardır.

**Araştırma sorusu:** Metro yolcularının memnuniyeti açısından hizmet kalite kriterlerini faktörlere dağıtmak mümkün müdür? Bu faktörler nelerdir?

**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: Kadın ve erkek yolcular arasında oluşan her bir faktör açısından istatistiki olarak anlamlı bir fark vardır.

**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: Yüksek eğitimliler ile diğer eğitim düzeyinde olan yolcular arasında oluşan her bir faktör açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.



**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: Evli ve bekar olan yolcular arasında oluşan her bir faktör açısından istatistiki olarak anlamlı bir fark vardır.

**Araştırma hipotezi:** H<sub>1</sub>: 25 yaş altı ve 25 yaş üstü olan yolcular arasında oluşan her bir faktör açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

## 2. Hizmet kalitesi

### 2.1. Kalite kavramı

Kalite, standartlara ve fonksiyonlara uygun olmak şeklinde ifade edilebilir. Uygunluk tanımlaması kıstaslara (standartlar ve spesifikasyonlar gibi) göre yapılmaktadır. Kalite, belirli kriterler ile tespit edilir. Bu kriterler kullanım amacına göre değişebilir. Öte yandan kalite müşteri ile yakından ilişkilidir. Dolayısıyla kalite, bir malın kullanım amacını karşılama düzeyini ve tüketici zevkini yakalama niteliğini belirler. Kalite algısı tüketicilerin beklentilerine, toplumun kültürel gelişimine, beğeni ve alışkanlıklarına göre yani zamana, mekâna ve kişiye bağlı olarak değişim gösterir.

Sonuç itibariyle kalite, stratejik bir yönetim aracıdır ve müşteri isteklerinin yerine getirilmesine, süreç performansının iyileştirilmesine, maliyetlerin düşürülmesine hizmet eder. Günümüzde işletmelerin amacı müşteri istek, ihtiyaç ve beklentilerini daha iyi anlamak, müşteriye memnun edecek mal/hizmet üretmek ve böylece pazarda rakiplerinden daha iyi konuma ulaşmaktır.

### 2.2. Kalite güvence sistemi

Kalite güvencesinin hedefi tüm işletme fonksiyonlarını aynı amaca yönlendirerek, bir ürün veya hizmetin, müşteri gereksinimlerini tam ve doğru olarak karşılmasını sağlamaktır. Kalite güvencesi, hizmetin/ürünün belirlenen kalite taleplerini yeterli güvenle karşılamak amacıyla yapılması gereken planlı ve sistematik faaliyetlerdir. Belirlenen istekler kullanıcı gereksinimlerini tam olarak karşılamadığı sürece kalite güvencesi sağlanmış olmaz. Kalite güvencesinde başarı sağlanması için üretim tesis ve muayene işlemlerinin doğruluğunun kanıtlanması ve tasarım veya şartnamenin yeterliliğini etkileyen faktörlerin de sürekli değerlendirilmesi gerekir.

Kalite güvencesi bir yönetim aracıdır ve müşteriye güven sağlama yönünden de faydalıdır. Yönetimler kalite güvencesi

görevini devredemezler. Fonksiyonları bütünleştirme işlevini yönetim yürütmelidir. Kalite güvence sistemi, işletme ile müşterilerin yakın ve sıkı işbirliği içinde olmalarını gerektirir. Yeni bir faaliyet başlatmadan önce müşteriden bilgi alınmalı, çalışma bu bilgiye göre planlanmalı ve uygulanmalıdır. Yalnızca muayene ile kalite elde edilemeyeceği gerçeğini gören tüm işletmeler kalite güvencesi ile işletmenin bütün fonksiyonlarının kontrolünü yapmak ve bütünleştirmek yolunu izlemektedir.

### 2.3. Müşteri memnuniyeti

Müşteri memnuniyeti, kalite güvencesi sisteminin en temel ilkelerinden birisini oluşturmaktadır. Dolayısıyla hizmet kalitesinin belirlenmesinde, ölçülmesinde temel ölçüt olarak kullanılmaktadır. Özellikle doksanlı yıllarda artış gösteren rekabetin etkisi altında iken, var olan müşterilerini elinde tutabilen, yenilerini edinerek daha çok müşteriye ulaşabilen işletmelerin rekabette üstünlük sağladığı ve öne geçtiği görülmüştür.

Bir ürün veya hizmet satın alan kuruluş veya kişiler müşteri olarak adlandırılır; ancak, günümüzde müşteri kavramının sınırları genişlemiştir. Artık sadece parayı ödeyip ürün veya hizmet satın alan kişiler müşteri olarak görmekle yetinilmemekte, işletmenin ürettiği mal ve hizmetten her türlü faydayı sağlayan kişiler ve kurumlar da müşteri olarak görülmektedir. Bir işletmede ürün veya hizmet üretimi, pazarlanması, satışı gibi konularda görev yapan bütün çalışanlarına iç müşteri denmektedir. Ürün veya hizmet satın alan kişiler ise dış müşteri olarak adlandırılmaktadır.

Müşteri memnuniyeti; satın alma öncesinde beklediği ve satın alma sonrası bulunduğu arasındaki örtüşme olarak tanımlanabilir. Bu hem beklenti, istek ve taleplerin karşılanmasıyla hem de bunların ötesine geçip müşterilerin beklentisinin ilerisinde şeylerin ürün veya hizmetle sunulmasıyla sağlanabilir. Müşteri memnuniyetini sağlarken özellikle insan unsurunun daha kritik olduğu hizmet sektöründe, personelin beklenti ve ihtiyaçlarını karşılamak, onlara konforlu, sağlıklı ve güvenli çalışma ortamı sağlamak, maddi ve manevi yönden çalışan memnuniyetini elde etmek önem taşımaktadır.

Kalite tanımlarındaki ortak nokta ürünlerin müşterilerin ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılaması ve böylece müşteri memnuniyetinin

sağlanmasıdır. Müşteri ihtiyaçlarının ve beklentilerinin karşılanabilmesi, yani ürünlerin kullanım amacına uygun olabilmesi için üretim sistemine bütüncül bakılmalıdır. İşletmenin tüm faaliyet alanları (pazar araştırması, tasarım, üretim, tesis ve satış sonrası hizmet vb.) bu değerlendirme kapsamında olmalıdır. Çünkü ancak ürün kalitesini etkileyen tüm unsurlar ele alınıp incelenirse ve geliştirilirse müşteri memnuniyetine ulaşılabilir.

#### 2.4. Kalite güvencesi ve standardizasyon

Kalite sağlama ve güvence altında tutma işlemleri geçmişte kalite kontrolü fonksiyonu altında gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise kalite güvence sistemi, toplam kalite yönetimi gibi yeni yaklaşımlar görülmektedir. Ayrıca kalitenin korunması, geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla standardizasyon çabaları ortaya çıkmıştır. Mal ve hizmet üreten sektörler ürün ve yöntem standartlarının yanı sıra önemli bazı sistem standartları ile tanışmıştır. Kalitenin güvenceli biçimde sağlanması ve sürekliliğinin korunmasının bir yönetim işi olduğu, bunun özel çabalarla gerçekleştirilebileceği, diğer bir ifade ile sistemli yürütülmesi gereği anlaşılınca, araştırmacılar sistem modelleri üzerinde bilimsel ve teknik çalışmalara yönelmiştir. Sistem standartları uluslararası kuruluşlar tarafından geliştirilerek, uygulamaya konulmuştur. Bu amaca yönelik ilk sistem standardı ISO 9000: Kalite Güvence Sistemi Standardıdır ve 1987 yılında Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO) tarafından geliştirilmiştir.

ISO-9000 standart ailesi kalite güvencesi sistemine ilişkin standartları içermekte olup ürüne ilişkin değildir. Standart, ürün ayrımı yapmaksızın bir firmada kalite güvencesi sisteminin kurulması, sürekli ve etkin olabilmesi için gerekli asgari koşulları içerir. Böylece kaliteyi etkileyen tüm faktörler kontrol altına alınmaktadır. Bu çerçevede her kuruluş kendi yapısına uygun modeli seçip, kendi sistemine adapte ederek kalite güvencesi sistemini kurabilir. Çağımızın gereği olarak her işyerinde, işyerinin büyüklüğüne bağlı bir Kalite Güvence Sistemi geliştirilmiş, uygulanmış olmalıdır.

Günümüzde ISO 9000 standartlarına, yine kalite güvencesini farklı yönlerden temin etmek üzere çeşitli sistem standartları geliştirilerek uygulamaya sunulmuştur. Bu

sistem standartlarının bir kısmı tüm sektörleri kapsayıcı (ISO 9000 gibi) iken, bazıları sektöre özgü (ISO 22000 gibi) veya belli bir yönetim fonksiyonuna özgü (EN ISO 15838 gibi) nitelik göstermektedir.

### 3. Toplu ulaşımda hizmet kalitesi

Toplu ulaşım, grup ya da birey herkesin yararlanmasına açık, tanımlanmış başlangıç ve varış noktaları arasında bilinen zaman veya sefer sıklığı ile süreklilik esasına göre yürütülen ve belli bir ücreti olan ulaştırma tipidir (ECFS, 2019). Dauby ve Mezghani (2006), yolcuların kendi özel araçlarıyla yaptıkları dışında kalan seyahatlerinde kullandıkları tüm ulaşım sistemlerinin, toplu ulaşım kapsamı içinde olduğunu bildirmektedir.

#### 3.1. Toplu ulaşım ve hizmet kalitesi

Toplu ulaşım sektörü için hizmet kalitesi, kuruluşun yolcularını gitmek istedikleri yere güvenli ve uygun şartlarda ulaştırması demektir. Hizmet kalitesi boyutları, toplu ulaşım hizmeti sunan kuruluşa, toplu ulaşım türüne ve toplu ulaşım sisteminin gelişmişlik düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Ama toplu ulaşım hizmet kalitesinin hız, dakiklik ve düzenlilik şeklindeki üç temel özelliği değişmez (Lombart ve Favre, 1995). Bu özelliklere Atlanta Hızlı Ulaşım İdaresi (MARTA) tarafından temizlik, uygunluk, mekanik güvenilirlik ve güvenlik kriterleri de eklenmektedir (Carnell ve Allen, 2000).

Toplu ulaşımda yolcu ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda değişimler yaşanmıştır. Kuruluşlar kendileri için hizmet standartları oluşturmak yoluyla bu değişimlere cevap vermeye başlamışlardır. Toplu ulaşım hizmet kalitesi, hem akademik çalışmalarda hem de ister kamu ister özel olsun sektör işletmeleri tarafından ele alınmıştır. Bu sektördeki yöneticiler, müşteri (yolcu) odaklı hizmet performansını sürekli iyileştirme amacındadır.

Toplu ulaşım servis kalitesi ve yolcu memnuniyetinin ölçümü için literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler iki sınıfta toplanabilir: İlk sınıfta quadrant ve boşluk analizi, faktör analizi, dağılım grafikleri, iki değişkenli korelasyonlar, kümeleme analizi ve birleşik analiz gibi istatistiksel analiz tekniklerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. İkinci sınıftaki yöntemler ise yapısal eşitlik modeli ve logit modeli gibi

modelleme yaklaşımına dayanmaktadır (Dauby ve Mezghani, 2006).

Toplu ulaşım hizmet kalite düzeyini değerlendirmek için çeşitli kriterler önerilmektedir. Transportation Research Board (1999) tarafından hizmet kalitesi için önerilen sektöre özgü özellikler, güvenilirlik, cevap verebilme derecesi, yetkinlik, erişim, iletişim, inanılabilirlik, güvenlik, anlayış ve somut özellikler olarak sıralanabilir.

American Public Transportation Association (2011), toplu ulaşım sektöründe hizmet kalitesi yönetim sistemi için bir rehber el kitabı yayınlamış; bu sayede ISO 9001 standardı ile uyumlu bir kalite yönetim programı geliştirmeyi ve müşterilere sunulan hizmet kalitesini arttırmayı amaçlamıştır.

### 3.2. Literatür taraması

Toplu ulaşım hizmet kalitesi ile ilgili ulusal ve uluslararası birçok akademik çalışma yapılmıştır. Çalışma sayısı son yıllarda artış göstermektedir. Literatürde raylı sistemler ile ilgili çalışmaların lastik tekerlekli sistemlere göre daha çok olduğu fark edilmektedir. Konuya ilişkin bazı çalışmalar özetlenerek aşağıda verilmiştir.

Eboli ve Mazzula (2012) çalışmasında toplu ulaşım yolcularının arzuladığı kaliteyi belirlemek için bir model geliştirmiş ve böylece yerel işletmecilere yolcuların istekleri hakkında bilgi sağlamayı hedeflemiştir. Bu çalışma, otobüs kullanıcısı olan ve toplu ulaşım potansiyel yolcusu olan kişiler arasından seçilen odak gruplar ile yürütülen bir ankete dayanmaktadır. Bekleme süresi, temizlik ve konfor değişkenleri toplu ulaşım kullanıcılarından yüksek önem puanları almış ancak memnuniyet değerleri kullanıcı kategorisine göre farklılık göstermiştir. Sürücü davranışı, otobüs doluluğu ve yolculuk süresi değişkenlerine genel olarak daha düşük önem puanları verilmiştir. Potansiyel yolcular için ise en önemli hizmet kalitesi unsurları bekleme zamanı, seyahat süresi ve doluluk oranı olarak saptanmıştır. Bu çalışma her yolcu grubunun öncelik ve beklentilerinin farklı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Barabino ve Deiana (2013), İtalya'nın Cagliari kentinde 3.000 otobüs yolcusu üzerinde memnuniyet araştırması yapmışlardır. Çalışmada hizmet kalitesi açıkları analizi için geliştirilmiş Servqual metodu ve çoklu doğrusal

regresyon modelinden yararlanılmıştır. Çalışmayı yapanlar, otobüs işletmecilerine bu yöntemi kullanarak kullanıcı gruplarına göre politika üretmeyi ve kalite seviyesini geliştirmeyi önermişlerdir.

Dell'Olio vd. (2011) toplu ulaşım hizmet kalitesi analizinde yapay sınır ağlarını kullanmışlardır. Çalışmada Madrid kenti otobüs sisteminin 2007 yılı yolcu memnuniyet araştırması verileri kullanılmıştır. Veriler, üç farklı yöntemle analiz edilmiştir. Birbirinden farklı sonuçlara ulaşılmasına rağmen üç yöntemin hepsinde de hizmet kalitesini en çok etkileyen faktörler sefer sıklığı, hız, bilgilendirme ve yakınlık olmuştur.

Toplu ulaşım yolcu algısını ölçmek amacıyla Servperf yöntemi kullanılarak, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi öğrencileri üzerinde Çatı ve Yıldız (2005) tarafından yürütülen araştırma sonucunda; araçlara fazla yolcu alınmaması ve personel davranışlarındaki olumsuzlukların giderilmesiyle hizmet kalitesinin yükseltilebileceği saptanmıştır. Sivas'taki toplu ulaşımın en olumlu yönünün ise fiyatların uygunluğu olduğunu belirlemişlerdir.

Çatı (2003) tarafından yapılan çalışmada, merkezi Sivas olan şehirlerarası otobüs firmalarının sunmuş olduğu hizmetlerin kalitesi Servqual modeli ile ölçülmüş ve firma yolcularının demografik özellikleri, firmalardan beklenti ve algıları, memnuniyet seviyeleri saptanmıştır. Memnuniyet ile demografik özellikler arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Kesten (2008), toplu ulaşım sistemi performansının yolcu odaklı değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmada, Müşteri Odaklı Performans endeksi (MOPEKS) yaklaşımını geliştirmiştir. İstanbul'da kullanımda olan Aksaray-Havalimanı ve Taksim-4. Levent metrosu, Zeytinburnu-Kabataş tramvayı için MOPEKS değerleri bulunmuştur.

İstanbul'daki metro kullanıcıları üzerinde Hemedoğlu (2012) tarafından gerçekleştirilen araştırma, yolcuların, toplu ulaşım hizmetlerine yönelik algıları ile beklentileri arasındaki farkları incelemeye yöneliktir. Araştırmada hizmet kalitesinin değerlendirilmesinde Servqual ölçeği kullanılmıştır. Yolculara göre algı ve beklenti arasındaki farkın en yüksek olduğu kriter "araçların doluluk oranı", farkın

en az olduğu kriter ise "yönlendirme tabelaları ve işaretleri" olduğu anlaşılmıştır.

Binay (2015), İstanbul'da metrobüs sistemi kullanıcıları üzerinde hizmet kalitesi, yolcu tarafından algılanan değer ve yolcu tatmini arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırmaya göre sunulan toplu ulaşım hizmet kalitesi ile yolcuların algıladığı hizmet kalitesinin benzer şekilde artış yönünde gelişmeler kaydettiği saptanmıştır.

Firuzan vd (2012), yolcuların memnuniyet algısının kalitesini sayılar yerine sözel ifade edilmesinin daha uygun olacağını belirterek çalışmalarında bulanık mantık kullanmışlardır. Bulanık Servqual yönteminden yararlanarak İzmir'deki lastikli toplu ulaşım kullanıcılarının memnuniyetini araştırmışlardır. İzmir'de hizmet kalitesinin artırılması için sefer sıklığı, şoför davranışları, bilgilendirme, otobüs kalitesi, aktarma süresi, ücret ve durak kriterleri açısından iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç olduğunu belirlemişlerdir.

Fáskerty vd. (2012) araştırmalarında, ulusal toplu ulaşım şirketlerine yönelen, hizmetlerin yeterli kalite düzeyinde sunulması konusunda genel bir sosyal-politik beklenti olduğu gerçeğinden yola çıkmışlardır. Bu beklentiye cevap verebilmek için uygun kalite kriter sisteminin geliştirilmesi, sürekli iyileştirme ve yolcu memnuniyetini izleyen ve denetleyen kalite güvence sisteminin varlığını temel koşul olarak belirlemişlerdir. Toplu ulaşım ile ilgili standart arka planını araştırmışlar ve ulusal kamu ulaşım şirketlerinin toplu ulaşım kalite güvence sistemi oluşturması için gerekli öneri, rehberlik, genel, idare ve trafik standartlarının mevcut olduğunu belirlemişlerdir.

Kaynarca (2017) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'da İETT tarafından 2012 yılında geliştirilen Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli ele alınmıştır. Belirlenen ana kriterlerin denetim noktası performans puanına etkisi Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile araştırılmıştır.

### 3.3. Toplu ulaşım hizmet kalitesi standardizasyonu

EN 13816 "Transportation - Logistics and services – Public transport – Servis quality of the recipe, objectives and measurement" adını taşıyan standart, Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından 30 Aralık 2001'de onaylanmış ve 2002'de yürürlüğe girmiştir. Bu standart CEN üyesi ülkelerin ulaşım alanında

faaliyet gösteren kurum ve kuruluşların hizmetlerini yolcularına sunarken taşıması gereken hizmet standartlarını tarif etmektedir. 2 Ocak 2014 tarihinde Türk Standartları Enstitüsü tarafından onaylanarak TS EN 13816: 2002 numaralı Türk standardı olmuştur. Toplu ulaşım hizmeti veren kuruluşlarda hizmet kalitesinin tanımlanması, kalite hedeflerinin saptanması, ölçüm sistemlerinin tanımlanması standardın kapsamındadır.

EN 13816 (2002) standardının amacı, ilgili tarafların dikkatinin asıl konulara çekilmesine, sorumlulukların paylaşımı noktasında sağlam ve yerinde kararların alınmasına, müşterilere ve diğer kişilere, alternatif hizmet sağlayıcılarından gelen hizmet kalitesine ilişkin bildirimleri mukayese etme imkânı verilmesine, sürekli iyileştirme sürecine katkıda bulunulmasına imkan tanımak ve böylece toplu ulaşım faaliyetlerine yönelik bir kalite yaklaşımı geliştirmek, müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerini öne çıkarmaktır.

EN 13816 toplu ulaşım yapan kurumların/kuruluşların sundukları hizmet kalitesinin tanımlanması, hedeflerin belirlenmesi ve ölçüm yöntemlerinin seçilmesine yönelik kılavuz bilgileri vererek ulaşım alanında faaliyet gösteren kurum veya kuruluşlara sürdürülebilir bir kalite yönetim sisteminin kurulmasını sağlar.

EN 13816 kalite standardında, kalite kriterleri belirlenirken sunulan hizmete ilişkin müşteri bakış açısını yansıtacak şekilde hareket edilmiştir. Standartta, kalite kriterleri ilk olarak Kademe 1 başlığı altında sekiz ana kriter altında sınıflanmıştır. Bu ana kriterler alt kriterlere dallandırılmıştır. Sekiz ana kalite kriteri aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

- Sağlanabilirlik: Hizmet sunumunun sıklık, süre, coğrafya, ulaşım şekli kapsamı,
- Erişilebilirlik: Toplu ulaşım sistemine öteki ulaşım türleriyle erişim
- Bilgilendirme: Yolculuk planlama, uygulamaya yönelik bilgilerin yolcu ile paylaşımı
- Süre: Seyahat planlaması ve gerçekleştirilmesi ile ilgili zamanlar
- Müşteri Hizmetleri: Standart hizmet kalitesi sunarak yolcu ihtiyacını en yükseğe taşıma

- Konfor: Toplu ulaşımında rahat yolculuk gerçekleştirilmesi
- Güvenlik: Güvenli yolculuğun gerçekleştirilmesi
- Çevresel etkiler: Sunulan toplu ulaşım hizmetinin çevre üzerindeki etkisi

Sağlanabilirlik ve Erişilebilirlik kriterleri toplu ulaşım sistemini genel olarak değerlendirirken, Bilgilendirme, Süre, Müşteri Hizmetleri, Konfor ve Güvenlik kriterleri detayda inceleme olanağı sağlar. Çevresel Etkiler ise tüm sistemin çevresel etkilerini ele alır.

EN 13816 standardında iki çeşit hizmet kalitesi ölçümü beklenmektedir: müşteri odaklı ve hizmet sağlayıcı odaklı. Müşteri odaklı hizmet kalitesinde amaç, istenen ve algılanan hizmet kalitesi farkını belirlemektir. Buna memnuniyet ölçümü denir ve müşteri memnuniyeti araştırması ile yapılır. Hizmet sağlayıcı odaklı hizmet kalitesi ölçmek için hedeflenen ve sağlanan hizmet kaliteleri arasındaki fark kullanılır. Bu yaklaşıma performans ölçümü denir. Performans ölçümü gizli müşteri araştırması ve doğrudan performans ölçümü şeklinde yapılır.

Müşteri memnuniyet anketleri (MMA), müşteri tatminini değerlendirmeye yönelik bir araçtır. Performans ölçüm araçlarından farkına dikkat edilmelidir. MMA, sunulan hizmete ilişkin memnuniyet düzeyini belirlemeyi amaçlar ancak, mutlak bir ölçü olarak değerlendirilmemelidir.

Müşterinin talep ettiği hizmet kalitesi ile memnuniyet ölçümü değeri karşılaştırılabilir. Müşteriye sunulan hizmetin onun ihtiyaçlarını ne derecede karşıladığı müşteri memnuniyeti ile ölçülür. Bu nedenle müşteri beklentilerinin karşılanıp karşılanmadığını ölçmeyen müşteri algısından farklıdır.

Yolculara, yaptıkları yolculuğun en önemli yönleri açısından bağımsız bir şekilde anket uygulanmalıdır. Başlangıçta öncelikle müşteri için en önemli olarak görülen kriterler ele alınmalıdır. Daha sonrasında diğer kriterler de dikkate alınmalıdır. Anket uygulaması, ulaşım ağı üzerindeki tüm hareket noktaları ve tüm kullanıcıları temsil edecek bir örneklem ile yapılmalıdır. Uygulama yolculuk esnasında ya da yolculuk sonrasında yapılabilir. Yolcu için zamanın uygunluğuna ve ön yargıdan uzak

kalmaya önem gösterilmelidir. Anketler düzenli aralıklarla yapılmalıdır.

Müşteri tutumları dışsal etkiye açıktır. Diğer hizmet sağlayıcıların performansı ve diğer ürün ve hizmetler gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu olgu müşteri memnuniyet ölçümlerinin hedef belirleme amacıyla kullanımını zorlaştırır.

## 4. Uygulama

### 4.1. Araştırmanın amacı ve kapsamı

İETT İstanbul'da sunduğu toplu ulaşım hizmetlerinin kalite açısından ölçülmesi, iyileştirme fırsatlarının belirlenip geliştirme yapılması için EN 13816 standardı çerçevesinde bir "Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli" oluşturarak uygulamaya koymuştur (İETT, 2018). Müşteri odaklı hizmet kalitesi yöntemi istenen ve algılanan hizmet kalitesi arasındaki farkı ölçmekte ve memnuniyet ölçümü adını almaktadır. Bu ölçüm anketler yoluyla yapılmaktadır.

Bu çalışmada İstanbul toplu ulaşımının bir parçası olan metro sistemini kullanan yolcuların bu hizmetten beledikleri hizmet kalitesi ile algıladıkları hizmet kalitesi arasındaki farkı saptamak ve bu farkın hangi sebeplere dayandığını belirlemek amaçlanmaktadır. Anket yöntemiyle veriler tanımlayıcı istatistik inceleme yanı sıra faktör analizi ve t-testi yöntemleriyle çıkarımsal analize tabi tutulmuştur.

Bu araştırma İstanbul ilinde toplu ulaşım olanaklarından biri olan metroya ilişkin gerçekleştirilmiş olan anket çalışmasına dayanmaktadır.

### 4.2. İETT ve toplu ulaşımında kalite

İstanbul ilinde kentçinde toplu ulaşım raylı sistem, karayolu ve denizyolu ile gerçekleştirilmektedir. Coğrafi yapı ve alt yapı maliyetleri nedeniyle İstanbul'da karayolu ulaşım, raylı sistem ve denizyoluna kıyasla daha çok tercih edilmektedir. İstanbul'da toplu ulaşımın %77'si karayolu, %18'ü raylı sistem, %5'si ise denizyolu ile yapılmaktadır (İETT, 2019).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı bir kamu kurumu olan İETT (İstanbul Elektrik, Tramvay ve Tünel İşletmeleri Genel Müdürlüğü) İstanbul'da otobüs, metrobüs, nostaljik tramvay ve tünel ile kent içi toplu ulaşım hizmeti sunmaktadır. İETT karayolu

toplu ulaşımının hizmetin %38'ini sağlamakta, toplam toplu ulaşımındaki payı ise %29 'u bulmaktadır (İETT, 2019a).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım AŞ Kalite ve Kurumsal Gelişim Müdürlüğü bünyesinde raylı sistemlerde yolcu memnuniyeti düzeylerinin belirlenmesine yönelik bir anket ve analiz çalışmasını ilk olarak 2005 yılında yapmıştır (Ulaşım AŞ, 2019; İETT, 2015). Araştırma, yolculardan alınan geri beslemeleri dikkate alarak sunulan hizmetlerin iyileştirilmesini amaçlamaktadır.

İstanbul'da karayolu ve raylı toplu ulaşım sistemini yöneten İETT sunduğu hizmetlerin, dolayısıyla ilgili operasyonların performansını ölçmek, iyileştirme fırsatlarını saptamak ve geliştirmek için 2012 yılında Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli (HKÖM) uygulamaya karar vermiştir (İETT, 2016). Bu karar sonucunda HKÖM oluşturularak, EN 13816 standardına uygun olarak toplu ulaşımında hizmet kalitesi belirlenmiş kriterlere göre ölçülüp izlenmektedir. İETT'nin EN 13816 standardının belirttiği kriterler arasından seçerek ölçümüne karar verdiği tüm kriterler Tabla 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** İETT tarafından HKÖM için seçilen kriterler

Erişilebilirlik	Biletleme	Ulaşım Ağı Üzerinde Tedarik
Bilgilendirme	Genel Bilgilendirme	Sağlanabilirlik Hk.
		Erişilebilirlik Hk.
		Bilgi Kaynakları Hk.
		Müşteri Hizmetleri Hk.
		Güvenlik H.
	Seyahat Bilgilendirmesi (Olağan Koşullar)	Cadde İstikametleri
		Bindirme/İndirme Noktası Belirleme
		Güzergâh Hk.
		Ücret Hk.
	Seyahat Bilgilendirmesi (Olağandışı Koşullar)	Bilet Türü Hk.
		Mevcut Alternatifler Hk.
		Öneri ve Şikayetler Hk.
Süre	Tarifeye Uyum	Kayıp Eşyalar Hk.
		Dakiklik
Müşteri Hizmetleri	Taahhüt (Sorumluluk)	Düzenlilik
		Müşteri Odaklılık
	Personel	Ticari Tutum
Konfor	Oturma Yerleri ve Kişisel Alan	Görünüm
		Bindirme/İndirme Noktalarında
	Biniş Konforu	
	Ortam Koşulları	Temizlik
Güvenlik	Suçtan Uzak Olma (Suçları Önleyici Tedbirler)	Mobilya Tasarımı
		Aydınlatma
		Görünür Denetim
	Güvenlik Personel/Polis Mevcudiyeti	
Çevresel Etkiler	Kirlilik	-
		Gürültü

### 4.3. Araştırmada kullanılan anket

Camran (1990), Servqual ölçeğindeki ifadelerin hizmet türüne uyarlanması gerektiğini, hizmet kalitesi boyutlarının hizmet türüne göre değişiklik gösterdiğini belirtmiştir. Araştırmada 21 değişkene ait ifadeler toplu ulaşımına adapte

edilmiştir. 2001 yılında European Committee For Standardization tarafından yayınlanan "EN 13816 Toplu Taşımacılıkta Hizmet Kalitesi Standardı" esas alınarak bir anket oluşturulmuştur.

Araştırma anketi dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde araştırmaya katılanların istasyon bilgisi, bilet kullanımı, ikinci bölümde metro kullanımı hakkında (binış, varış yeri bilgisi ile kullanım amaç ve sıklığı gibi) sorular yer almakta; üçüncü bölümde yolcuların memnuniyet düzeyleri ve memnuniyetsizlik sebepleri sorulmaktadır. Memnuniyet başlığı altında EN13816 uyarınca belirlenen 23 adet toplu ulaşım hizmet kalitesi kriteri yolcular tarafından altılı Likert ölçeği kullanılarak "6-Çok memnunum", "5-Memnununum", "4-Biraz memnunum", "3-Pek memnun değilim", "2-Memnunun değilim", "1-Kesinlikle memnun değilim" şeklinde değerlendirilmiştir. Hizmet kalitesi kriterleri yine yolcular tarafından değerlendirilmiştir. Her yolcu 23 kriter içinde kendisi için önemli beş kriteri belirleyerek önem sırasına dizmiştir. Anketin son bölümünde ise yolculara ait yaş, medeni durum, meslek, gelir durumu gibi demografik bilgiler yer almaktadır. Anket toplam 31 sorudan oluşmaktadır.

#### 4.4. Örneklem süreci ve örneklem

Bu araştırma İstanbul'da metro hattını kullanan yolculara yöneliktir. Bu ana kütle içerisinde rassal örneklem yöntemiyle ulaşılan farklı yaş, cinsiyet, meslek ve eğitim düzeyinden 1044 yolcu araştırmaya katılmıştır. Doğru bir örneklem seçebilmek için örneklerin haftanın farklı günleri ve günün farklı zaman dilimlerinden seçilmesine özel önem verilmiştir. M1 metro hattına ilişkin araştırmada çok aşamalı tabakalı örneklem yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada, istasyonlardaki yolcu girişleri, kullanılan bilet türleri, günler (Hafta içi, Cumartesi, Pazar), zaman dilimi ((07:00-08:59) yoğun sabah, (09:00-11:59) normal sabah, (12:00-15:59) öğle, (16:00-19:59) yoğun akşam, (20:30-00:00) normal akşam) dikkate alınmıştır.

#### 4.5. Araştırma sonuçları

İstanbul'da İETT sunduğu toplu ulaşım hizmetlerinin kalite açısından ölçülmesi, iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi ve geliştirme için EN 13816 standardı çerçevesinde bir "Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli" oluşturarak uygulamaya koymuştur. Müşteri odaklı hizmet kalitesi yöntemi istenen ve algılanan hizmet kalitesi arasındaki farkı ölçmeye yöneliktir.

Bu çalışmada İstanbul toplu ulaşımının bir parçası olan metro sistemini kullanan yolcuların bu hizmete ilişkin beklemedikleri ve algıladıkları hizmet kalitesi farkını saptamak ve bu farkın hangi sebeplere dayandığını belirlemek amaçlanmaktadır.

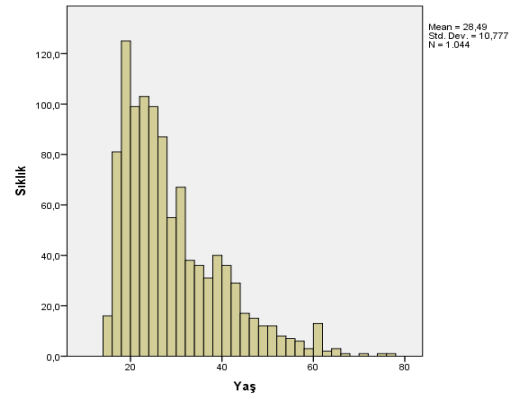
##### 4.5.1. Yolcu özellikleri

Örneklem dâhil olan yolculara ait bazı demografik özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Örneklem kitlesinin büyük bir kısmını eğitim durumu açısından lise mezunu, üniversite mezunu ve üniversite öğrencilerinin oluşturduğu görülmektedir.

**Tablo 3. Yolcuların Demografik Özellikleri**

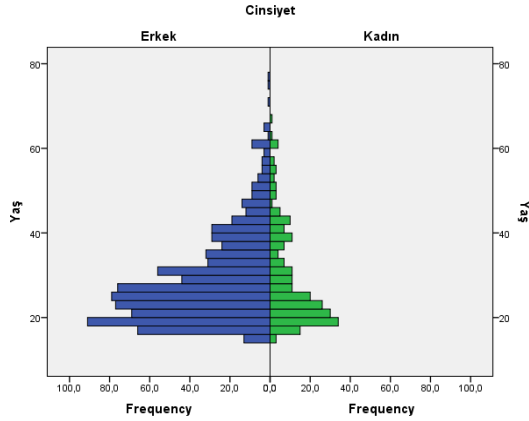
	Frekans	Yüzde (%)
<b>Cinsiyet</b>		
Erkek	812	77,78
Kadın	232	22,22
<b>Eğitim Durumu</b>		
Lise Mezunu	245	23,47
Üniversite Mezunu	220	21,07
Üniversite Öğrencisi	173	16,57
İlköğretim Mezunu	119	11,40
Lise Öğrencisi	104	9,96
İlkokul Mezunu	98	9,39
Lisansüstü Mezunu	43	4,12
Önlisans Mezunu	33	3,14
Okuryazar Değil	7	0,67
Okuryazar	2	0,19
<b>Toplam</b>	<b>1044</b>	<b>100</b>

Araştırmaya katılan yolcuların yaşı, ortalaması 28,49 standart sapması 10,78 olan bir dağılım göstermektedir (Şekil 1).



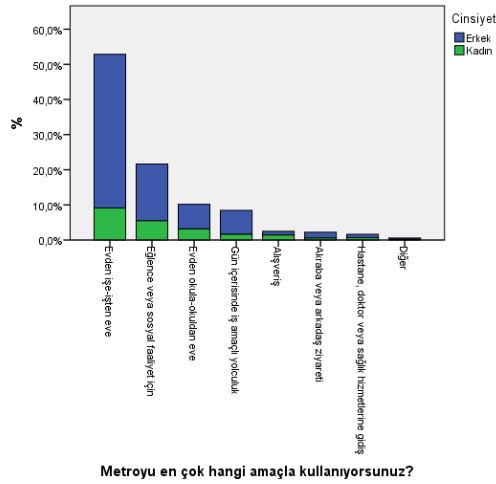
**Şekil 1. Yaş dağılımı**

Metroyu gençlerin daha yoğun kullandıkları kadın ve erkek açısından durumun benzerliği Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Cinsiyete göre yaş dağılımı

İstanbul’da yolcular M1 metro hattını %53’ü ev ile iş arasındaki ulaşımında, % 21’i ise eğlence veya sosyal amaçlı ulaşım ihtiyacında metrodan yararlandığı belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Metro kullanma nedenleri

Yolcuların yaklaşık %45’i metrodan haftada 9-10 kez yararlandığını ifade etmektedir. haftada 11-15 kez ve 16-20 kez metro kullanımı yapanların toplamı ise yaklaşık %23 kadardır.

Tablo 4. Genel memnuniyet testi

Grup	N	Ortalama	Std. Sapma	t	df	p
Erkek	812	4,95	1,038	0,48	104	0,627
Kadın	232	4,91	0,968	6	2	

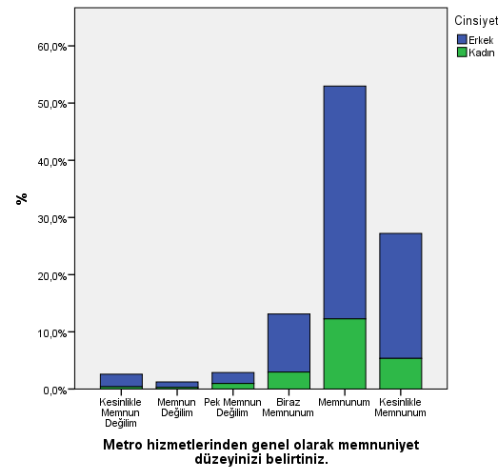
Erkek yolcuların genel memnuniyet ortalamasının 4,95 ve standart sapmasının 1,036 kadınlarda ise ortalamasının 4,91 standart

Böylece yolcuların üçte ikisinin metroyu sık (haftada 9-20 kez) kullandığı saptanmıştır.

#### 4.5.2. Yolcu memnuniyeti

Yolcuların genel bir görüşünü almak amacıyla “Metro hizmetlerinden genel olarak memnuniyet düzeyinizi belirtiniz.” sorusu yöneltilmiş ve altılı Likert ölçeği kullanılarak "6-Çok memnunum", "5-Memnunum", "4-Biraz memnunum", "3-Pek memnun değilim", "2-Memnun değilim", "1-Kesinlikle memnun değilim" şeklinde değerlendirilmiştir.

Genel memnuniyet algısının yüksek (4,94) bir düzeyde olduğu ve kadın ve erkekler için benzer bir dağılımın olduğu Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Memnuniyet düzeyi

**Araştırma Sorusu:** Kadın ve erkek yolcuların M1 metro hattı hizmet kalitesine yönelik genel memnuniyet algıları birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: Kadın ve erkek yolcuların hizmet kalitesine yönelik genel memnuniyet algıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Metro hizmetlerinden genel memnuniyet ortalaması açısından cinsiyetler arası fark iddiası t-testi ile araştırılmıştır (Tablo 4).

sapmanın 0,968 olduğu, kadınlarda memnuniyet seviyesi ortalaması ve standart sapmasının da daha düşük olduğu; ancak



anamlılık düzeyinin 0,720 hesaplanması ve 0,05 den büyük olması nedeniyle kadın ve erkek yolcuların genel memnuniyet ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir.

**Araştırma Sorusu:** 25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcuların M1 metro hattı hizmet kalitesine yönelik genel memnuniyet algıları birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: 25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcuların hizmet kalitesine yönelik genel memnuniyet algıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Metro hizmetlerinden genel memnuniyet ortalaması açısından 25 yaş altı ve 25 yaş üstü arasında fark olduğu iddiası çift kuyruk t-testi ile araştırılmıştır (Tablo 5).

**Tablo 5.** Yaş açısından memnuniyet testi

Grup	N	Ortalama	Std. Sapma	t	df	p
Yaş $\geq$ 25	571	5,00	1,003	1,941	1042	0,044
Yaş<25	743	4,88	1,039			

25 yaş üstü yolcuların genel memnuniyet ortalamasının 4,88 ve standart sapmasının 1,039 25 yaş altında ise ortalamasının 5,00 standart sapmanın 1,003 olduğu, 25 yaş üstünde memnuniyet seviyesi ortalamasının daha düşük olduğu; anlamlılık düzeyinin 0,044 hesaplanması ve 0,05 den küçük olması nedeniyle 25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcuların genel memnuniyet ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu, 25 yaş üstü yolcuların genel memnuniyet algısının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

**Araştırma Sorusu:** Yüksek eğitimliler ile daha alt eğitim düzeyinde olan yolcuların M1 metro hattı hizmet kalitesine yönelik genel memnuniyet algıları birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: Yüksek eğitimliler ile diğer eğitim düzeyinde olan yolcuların hizmet kalitesine yönelik genel memnuniyet algıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Yüksek eğitimliler ile daha alt eğitim düzeyinde olan yolcuların metro hizmetlerinden genel memnuniyet ortalaması farklıdır iddiası çift kuyruk t-testi ile araştırılmıştır (Tablo 6).

**Tablo 6.** Yaş açısından memnuniyet testi

Grup	N	Ortalama	Std. Sapma	t	df	p
Yüksek Öğretim	436	4,84	1,093	-	104	0,006
Diğer	608	5,02	0,959	2,74	2	

Lisans ve üzeri yüksek eğitimli yolcuların genel memnuniyet ortalamasının 4,84 ve standart sapmasının 1,093, diğer eğitim düzeyinde olanların ise ortalamasının 5,02 standart sapmanın 0,959 olduğu, yüksek eğitimlilerde memnuniyet seviyesi ortalamasının daha düşük olduğu; anlamlılık düzeyinin 0,006 hesaplanması ve 0,05'den küçük olması nedeniyle eğitim düzeyine göre yolcuların genel memnuniyet ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu, üniversite ve üzeri yüksek eğitimli yolcuların

genel memnuniyet algısının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

#### 4.5.3. Faktör analizi

Çalışmaya katılan metro yolcularının memnuniyetine ilişkin anket çalışmasında yer alan 23 adet soru, faktör analizi yoluyla daha az sayıda ve anlamlı faktörlere indirgemek hedeflenmektedir. Ankette yer alan memnuniyet ile ilgili 23 soruya ait güvenilirlik testi yapılarak Cronbach's Alpha değeri 0,913 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,70 üzerinde

olduğuna göre anket uygulamasının güvenilirlik değerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Öncelikle faktör analizi yönteminin uygulanabilirliği, yani veri setinin faktör analizi ile ele alınmasının uygunluğu Kaiser Meyer Olkin Ölçüsü (KMO) kullanılarak değerlendirilmiştir. İnceleme sonucuna göre KMO değeri 0.933 olarak bulunmuştur. Elde edilen  $0.933 > 0,50$  olduğu ve ayrıca Bartlett testi anlamlı (Sig.=0.00) olduğu için veri setinin faktör analizi ile ele alınmasının uygun olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Bu çalışmada oluşturulacak faktör sayısının belirlenmesi için özdeğer istatistiği (eigenvalue) kullanılmıştır. Hesaplanan özdeğerlerin 1'den büyük olan faktörler açısından anlamlı olarak değerlendirilir.

Özdeğer istatistiği (eigenvalue) 1'den büyük olan 5 faktör olduğu belirlenmiştir. Bu durumda 23 değişken, 5 faktöre indirgenebilir. Ulaşılan bu 5 faktör değişkenliğin % 56,252'sini açıkladığı belirlenmiştir. Araştırmada ele alınan 23 kriterin bu faktörler içindeki dağılımı Tablo 7'de gösterilmektedir.

Faktörlerin adlandırılmasında, o faktörün altında büyük ağırlık gösteren değişkenler dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımla ve EN 13816 standartlarındaki kriter adlandırmalarını da gözetererek memnuniyeti ölçmeye ilişkin 23 değişken, Planlama (Süre), İstasyon Hizmetleri, Bilgilendirme, Erişim ve Araç Konforu, İşleyiş (Sağlanabilirlik), Güvenlik başlıkları altında 5 faktöre indirgenmiştir (Tablo 7).

**Tablo 7. Kriterlerin faktörlere dağılımı**

<b>FAKTÖR 1: Planlama (Süre), İstasyon Hizmetleri</b>
1. Metro aracını bekleme süresi
2. İstasyonlara erişim
6. Yolculuk süresi
8. İstasyonların temizliği
9. Araçların sefer tarifelerine uyum
10. İstasyonlarda metro hizmetleriyle ilgili sunulan bilgilendirme hizmetleri
12. Araçların temizliği
14. İstasyonların aydınlatması
<b>FAKTÖR 2: Bilgilendirme</b>
21. Araç içi bilgilendirme hizmetleri (anonslar, uyarılar, güzergah haritası)
22. Seferlerde meydana gelen aksama durumlarında istasyonlarda yapılan bilgilendirme
23. Seferde meydana gelen aksama durumlarında araç içinde yapılan bilgilendirmeler
<b>FAKTÖR 3: Erişim ve Araç Konforu</b>
16. Araçların içindeki havalandırma sistemi (sıcaklık, nem durumu)
17. Yürüyen merdivenler, yürüyen bant ve asansörlerin çalışma durumu
18. Akbil makinelerinin/Jetonmatiklerin çalışma durumu
19. Turnikelerin çalışma durumu
20. İstasyonlardaki konfor seviyesi
<b>FAKTÖR 4: İşleyiş (Sağlanabilirlik)</b>
7. Araçlardaki kalabalık seviyesi (doluluk oranı)
11. Akbil / Jeton satış hizmeti
13. Araçlardaki gürültü ve titreşim seviyesinden
15. Yolculuk ücretinden
<b>FAKTÖR 5: Güvenlik</b>
3. İstasyonlardaki güvenlik seviyesi
4. Araçlardaki güvenlik seviyesi
5. Güvenlik görevlilerinin size karşı tutum ve davranışları

Faktör analizi sonucunda her bir denek için her bir faktörle ilgili bir “Faktör Skoru” hesaplanmıştır. Hesaplanan bu faktör skorları birer değişken olarak analizlerde kullanılabilir (Kalaycı, 2014). İzleyen kısımda faktör skorlarını kullanarak faktörler ile ilgili bazı hipotezler test edilmiştir.

**Araştırma Sorusu:** Faktörlere ait Faktör Skoru açısından kadın ve erkek yolcular birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: Kadın ve erkek yolcular arasında Faktör Skorları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Faktörlere ait Faktör Skoru açısından cinsiyetler arası fark iddiası çift kuyruk t-testi ile araştırılmıştır.

**Tablo 8.** Faktör skorları - cinsiyet

Faktör	t	df	p
Planlama	1,186	1042	0,236
Bilgilendirme	-0,544	1042	0,587
Erişim	2,318	1042	0,021
İşleyiş	1,756	1042	0,079
Güvenlik	-0,604	1042	0,546

Kadın ve erkek yolcular arasında Erişim ve Araç Konforu faktör skoru açısından anlamlı fark (Sig 0,021<0,05) olduğu ve diğer faktör skorları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 8).

**Araştırma Sorusu:** Faktörlere ait Faktör Skoru açısından yüksek eğitilmişler ile daha alt eğitim düzeyinde olan yolcular birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: Yüksek eğitilmişler ile diğer eğitim düzeyinde olan yolcular arasında Faktör Skorları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Faktörlere ait Faktör Skoru açısından alt ve üst eğitim düzeyi arasında fark iddiası çift kuyruk t-testi ile araştırılmıştır.

**Tablo 9.** Faktör skorları – eğitim düzeyi

Faktör	t	df	p
Planlama	-3,035	1042	0,002
Bilgilendirme	-1,470	1042	0,142
Erişim	-1,861	1042	0,063
İşleyiş	-0,135	1042	0,893
Güvenlik	-1,254	1042	0,210

Yüksek eğitilmişler ile diğer eğitim düzeyinde olan yolcular arasında sadece Planlama faktör skoru açısından anlamlı fark (Sig 0,002 < 0,05) olduğu ve diğer dört faktör skoru açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 9).

**Araştırma Sorusu:** Faktörlere ait Faktör Skoru açısından yolcular medeni duruma göre birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: Evli ve bekar olan yolcular arasında Faktör Skorları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Faktörlere ait Faktör Skoru açısından evli ve bekar olanlar arasında fark iddiası çift kuyruk t-testi ile araştırılmıştır.

**Tablo 10.** Faktör skorları – medeni durum

Faktör	t	df	p
Planlama	4,130	1042	0,000
Bilgilendirme	1,081	1042	0,280
Erişim	-0,956	1042	0,339
İşleyiş	1,615	1042	0,107
Güvenlik	-0,285	1042	0,776

Evli yolcular ve bekar yolcular arasında sadece Planlama faktör skoru açısından anlamlı fark (Sig 0,000 < 0,05) olduğu ve diğer dört faktör skoru açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 10).

**Araştırma Sorusu:** Faktörlere ait Faktör Skoru açısından yaş durumuna göre yolcular birbirinden farklı mıdır?

**Araştırma Hipotezi:** H1: 25 yaş altı ve üstü yolcular arasında Faktör Skorları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır.

Faktörlere ait Faktör Skoru açısından 25 yaş altı yolcular arasında fark iddiası çift kuyruk t-testi ile araştırılmıştır.

**Tablo 11.** Faktör skorları – yaş

Faktör	t	df	p
Planlama	2,720	1042	0,007
Bilgilendirme	-1,164	1042	0,244
Erişim	-1,036	1042	0,300
İşleyiş	0,028	1042	0,978
Güvenlik	-0,446	1042	0,656

25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcular arasında Planlama faktör skoru açısından istatistiksel olarak anlamlı fark (Sig 0,007 < 0,05) olduğu

ve diğer dört faktör skoru açısından anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 11).

Ankette metroyu kullanan yolculara 23 kriterden kendisi için önemli olan beş kriteri seçmesi ve bunları önem sırasına göre dizmesi istenmiştir. Her bir kriterin kaç yolcu tarafından 1. tercih, 2. tercih, 3.tercih, 4. tercih ve 5. tercih olduğu Tablo 12’de görülmektedir.

#### 4.5.4. Kriter önem analizi

**Tablo 12. Kriter Tercihleri sayısı**

	1. Tercih	2. Tercih	3. Tercih	4. Tercih	5. Tercih
Kriter1	279	44	34	22	29
Kriter2	107	126	34	29	25
Kriter3	119	59	40	28	21
Kriter4	95	107	44	36	16
Kriter5	56	83	52	28	25
Kriter6	78	134	105	45	35
Kriter7	67	107	115	62	41
Kriter8	31	82	84	72	45
Kriter9	20	30	68	55	48
Kriter10	13	25	52	52	51
Kriter11	32	38	54	58	60
Kriter12	23	43	85	71	56
Kriter13	11	23	53	55	31
Kriter14	2	8	19	46	23
Kriter15	62	74	92	140	107
Kriter16	18	24	42	91	97
Kriter17	6	7	13	42	40
Kriter18	4	8	11	16	35
Kriter19	1	3	5	21	48
Kriter20	10	5	23	47	85
Kriter21	2	3	8	16	45
Kriter22	3	6	2	3	32
Kriter23	2	3	6	6	27

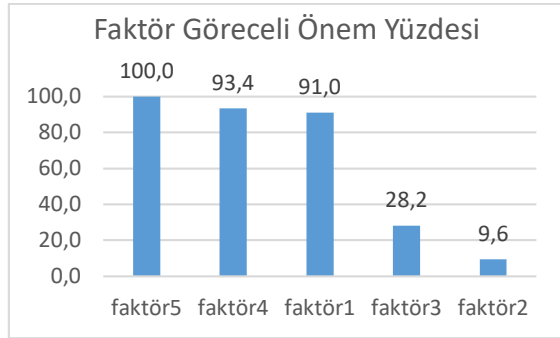
Tercihler ağırlıklandırılarak (birinci tercih 5, ikinci tercih 4, üçüncü tercih 3, dördüncü tercih 2, beşinci tercih 1 ile) her kriter için ağırlıklı önem skoru hesaplanmıştır. Öne çıkan ilk beş kriter ve göreceli önem yüzdeleri Tablo 13’de listelenmiştir.

**Tablo 13. Göreceli önem yüzdesine göre ilk beş kriter**

Kalite Kriteri	Göreceli Önem Yüzdesi
<b>Kriter 1.</b> Metro aracını bekleme süresi	100,00
<b>Kriter 6.</b> Yolculuk süresi	78,06
<b>Kriter 7.</b> Araçlardaki kalabalık seviyesi (doluluk oranı)	72,91
<b>Kriter 15.</b> Yolculuk ücreti	71,88
<b>Kriter 2.</b> İstasyonlara erişim	70,10

En büyük ağırlıklı önem skoruna (Kriter 1) bölerek kriterler için elde edilen göreceli önem yüzdeleri hesaplanmıştır. Yolcu gözünde Kriter 1 (metro aracını bekleme süresi) en yüksek, Kriter 23 (aksama halinde araç içi bilgilendirme) ise en düşük öneme sahip olduğu görülmektedir.

Faktör analizi ile oluşan her faktör için Faktör Önem Skoru, faktörün içinde yer alan kriterlerin ağırlıklı önem skorları ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Beşinci faktöre ait en yüksek ortalama önem skoruna bölerek, beş faktör için göreceli önem yüzdesi elde edilmiş ve Şekil 5’de sunulmuştur.



**Şekil 5.** Faktörlerin göreceli önem yüzdeleri

Şekil 5’de görülen sonuçlara göre en yüksek göreceli önem yüzdesine beşinci faktör olan “güvenlik” sahiptir. İkinci faktör olan “bilgilendirme” ise en düşük göreceli önem yüzdesi elde etmiştir.

### 5. Sonuç ve öneriler

Toplu ulaşım sektöründeki ve genel olarak hizmet sektöründeki gelişmeler, yoğun nüfus ve toplu ulaşım talebi olan İstanbul’da müşteri merkezli hizmet anlayışını toplu ulaşımın en önemli değerlerinden biri haline getirmiştir. Toplu ulaşım sektörünün aktörleri arasındaki rekabet ve ayrıca bireysel otomobil kullanımı ile olan rekabet hizmet kalitesini sürekli geliştirmeye, konfor ve güvenliğe önem vermeye zorlamaktadır. İstanbul’da toplu ulaşımında çok önemli bir yeri olan İETT sunduğu toplu ulaşım hizmetlerinin kalite açısından ölçülmesi, iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi ve geliştirme yapılması için EN 13816 standardı çerçevesinde bir “Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli” oluşturarak uygulamaya koymuştur. 2013 yılından bu yana kendi idaresi altındaki ulaşım türlerinde anketler yoluyla yolcuların memnuniyet düzeyini, yani istenen ve algılanan hizmet kalitesi arasındaki farkı ölçmektedir.

Bu çalışmada İstanbul toplu ulaşımının bir parçası olan M1 metro hattı yolcu memnuniyeti araştırması 2013 yılı verileri (1044 kişi) istatistiksel olarak incelenmiştir. Hattı kullanan yolcuların (müşteri) bu hizmetten memnuniyet düzeylerini farklı demografik özellikler açısından değerlendirmek; demografik özelliklere bağlı olarak genel memnuniyet algısında fark olup olmadığını t-testi kullanarak araştırmak çalışmanın amaçlarından birisidir.

M1 metro hattı yolcularının genel memnuniyet algısı oldukça yüksektir. Örneklem ortalaması genel memnuniyet açısından 4,94 olarak hesaplanmıştır. Kadın ve erkek yolcular genel

memnuniyet açısından benzer bir dağılım göstermektedir. Kadın ve erkek yolcuların genel memnuniyet ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Yapılan araştırma sonucuna göre 25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcuların genel memnuniyet ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. 25 yaş üstü yolcuların genel memnuniyet algısı 25 yaş altı yolcu grubundan daha düşüktür.

Eğitim düzeyi açısından araştırmaya göre yolcuların genel memnuniyet ortalamaları farkı istatistiksel olarak anlamlıdır. Üniversite ve üstü yüksek eğitilmiş yolcuların genel memnuniyet algısı diğer gruba göre daha düşük çıkmıştır.

25 yaş üstü yolcuların ve üniversite ve üzeri yüksek eğitilmiş yolcuların memnuniyet algısını yükseltebilmek için bu grupların beklentilerine özel olarak eğilmek ve bu beklentilere cevap verecek hizmet farklılaşması planlamak gerekmektedir.

Çalışmanın diğer bir amacı katılan metro yolcularının memnuniyetine ilişkin anket çalışmasında yer alan 23 adet soruya altılı likert ölçeğinde verilen cevapları faktör analizi yöntemiyle inceleyerek bu 23 adet değişkeni (kriteri) daha az sayıda ve anlamlı faktörlere indirgemektir. Bu çalışmada oluşturulacak faktör sayısının belirlenmesi için özdeğer istatistiği (eigenvalue) kullanılmıştır. Faktör analizi sonucunda ankette bulunan, memnuniyeti ölçmeye ilişkin 23 değişken 5 faktöre indirgenmiştir. Bu faktörler şöyle adlandırılmıştır: Planlama (Süre) ve İstasyon Hizmetleri, Bilgilendirme, Erişim ve Araç Konforu, İşleyiş (Sağlanabilirlik), Güvenlik”.

Faktör analizi neticesinde her faktör için elde edilen faktör skorlarında demografik özelliklere bağlı olarak anlamlı fark olup olmadığı t-testi kullanılarak araştırılmıştır. Bu analize göre,

- Kadın ve erkek yolcular arasında sadece “Erişim ve Araç Konforu” faktör skoru açısından anlamlı fark olduğu,
- Yüksek eğitilmişler ile diğer eğitim düzeyinde olan yolcular arasında sadece “Planlama (Süre), İstasyon Hizmetleri” faktör skoru açısından anlamlı fark olduğu,
- Evli yolcular ve bekar yolcular arasında sadece “Planlama (Süre), İstasyon

Hizmetleri” faktör skoru açısından anlamlı fark olduğu,

- 25 yaş altı ve 25 yaş üstü yolcular arasında sadece “Planlama (Süre), İstasyon Hizmetleri” faktör skoru açısından fark olduğu saptanmıştır.

Bu sonuçlar çerçevesinde kadın yolcuların “Erişim ve Araç Konforu” beklentilerinin erkek yolculara oranla daha az karşılandığı görülmektedir. Kadın yolcuların beklentileri araştırılıp gerekli düzenlemelerin yapılması uygun olacaktır.

Ayrıca, “Planlama (Süre), İstasyon Hizmetleri” beklentisinin yüksek eğitilmiş yolcular ve görece yaşı büyük olan (evli ve 25 yaş üstü) yolcular açısından daha düşük düzeyde karşılanabildiği ortaya konulmuştur. Benzer şekilde yüksek eğitilmiş, evli ve 25 yaş üstü yolcuların beklentileri araştırılıp gerekli düzenlemelerin yapılması uygun olacaktır.

Ankette metroyu kullanan yolcuların verilen 23 kriterin önemi hakkında yaptıkları değerlendirmelere göre hesaplanan göreceli önem yüzdeleri dikkate alındığında öne çıkan ilk beş kriter “Metro aracını bekleme süresi”, “Yolculuk süresi”, “Araçlardaki kalabalık seviyesi (doluluk oranı)”, “Yolculuk ücreti” ve “İstasyonlara erişim” şeklinde belirlenmiştir.

Tüketiciler, hizmet sağlayıcıdan sefer sıklığının artmasını, yolculukların daha hızlı olmasını ve araçlar daha az kalabalık olmasını talep etmektedir. Hizmet sağlayıcı bu taleplere cevap vermek üzere sefer sıklığını arttırmak, yeni araç ve güzergahları hizmete sokmak ve metro ağını yaygınlaştırıp istasyon erişimini kolaylaştırmak gibi bir dizi faaliyetler gerçekleştirmelidir.

Yolcuların beklediği hizmet kalitesi düzeyi açısından en düşük önemde gördüğü kriterler istasyondaki bilgilendirme araç ve faaliyetleri ile ilgilidir. Bu sonuca göre istasyonlardaki bilgilendirme hizmetlerinin iyi planladığı ve uygulandığı söylenebilir.

Faktör Önem Skorlarının, yolcuların demografik özellikleri açısından farklılık gösterip göstermediği incelenmiştir. Buna göre;

- Planlama faktörünün eğitim düzeyi, medeni durum ve yaş açısından istatistiksel anlamlı fark gösterdiği saptanmıştır. Hizmet sağlayıcı bu faktör yönünden demografik özellikleri gözeterik hizmet farklılaşmasına gitmelidir.

- Erişim ve araç konforu konusunda kadın erkek arasındaki anlamlı fark dikkat çekmektedir. Bu farka ilişkin işletmenin planlar ve uygulamalar gerçekleştirmesi beklenmektedir.

Bu araştırma İstanbul ili ile ve toplu ulaşım türlerinden birisi olan metronun M1 hattı ile sınırlıdır. Bu sınırlamaya rağmen, hizmet kalitesi ölçümü ve değerlendirilmesini hedefleyen araştırma sonuçlarının, toplu ulaşım sektörü yönetimlerine ve bu alanda çalışma yapacak olanlara katkı sağlaması beklenmektedir. Benzer çalışmanın diğer metro hatları ve diğer toplu ulaşım türleri için yapılması da sektör açısından önemli katkı sağlayacaktır.

### Kaynaklar

**American Public Transportation Association** (2011). *APTA Handbook For Implementing A Service Quality Program For Transit Agencies*, Rev. 11.

**Barabino B. ve Deiana E.** (2013). On the Attributes and Influencing Factors of End-users Quality Perceptions in Urban Transport: An Exploratory Analysis, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87,18 – 30.

**Binay N. Y.** (2015). Toplu Taşıma Hizmetlerinde Sunulan Kalite Düzeyinin Belirlenmesi: İETT Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi*, İstanbul

**Camran, J.** (1990), Customer Perceptions of Service Quality: An Assessment of of the SERVQUAL Dimensions, *Journal of Retailing*, 66, 50-51.

**Carnell, D.S. ve Allen, M.M.** (2000). Customer Designed Quality Standards: The Link Between Marta's Performance Excellence System, Strategic Planning And Customer Satisfaction Research, *Rail Transit Conference*, p. 439-442.

**Çatı, K.** (2003), Şehirlerarası Otobüs İşletmelerinde Hizmet Kalitesinin Ölçülmesi ve Bir Uygulama, *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 121-144.

**Çatı, K. ve Yıldız, S.** (2005). Ulaşım Hizmetlerinde Hizmet Kalitesi Ve Bir Uygulama, *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27, 121-134.

**Dauby L. ve Mezghani M.** (2006). Training on Public Transport Basics, *International Association of Public Transport, Brussels*.

**dell'Olio, L., Ibeas, A. ve Cecin, P.** (2011). The Quality Of Service Desired By Public Transport Users, *Transport Policy*, 18, 217–227.

**Eboli, L. ve Mazzula, G.** (2012). Performance Indicators for an Objective Measure of Public Transport Service, *European Transport*, 51, 1-21.

**EN 13816**, (2002), Transportation - Logistics and Services - Public Passenger Transport - Service Quality Definition, Targeting and Measurement, *European Committee for Standardization (CEN)*, Brüksel.

**European Committee For Standardization (ECFS)**, <<https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>> erişim tarihi 02.03.2019.

**Fáskerty, P., Horváth, G., Rixer, A. ve Turi, J.** (2012), The Public Transport Services To Measure The Quality Of Standard Bases, *Acta Technica Jaurinensis*, 5(3), 207-222.

**Firuzan A.R., Alpaykut S. ve Kuvvetli Ü.** (2012). Bulanık Servqual Yaklaşımıyla Toplu Taşımada Kalitenin Ölçülmesi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Güz 2012, Sayı 29. **Ss**

**Fitzsimmons, J.A. ve Fitzsimmons, M.J.** (2008). *Service Management: Operations, Strategy, Information Technology*, Boston: McGraw-Hill/Irwin.

**Grönroos, C.** (1984). A Service Quality Model and Its Marketing Implication, *European Journal of Marketing*, 18(4), 36-44.

**Hemedoğlu, E.** (2012) Metro Hizmetlerinde Hizmet Kalitesini Ölçme: Algılanan Hizmet Kalitesi Ve Beklenen Hizmet Kalitesi Üzerine Bir Karşılaştırma, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 23 (72), 25-47.

**İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü**, (2015), Müşteri Memnuniyeti Araştırması Sonuç Raporu, İstanbul.

**İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü**, (2016), Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli El Kitabı, İstanbul.

**İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü**, (2018), İETT 2017 Faaliyet Raporu,

<http://www.iETT.istanbul/tr/main/pages/istanbul-da-toplu-ulasim/95> Erişim Tarihi: 23.02.2019.

**İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü**, (2019), İstanbul'da Toplu Ulaşım, <http://www.iETT.istanbul/tr/main/pages/istanbul-da-toplu-ulasim/95> Erişim Tarihi: 23.02.2019.

**Kalaycı, Ş.** (2014), *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikler*, Ankara: Asil Yayınları.

**Kaynarca, Ö. A.** (2017), Kentiçi Toplu Taşımada Hizmet Kalitesi Ölçüm Modeli ve Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

**Kesten A.S.** (2008), Toplu Taşıma Sistemlerinde Müşteri Odaklı Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

**Kotler, P.** (2009). *Kotler ve Pazarlama*, (Çev. Özyağcılar, A.), İstanbul: Sistem Yayıncılık.

**Lombart A. ve Favre M.** (1995). Global Quality Of Metros, *51st International UITP Congress*, Paris.

**Metters, R., Metters, K.K. and Pullman, M.** (2003). *Successful Service Operations Management*, USA: South-Western.

**Murdick, R.G., Render, B. and Russel, R.S.** (1990). *Service Operations Management*, Boston: Allyn and Bacon.

**Oral, S.** (2001), *Otel İşletmeciliği ve Otel İşletmelerinde Verimlilik Analizleri*, İzmir: Kanyılmaz Matbaası.

**Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. and Berry, L.L.** (1985). A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research, *The Journal of Marketing*, 49, 41-50.

**Rust, R.T., Zahorik, A.J. ve Keiningham, T.L.** (1995). Return on Quality (ROQ): Making Service Quality Financially Accountable, *The Journal of Marketing*, 59, 58-70.

**Transportation Research Board** (1999). *A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality*, National Academy Press, Washington, D.C.

**Ulaşım AŞ Genel Ağ Sayfası**, (2019). [www.istanbul-ulasim.com.tr](http://www.istanbul-ulasim.com.tr) Erişim Tarihi: 23.02.2019.

*Araştırma Makalesi*

## **Elektrikli bisiklet paylaşımı: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi örneği**

Sevcan Turan<sup>1\*</sup>, Serhat Berat Efe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electric and Energy, Çan Vocational School, Çanakkale Onsekiz Mart University,  
Çan, Turkey

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Science, Bandırma Onyedi  
Eylül Üniversitesi, Bandırma, Turkey

\*Correspondence: [sevcanturan@comu.edu.tr](mailto:sevcanturan@comu.edu.tr)

**Özet:** Kentlerin kalabalıklaşmasıyla yaşamı zorlaştıran trafik yoğunluğu gün geçtikçe artmaktadır. Trafik yoğunluğunu azaltmak, ulaşımı kolaylaştırmak, ulaşım konforunu arttırmak ve kontrol edilebilir trafik yönetimi geliştirmek adına paylaşımlı hareketlilik sistemleri tasarlanıp hayata geçirilmektedir. Bu sistemler kamu kurumları tarafından sunulabildiği gibi özel kuruluşlar tarafından da sunulabilmektedir. Bazı paylaşım sistemlerinde araba, bisiklet, elektrikli mobilet vs. gibi araçlar paylaşılırken, bazı sistemlerde sürüşler paylaşılmaktadır. Araba paylaşımıyla her ne kadar ihtiyaç duyulan araç sayısı düşürülse de araç kullanım oranı hala yüksek olduğu için hava kirliliği konusunda yeterince verim elde edilememektedir. Bu nedenle; enerji tüketiminin ve hava kirliliğinin azaltılması, sağlıklı yaşamın desteklenmesi gibi hedeflerin ön plana çıktığı durumlarda bisiklet paylaşımı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi için elektrikli bisiklet paylaşım sistemi için analiz yapılmıştır. Bu analiz kapsamında öncelikle yerleşkenin topoğrafik özellikleri araştırılmış ve sunulmuştur. Daha sonra sistemde kullanılacak bisikletlerin özellikleri/sayıları, istasyonların özellikleri/sayıları, şarj ünitelerinin özellikleri ve yerleri matematiksel modellerden faydalanılarak belirlenmiştir. Bu aşamada ilgili sistemler için belirlenmiş standartlar referans alınmıştır. Şarj istasyonlarında, doğal kaynakların korunması ve hava kirliliğini önlemeye katkısı olması açısından yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi ile elektrik üretimi sağlanması tavsiye edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tartışılarak kampüs alanlarında paylaşımlı hareketlilik tasarımları için öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Paylaşımlı hareketlilik, elektrikli bisiklet paylaşımı, elektrik enerji sistemleri yenilenebilir enerji, fotovoltaiik sistemler, şarj üniteleri, şehir trafiği yönetimi

## **E-Bike Sharing: Çanakkale Onsekiz Mart University Terzioğlu Campus case study**

**Abstract:** The traffic density, which makes life difficult with the crowding of cities, increases day by day. Shared mobility systems are designed and implemented to reduce traffic density, facilitate transportation, increase transportation comfort, and develop controllable traffic management. These systems can be offered by public institutions as well as private institutions. In some sharing systems, cars, bicycles, scooters etc. such vehicles are shared, while rides are shared in some systems. Although the number of vehicles needed is reduced by car sharing, the efficiency of air pollution cannot be obtained as the vehicle usage rate is still high. Therefore, bicycle sharing is preferred when the goals such as reduction of energy consumption, air pollution and healthy life come to the fore. In this study, an analysis has been made for the electric bike sharing system for Çanakkale Onsekiz Mart University Terzioğlu Campus. Within the scope of this analysis, firstly the topographic features of the campus were researched and presented. Then, the characteristics / numbers of the bicycles to be used in the system, the features / numbers of the stations, the features and locations of the charging units were determined by using mathematical models. At this stage, the standards determined for the relevant systems are taken as reference. In charging stations, it is recommended to generate electricity with solar energy, which is a renewable energy source, in order to protect natural resources and contribute to preventing air



pollution. The results obtained were discussed and suggestions were made for shared mobility designs in campus areas.

**Keywords:** Shared mobility, e-bike sharing, electrical energy systems, renewable energy, photovoltaic systems, charging units, management of urban traffic

## 1. Giriş

Şehir yaşamının kalabalıklaşması ile trafik yoğunluğu, araç park alanlarının yetersizliği, hava kirliliği gibi problemler ortaya çıkmış ve şehir içi ulaşım için yeni çözümlere ihtiyaç duyulmuştur (Castagnari ve diğerleri, 2018). Şehirlerin ulaşım problemine çözüm için paylaşımlı hareketlilik çalışmaları başlamıştır. Bu kapsamda araba, bisiklet, elektrikli mobilet gibi araçların kullanıcılar arasında paylaşıldığı Paylaşımlı Hareketlilik Sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Paylaşımlı hareketlilikte araç paylaşımı temel olarak dört şekilde gerçekleşmektedir:

- Araç sahipleri araçlarını web siteleri veya programlar vasıtasıyla kullanıcılara kiralayabilir ve ödemeyi ilgili program üzerinden alır.
- Bir şirkete ait araç kiralanabilir.
- Aracı bir şirket, araç sahipleri ile müşterileri buluşturup ödemeyi alır, araç sahibine ödeme yapar ve araç, sahibi tarafından kullanılır.
- Büyük araçlarda aynı yöne giden yolcular masrafları paylaşarak seyahat ederler (Santos, 2018).

Günümüzün genç nesli olan Y kuşağının tercihleri, kararları ve beğenileri dünyadaki ürünlerin, hizmetlerin gelişimini ve tarzını belirlemektedir. Ulaşım açısından 2016-2017'de on yedi ülkede yapılan ankete göre Y kuşağının %42'si, ihtiyaç duyduklarında ulaşabilecekleri, daha düşük maliyetli, araç bakım işlemleri gerektirmeyen araç paylaşım sistemlerini tercih etmektedirler (Dewalska-Opitek, 2017).

Teknolojinin gelişmesi, akıllı telefonların yaygınlaşması, mobil uygulamaların gelişmesiyle birlikte paylaşımlı hareketlilik günümüzün popüler konuları arasına girmiştir. Otonom ve akıllı araçların hayatımıza girmeye başlamasıyla birlikte bu alanda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Dia ve Javanshour (2017), Melbourne şehri için otonom arabaların kullanılacağı bir araba paylaşım simülasyonu geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, araç paylaşım sistemiyle birlikte halkın ulaşım ihtiyacını karşılamak için kullanılması gereken araç sayısının, araç park alanı ihtiyacının azalacağı ama araç başına düşen sürüş mesafesinin artacağı rapor edilmiştir. Castagnari ve diğerleri (2018), Tangramob adını verdikleri, şehir içi

ulaşım planlamasında araba/bisiklet paylaşımı, toplu taşıma sistemleri gibi seçeneklerin kullanılmasının etkilerini ölçmek için bir simülasyon ortamı geliştirmişlerdir. Hyland ve Mahmassani (2020), geliştirdikleri simülasyon ile araç paylaşım sistemlerinin hizmet kalitesinin geliştirilmesi ve trafik yoğunluğunun azaltılması için otonom araçların kullanıldığı ve aynı güzergaha gidecek yolcuların sürüşlerini paylaştığı bir sistem önermişlerdir. Bu çalışmada, otonom araçların hayatımıza girmesi ile araç kullanım oranının artacağını, bunun da trafik yoğunluğunu arttıracığını, bunun azaltılması için sürüşlerin paylaşılması gerektiğini vurgulamışlardır. Rijavec ve diğerleri (2020), Slovenya için şehir merkezi ile şehir dışındaki yerleşim alanları arasındaki yolculukların araç paylaşım sistemiyle yapılmasıyla, şehir merkezindeki trafik yoğunluğu ve park sorununa çözüm sunmuşlardır. Çözüm olarak sürüş paylaşım sistemini önermişler ve sistemin daha yaygın kullanılmasını sağlamak amacıyla kişilerin kendi araçlarını park edip paylaşım havuzuna dahil olmalarını sağlayacak istasyonların karayoluna yakın ve iyi konuşlandırılmış olması gerektiğini söylemişlerdir.

Paylaşımlı kullanımlar sayesinde trafik sıkışıklığında, karbondioksit salınımında azalmalar olduğu ve şehir içi ulaşımın daha rahat gerçekleştiği kaydedilmiştir (Santos, 2018) ama kalabalık şehirlerde, araba paylaşımı trafiği tam anlamıyla rahatlatamamakta ve araçların hava kirliliğine etkisi hala önemli boyutta gerçekleşmektedir (Rijavec ve diğerleri, 2020). Temiz bir çevre, trafik yoğunluğundan kurtulmak ve sağlıklı bir yaşam sürmek için insanlar bisiklet kullanmakta ve bisiklet kullanımının yüksek olduğu yerlerde de kişisel bisiklet almak yerine kullanıcılar kiralama yöntemini tercih edebilmektedir (ITDP, 2018). Teknolojinin ve bisikletlerin gelişmesiyle beraber sistem işleyişinin ve takibinin kolaylaşması Bisiklet Paylaşım Sistemlerini (BPS) popüler hale getirmeye başlamıştır (DeMaio, 2009; Chen ve diğerleri, 2020). 4. nesile ulaşmış olan BPS'de bisikletler Küresel Konumlama Sistemi (GPS) modülleri ile takip edilebilmekte, istasyonların doluluk oranları görüntülenebilmekte, kullanıcıların yöneylemleri belirlenebilmekte, bisikletler akıllı kartlar ile kiralanıp otomatik olarak aktif

edilip sürüş sonrasında kilitlenebilmektedir (Meireles ve diğerleri, 2013).

Sürdürülebilir ulaşımın bir parçası olan BPS ile ilgili çeşitli alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Wang ve diğerleri (2020), Almanya'nın Fürstfeldbruck şehri için araba ve bisiklet paylaşımını içeren ve istasyonları üç grupta değerlendiren bir paylaşım sistemi sunmuşlardır. Sezen ve Erben (2019), Gebze Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde paylaşıma açık ama düzensizlikten dolayı verimli kullanılmayan bisikletler için minimum istasyon sayısı ile optimum istasyon yerleşimi için Gams modelleme kullanarak çözüm önerisi sunmuştur. Gutierrez ve diğerleri (2014), Meksika'nın Nezahualcoyotl şehri için BPS tasarlamak amacıyla; istasyon sayısını, ideal bisiklet sayısını, istasyon başına park yeri sayısını tespit eden bir sistem geliştirmişlerdir. Meireles ve diğerleri (2013), elektrikli bisikletlerin paylaşımının başlaması nedeniyle 4. nesil BPS'ye uygun bisiklet tasarımı yapmışlardır.

BPS'ler için problem olan bisiklet istasyonlarının doluluk oranının dengelenmesi ve taleplerin karşılanması konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Kroes ve diğerleri (2020), istasyonlar arasında bisikletlerin dağıtım rotasının bulunması için genetik algoritması kullanarak çözüm oluşturmuşlardır. Almannaa ve diğerleri (2019), istasyonların doluluk oranlarını dengelemek için taşınabilir istasyonlar kullanılan bir sistem için matematiksel model geliştirmişlerdir. Ghosh ve diğerleri (2017), çalışmalarında kullanıcılardan talep geldiği anda istasyonda bisiklet bulunmaması durumunda dinamik olarak boşta olan en ideal bisikletin ilgili istasyona yönlendirilmesi için simülasyon hazırlamıştır.

Literatür taraması, dünyada yükselen bir eğilim olan paylaşımlı hareketlilik bünyesindeki elektrikli bisiklet paylaşımının araştırmacılar tarafından detaylı biçimde çalışılmaya başlandığını göstermiştir. Çalışmaların özellikle tasarım ve modelleme açısından öne çıktığı görülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar bu makalenin temel amacını oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında üniversite yerleşkeleri referans alınarak istasyon tabanlı elektrikli bisiklet paylaşımı için örnek bir sistem tasarımı yapılmıştır. Tasarım beş ana başlık altında şekillendirilmiştir. Bölüm 2'de bisiklet

paylaşımının tarihçesi ile dünyadaki ve ülkemizdeki bazı örneklere yer verilmiştir. Bölüm 3'te Çanakkale ilinin özellikleri, bölüm 4'te ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Terzioğlu yerleşkesi için tasarladığımız elektrikli BPS anlatılmaktadır. Bölüm 5 sonuç ve tartışma bölümüdür.

## 2. Bisiklet paylaşımı

BPS, dünyada ilk kez 1960'lı yıllarda Amsterdam, Hollanda'da denenmiş, bisikletler ücretsiz olarak kullanıma açılmış ve kötü kullanımlar nedeniyle çok kısa zamanda sona erdirilmiştir. Bu sistem birinci nesil olarak adlandırılmaktadır. Sonraki deneme 1990'lı yılların başında Danimarka'da yapılmış ve kullanıcılardan kaynaklanan problemler nedeniyle sonlandırılmıştır. Bisikletlerden ücret alınmaya başlanmış ve istasyonlar kurulmuştur, ikinci nesil olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcı kaynaklı problemleri çözmek için akıllı sistemler kullanılmaya başlanmış, üçüncü nesil BPS ortaya çıkmış ve kiralama akıllı kartlar ile yapılabilmeye başlamıştır. Avrupa'da akıllı sistemlerin kullanılmaya başlamasıyla birlikte bisiklet paylaşımı 2008 yılı itibariyle tekrar popüler olmaya başlamış ve Brezilya, Şili, Çin, Yeni Zelanda, Güney Kore, Tayvan ve Amerika gibi ülkelerde de kullanılmaya başlanmıştır (DeMaio, 2009). Dördüncü nesil BPS'de, bisikletler GPS ile takip edilmekte, elektrikli bisikletler paylaşıma dahil edilmekte, istasyonların durumu takip edilebilmekte ve istasyonsuz sistemler kurulmaktadır (Meireles ve diğerleri, 2013). Yeni paylaşım olanaklarıyla beraber 2018'de Çin'de bisiklet kullanan kişi sayısı 10 milyonun üzerine çıkmış, sadece Pekin'de bu sayı 1,4 milyona ulaşmıştır (Chen ve diğerleri, 2020). Bisiklet paylaşım hizmeti hükümetler/belediyeler, seyahat acenteleri, üniversiteler, kâr amacı gütmeyen kuruluşlar, reklam ajansları ve kâr amacıyla kurulan şirketler tarafından sunulabilmektedir (DeMaio, 2009).

### 2.1. Dünyadaki örnekler

Dünya'nın birçok yerinde BPS'ler bulunmaktadır. En çok bisiklet kullanımı Çin'de gerçekleşmektedir. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP)'nin 2018'de yayınladığı rapora göre Çin'in Hangzhou kentinde yoğun bir şekilde bisiklet kullanılmakta, yerel yönetim ile özel şirketlerin birlikte sunduğu bir BPS'de 2020

yılı itibarıyla bisiklet sayısının 175.000'e çıkarılması hedeflenmektedir. Kuzey Amerika'da istasyonsuz BPS bulunmakta, Latin Amerika'da pedal destekli elektrikli bisikletler kullanılmakta, Hindistan'da akıllı şehir misyonuna bağlı olarak BPS'lerin sayısının artırılması çalışmaları yapılmaktadır. Afrika'da ilk BPS, 2016 yılında Marakeş'teki 10 istasyonlu sistemle başlamış ve 2017 yılında Nairobi üniversitesinin 20 bisikletli sistemiyle yayılmaya devam etmiştir (ITDP, 2018). Barselona (İspanya), Beroun (Çekya), Bilboa (İspanya), Amsterdam (Hollanda), Berlin (Almanya), Adelaide (Avustralya), Basel (İsviçre), Gansu (Çin) gibi birçok şehirde özel şirketler tarafından işletilen ve pedal destekli elektrikli bisikletlerin kullanıldığı BPS'ler bulunmaktadır (Meddin, 2020).

## 2.2. Türkiye'deki Örnekler

**Tablo 1.** Bisiklet paylaşım sistemi olan yerleşim merkezleri ve sistemlerin özellikleri (Bike Share Map, 2020; TÜİK, 2020)

Yerleşim Yeri	Nüfus	Bisiklet Sayısı	İstasyon Sayısı
Çanakkale	542.157	92	18
İstanbul	15.519.267	1500	150
Konya	2.232.374	261	29
Manavgat	241.011	58	6
İzmir	4.367.251	550	40
Kocaeli	1.953.035	500	70
Ordu	754.198	52	18
Nilüfer	465.956	187	21
Antalya	2.511.700	87	9

## 3. Çanakkale ilinin özellikleri

Çanakkale, Güney Marmara'da yer alan, tarihi ve kültürel turizm açısından yerli ve yabancı turistin cazibe merkezi olan bir ilimizdir. 25-35 ve 27-45 doğu boylamları ile 39-30 ve 40-45 kuzey enlemleri arasında yer alır. Çanakkale'ye ait meteorolojik bilgiler Tablo 2'de görülmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan Akıllı Şehirler Beyaz Bültenine göre Ülkemizde İstanbul, Ankara, Konya, Antalya, Bursa, Gaziantep, Kayseri, Kahramanmaraş illeri akıllı şehir kapsamında sayılmakta ve bu kapsamda gerçekleştirilmesi gereken hedefler bulunmaktadır. Bu bağlamda yapılması gereken uygulamalar arasında ulaşımın daha rahat olması ve çevresel etkiler de düşünülerek bisiklet yolları, BPS geliştirilmesi hedefleri öngörülmüştür (Çevre Bakanlığı, 2019).

Ülkemizde BPS'nin bulunduğu bazı yerleşim merkezleri Çanakkale, İstanbul, Konya, Manavgat, İzmir, Kocaeli, Ordu, Nilüfer ve Antalya'dır (Bike Share Map, 2020). Tablo 1'de bisiklet paylaşımında kullanılan bisiklet sayıları ve yerleşim alanlarının nüfus bilgileri (TÜİK, 2020) verilmiştir.

Çanakkale şehir merkezinde bisiklet yolları bulunmaktadır. Cengiz ve Kahvecioğlu (2016), Çanakkale şehir merkezi için rehber niteliğinde, ideal bisiklet yolu güzergahlarını belirledikleri bir çalışma yapmışlardır. Çanakkale şehir merkezinde 2016 yılından bu yana Belediye tarafından işletilen BPS bulunmaktadır.

**Tablo 2.** Çanakkale ili meteorolojik bilgileri (MGM, 2020)

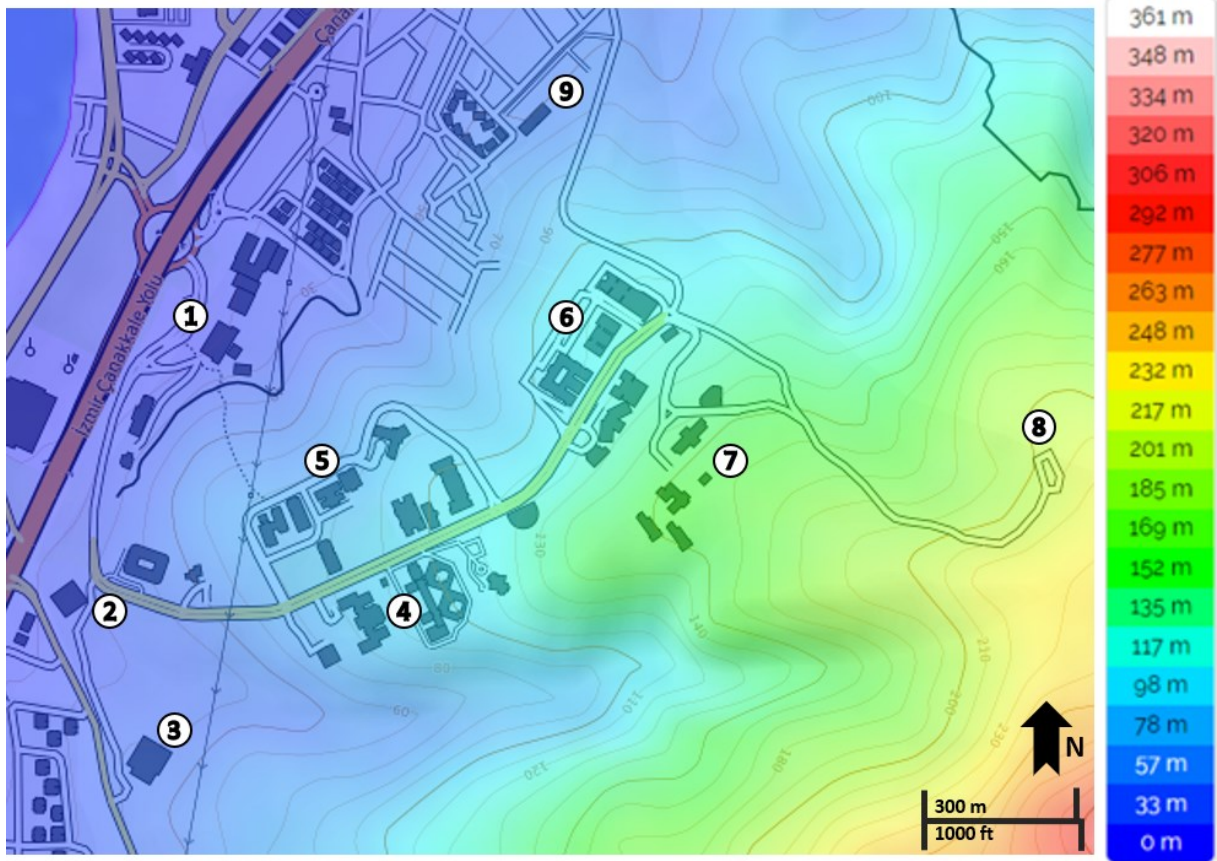
Çanakkale	Aylar (Ocak-Aralık) / Ölçüm Periyodu Yılı (1929-2019)												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık(°C)	6,1	6,6	8,3	12,5	17,5	22,2	25,0	24,9	21,0	16,2	12,0	8,3	15,0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık(°C)	9,5	10,1	12,4	17,2	22,6	27,7	30,6	30,6	26,3	20,7	15,9	11,6	19,6
Ortalama En Düşük Sıcaklık(°C)	3,1	3,3	4,7	8,2	12,6	16,5	19,2	19,5	15,9	12,1	8,5	5,2	10,7
Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)	3,2	4,3	5,3	7,2	9,4	11,0	11,7	11,1	8,9	6,3	4,3	3,1	7,15
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,4	10,4	9,7	7,8	5,6	4,0	1,7	1,3	3,3	6,4	8,9	13,3	6,98

#### 4. Elektrikli bisiklet paylaşımı: ÇOMÜ Terzioğlu Yerleşkesi örneği

##### 4.1. Yerleşkenin topografik yapısı, fakültelerin yerleşimi ve kampüs içi hareketliliğin özellikleri

Yerleşke eğimli bir arazide kuruludur. Ana girişten öğrenci yurtlarının olduğu alana kadar eğim devam etmekte ve yaklaşık 217 metre yüksekliğe çıkmaktadır. Şekil 1’de yerleşkedeki binaların konumları ve arazinin

eğim durumu görünmektedir. Fakülte binaları genel itibariyle ana yolun kenarına konuşlandırılmıştır. Şekil 1’de, kampüs içerisindeki toplu alanlar dokuz temel bölge olarak numaralandırılmış ve bu numaralandırılan yerler aynı zamanda istasyon alanı olarak da belirlenmiştir. Yerleşke içerisindeki bu alanların özellikleri Tablo 3’teki gibidir.



Şekil 1. ÇOMÜ Terzioğlu Yerleşkesi bina konumları-istasyon yerleri ve arazinin eğim durumu

Tablo 3. Fakültelerin yerleşimi ve yaklaşık Çomü öğrencisi sayısı, örgün öğrenim + ikinci öğretim (ÇOMÜ, 2020)

Bölge/ İstasyon Numarası	Binalar	Yaklaşık Öğrenci Sayısı
1	Ana Giriş, Tıp Fakültesi (F.), Tıp Fakültesi Hastanesi	1003
2	Kreş, Restoran, Cami	-
3	Spor Salonu, Seramik Atölyesi	-
4	Ziraat F. Laboratuvar, Fen Edebiyat F., Siyasal Bilgiler F., Öğrenci Sosyal Etkinlik Merkezi (ÖSEM), Konferans Merkezi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi F., Deniz Teknolojileri Meslek Yüksek Okulu (MYO), Amfi Tiyatro, Çanakkale Uygulamalı Bilimler F.	8860

**Tablo 3 (Devamı).** Fakültelerin yerleşimi ve yaklaşık Çomü öğrencisi sayısı, örgün öğrenim + ikinci öğretim (ÇOMÜ, 2020)

5	Rektörlük, Kütüphane, Lisansüstü Enstitüsü, Turizm F., Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik YO, Matbaa, Sağlık Hizmetleri MYO	1072
6	Mühendislik F., Mimarlık ve Tasarım F., Güzel Sanatlar F., İletişim F., Yabancı Diller YO, Sağlık Bilimleri F., Spor Bilimleri F., Beden Eğitimi Spor YO	7526
7	Özel Yurt ve KYK Yurdu	1400
8	KYK Yurdu	2400
9	Çanakkale Teknik ve Sosyal Bilimler MYO	3736

Kampüs hareketliliği genel itibariyle sabah saatlerinde 1 (ana giriş), 7-8 (yurtlar bölgesi), 9 (ikinci giriş) numaralı bölgelerden fakülterle doğru olmaktadır. Öğle yemeği saatinde hareketlilik tüm fakültelerden yemekhanenin bulunduğu 4 numaralı bölgedeki Öğrenci Sosyal Etkinlik Merkezi'ne (ÖSEM) doğru olmaktadır. Gün içerisinde hareketliliğin ana merkezi 4. bölge ve kütüphanenin bulunduğu 5. bölgedir.

#### 4.2. Bisikletlerin özellikleri

Arazinin eğimli olmasından dolayı normal bisikletin kullanımı ilgi görmeyecektir. Bu nedenle, eğimli arazide sürüş rahatlığı sağlamak amaçlı elektrikli bisiklet tercih edilmiştir (He ve diğerleri, 2019). Elektrikli bisikletlerde 250 ile 1000 Watt (W) arasında değişen güce sahip motorlar kullanılabilir ve 1000 W gücün üzerindeki araçların sınıfı değişip elektrikli moped sınıfına girmektedir (Mouli ve diğerleri, 2020). Tasarlanan sistemin, elektrikli bisiklet sınıfında sayılabilecek en üst seviye motor gücünü karşılayabilmesi için hesaplamalar 1000 W'lık motor kullanılan elektrikli bisikletlere göre yapılmıştır. 1000 Watt'lık bir motor için 48 Volt 28 Ampersaat (Ah) lityum bataryaya ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrikli bisikletler ortalama 50 kilometre sürüş mesafesi desteklemektedir. Pilin tam şarj süresi ortalama 5-6 saattir.

#### 4.3. İstasyonların yerleri ve özellikleri

İstasyonların yerleri, bisiklete ihtiyaç duyan kullanıcıların istasyonun etrafına yaklaşık 500 metre mesafede olmasına (ITDP, 2018) ve yerleşke içi genel hareketliliğin akışına göre belirlenmiştir. Özellikle sabah saatlerinde

hareketlilik, Şekil 1'deki haritada belirtilen 1, 7, 8 ve 9 numaralı noktalardan başlamaktadır. 1 ve 9, kampüs etrafındaki yerleşim alanlarında ikamet eden öğrencilerin otobüs beklemek zorunda oldukları yerlerdir. Sabah saatlerinde şehir merkezinden gelen otobüslerin dolu olması buradaki öğrenciler için problem oluşturmaktadır. 7 ve 8, yurttan kalan öğrencilerin otobüs beklemek zorunda kaldıkları yerlerdir. Gün bitiminde, bisikletlerin bir sonraki gün kullanıma hazır olması için 1, 7, 8 ve 9 numaralı bölgelerdeki istasyonlarda bulunması gerekmekte ve bisikletlerin şarj edilmesi için bu istasyonların şarj özelliklerinin olması gerekmektedir.

Bisiklet sayısına karar verilirken, 1000 kişi için 10-30 arası bisiklet kullanımı genel kabulü bulunmaktadır (ITDP, 2018; Wang ve diğerleri, 2020). Tablo 3'te de görüleceği üzere yerleşke içerisinde örgün eğitimde yaklaşık 20000 öğrenci bulunmaktadır. Bu öğrencilerden %90'ının aktif olarak yerleşke içerisinde eğitimde olduğunu varsayarsak, başlangıç olarak 1000 kişi için 10 bisiklet kullanımı seçildiğinde yerleşkede 180 bisiklet kullanılabilir. Bu bisikletlerin yerleşke içerisinde dağılımı aşamasında, yerleşke içerisindeki hareketlilik karakteristiği dikkate alınmıştır. 7 ve 8 numaralı öğrenci yurtlarının bulunduğu bölge 1000 kişi için 20 bisiklet tercih edilmiş olup sırasıyla 30 ve 50 bisiklet buralarda kurulacak istasyonlara yerleştirilecektir. Geriye kalan 100 bisikletin 80'inin sabah saatlerinde girişin en yoğun olduğu ve yığılmaların yaşandığı 1 numaralı giriş kapısında, 20'sinin ise girişin daha az

yaşandığı 9 numaralı giriş kapısında olmasına karar verilmiştir.

İstasyonlardaki park alanı sayısı belirlenirken, genel olarak istasyonda ihtiyaç duyulabilecek bisiklet sayısının 1,5- 2 katı kadar park alanı olması öngörülmektedir (Gutierrez ve diğerleri, 2014). 1, 7, 8 ve 9 numaralı istasyonlarda bisiklet sayısının 1,5 katı kadar park alanı olması tercih edilmiştir. 4, 5 ve 6 numaralı istasyonlarda günün başlangıcında öğrenci

olmayacağı için bisiklet olmayacak sadece park yeri olacaktır. Bu istasyonlarda, park yeri sayısına karar verilirken bölgelerdeki öğrenci sayıları ve hareket yoğunluğu dikkate alınarak olması gereken bisiklet sayısının 1,5 veya 2 katı olarak tercih edilmiştir.

Tablo 4'te, önerilen sistemin istasyon yerleri, istasyonun şarj özelliğine sahip olup olmadığı, günün başlangıcında bisiklet sayısı ve park alanı sayısı gösterilmektedir.

**Tablo 4. Sistemde kullanılacak istasyon bilgileri**

İstasyon Yeri	Şarj Ünitesi Var mı?	Gün Başlangıcında Bisiklet Sayısı	Park Yeri Sayısı
1	Evet	80	120
2	İstasyon yok	-	-
3	İstasyon yok	-	-
4	Hayır	-	90
5	Hayır	-	100
6	Hayır	-	90
7	Evet	30	45
8	Evet	50	75
9	Evet	20	30

#### 4.4. Şarj ünitelerinin yapısı

Şarj özelliği bulunan 1, 7, 8 ve 9 numaralı istasyonlarda güneş paneli destekli şarj üniteleri kullanılacaktır. Aküler yardımıyla güneşli saatlerde üretilen elektrik enerjisi depolanacak, ihtiyaç fazlası üretim ise şehir şebekesine bağlanarak satılabilecektir. Uzun süreli güneşsiz hava koşullarında istasyonların enerjisi şehir şebekesinden karşılanacak şekilde sistem tasarımı yapılmıştır.

Şarj ünitesinde kullanılacak akü ve güneş paneli hesaplamalarının tamamı Özbay ve diğerlerinin (2019) çalışması örnek alınarak yapılmıştır. En kötü ihtimalle her bisikletin günde en az bir kere şarj edilmesi ihtiyacına göre hesaplamalar yapılmıştır. Kullanılması önerilen bisikletin 48 Volt 28Ah bataryaya sahip olması durumunda, bir bisikletin şarj olması için gerekli olan enerji miktarı  $E_B$ , wattaat (wh) cinsinden denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$E_B = V \times I \times t = 48 \times 28 \times 1 = 1344wh \quad (1)$$

$N$ , bisiklet sayısı olmak üzere, şarj istasyonunda ihtiyaç duyulan toplam enerji miktarı  $E_T$ , denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$E_T = E_B \times N \quad (2)$$

Şarj istasyonunda ihtiyaç duyulan akü kapasitesi  $C_B$ , denklem 3 ile hesaplanmıştır.

$$C_B = \frac{E_T}{48} \quad (3)$$

Akülerin gerilim ve akım değerleri sırasıyla 12 Volt ve 200 Ah olursa, seri ( $N_S$ ) ve paralel ( $N_P$ ) bağlanacak akü sayısı sırasıyla denklem 4 ve 5 ile hesaplanmıştır.

$$N_S = \frac{48}{12} = 4 \quad (4)$$

$$N_P = \frac{C_B}{200} \quad (5)$$

$N_P$  değeri ondalık sayı çıkması durumunda gerekli akım değerini sağlamak amacıyla bu değer yukarı yuvarlanarak tamsayı haline getirilmelidir. Bu durumda toplam akü sayısı  $N_T$ , denklem 6 ile hesaplanmıştır.

$$N_T = N_S \times N_P \quad (6)$$

Sistem bileşenlerinin dengesi %85 (Özbay ve diğerleri, 2019) olarak kabul edildiğinde günlük güneş panellerinden elde edilmesi gereken enerji miktarı  $E_G$ , denklem 7 ile hesaplanmıştır.

$$E_G = \frac{E_T}{0,85} \quad (7)$$

Bu çalışmada 265 W'lık panel seçilmiştir. Panelin tozlanması, yıpranması gibi durumlardan dolayı indirgeme faktörü 0,9 (Özbay ve diğerleri, 2019) olarak belirlendiğinde, Çanakkale'de günlük ortalama güneşlenme süresi de 7,15 saat olduğuna göre bir panelin günlük ortalama üreteceği enerji miktarı  $E_p$ , denklem 8 ile hesaplanmıştır.

$$E_p = 265 \times 7,15 \times 0,9 \cong 1705 \text{ wh} \quad (8)$$

Sistemde ihtiyaç duyulan panel sayısı  $P_T$ , denklem 9 ile hesaplanmıştır.

$$P_T = \frac{E_G}{E_p} \quad (9)$$

Sistemde 48 Volt gerilime ihtiyaç duyulduğu ve seçilen güneş panelinin çıkış gerilimi 27,83 Volt olduğu için seri olarak bağlanması gereken panel sayısı 2 ( $P_S$ ) adettir. Paralel bağlanması gereken panel sayısı  $P_P$ , denklem 10 ile hesaplanmıştır.

$$P_P = \frac{P_T}{P_S} \quad (10)$$

$P_P$  değeri, ondalık sayı çıkması durumunda ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayacak panel sayısını elde etmek için yukarı yuvarlanarak tamsayı yapılmalıdır. Formül 1-10 kullanılarak yapılan hesaplamalar doğrultusunda istasyonların durumu Tablo 5'teki gibi olacaktır.

**Tablo 5.** Şarj istasyonlarında kullanılacak akü ve güneş panelleri

İstasyon	Bisiklet sayısı	Gerekli enerji miktarı (wh)	Gerekli akü kapasitesi (Ah)	Akü adedi seri × paralel	Güneş paneli adedi seri × paralel
1	40	107520	2240	4 × 12 = 48	2 × 37 = 74
7	30	40320	840	4 × 5 = 20	2 × 14 = 28
8	50	67200	1400	4 × 7 = 28	2 × 23 = 46
9	10	26880	560	4 × 3 = 12	2 × 9 = 18

#### 4.5. Sistemin işletilmesi

Sistem kurulup kullanılmaya başladığında, gün içerisinde istasyonların doluluk oranları takip edilmeli ve ihtiyaçlara bağlı olarak bisikletler görevliler tarafından istasyonlar arasında dağıtılmalıdır. Özellikle sabah saatlerinde giriş kapıları ve yurtların bulunduğu bölgelerdeki ihtiyaçların giderilmesi gerekebilir. Sistemin kullanım oranlarına bakılarak, verimli kullanılıp kullanılmadığı ölçülmelidir. Bir BPS'nin verimli olup olmadığı iki değerle ölçülmektedir: Bisiklet başına düşen sürüş adedi ve 1000 kişinin ortalama sürüş mesafesi. Günlük olarak, bisiklet başına ortalama 4-8 kere kullanım düşmesi gerektiği ve 4 kullanımın altına düşüldüğünde sistemin finansal olarak sürdürülemez olduğu ifade edilmektedir (ITDP, 2018). 1000 kişi başına sürüş mesafeleri takip edilerek sistemin geleceği, araçların sayıları, park yerlerinin sayıları gibi değerlere karar

verilmelidir. Bu çalışmada sürüş mesafeleri kampüs alanı ile sınırlıdır. Park yerleri ise eğitim ve sosyal alanların dağılımına göre belirlenerek konumlandırılmıştır.

#### 5. Tartışma ve sonuç

Kalabalıklaşan şehir yaşamıyla ortaya çıkan trafik problemlerine çözüm üretilmesi ihtiyacı doğmuştur. Yoğun trafik, vatandaşların ulaşım sıkıntısı yaşamasının yanında hava kirliliğine de sebep olmaktadır. Bu probleme çözüm üretmek amaçlı paylaşımlı hareketlilik çözümleri üretilmeye başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, üniversite kampüsü içerisinde ehliyet gerektirmeyen, çevreye duyarlı ve sağlığa destek sağlayan bisiklet paylaşım sistemi önerilmektedir. ÇOMÜ Terzioğlu kampüs arazisi eğimli olduğu ve klasik bisikletler öğrenciler tarafından tercih



edilmeyeceği için elektrikli bisiklet paylaşım sistemi önerilmektedir.

Çalışmada kampüs yerleşim şekline ve hareketlilik özelliklerine göre istasyonların yerlerine ve özelliklerine karar verilmiş ve buna bağlı olarak şarj istasyonlarının sahip olması gereken akü ve güneş paneli özellikleri hesaplanmıştır. ÇOMÜ’de örgün eğitimdeki yaklaşık 20000 öğrencinin %90’ının aktif olarak yerleşke içerisinde eğitimde olduğunu varsayımına göre ilk etapta, literatürdeki kabullere uygun olarak 1000 kişi için 10 bisiklet kullanımı seçildiğinde, yerleşkede 180 bisikletin bulunmasının uygun olacağı öngörülmüştür. Sistem kurulunun ardından kullanım profiline bağlı olarak bisiklet sayısı arttırılabilecektir. Şarj istasyonları modüler yapıya sahip olduğundan olası bisiklet sayısı artışında paralel sistem bağlanarak kapasite arttırılabilecektir. Bu bisikletlerin yerleşke içerisinde dağılımı aşamasında, yerleşke içerisindeki hareketlilik karakteristiği dikkate alınmıştır. Bu bağlamda özellikle yurt bölgelerinde daha fazla sayıda bisiklet bulundurulması önerilmiştir.

Çalışmanın, üniversite yönetimi ve şehir yöneticilerine rehber olabileceği düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarımız sistemin geliştirilmesi için gerekli optimizasyon çalışmaları, matematiksel modellemeler ile ihtiyaçların belirlenmesi yönünde olacaktır.

### Teşekkür

Yerleşke bilgilerini kullanmamıza izin verdiği için, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlüğü’ne teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

**Almanna, M., Elhenawy, M., Masoud, M., ve Rakha, H.** (2019). A New Mathematical Approach to Solve Bike Share System Station Imbalances Based On Portable Stations. *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, 1721-1726.

**Aydın, M. M., ve Yıldırım, M. S.** (2019). Bisiklet Paylaşım Sistemlerindeki Yolculuk Uzunluğu Üzerinde Etkili Parametrelerin İncelenmesi. *GÜFBED*, 163-172.

**Bike Share Map**, (2020). Bike Share Map: <https://bikesharemap.com/country/turkey/#/6.550421142207759/32.1244/38.9171/> adresinden alındı, erişim tarihi 01.05.2020.

**Castagnari, C., Corradini, F., Angelis, F. D., Berardinis, J. d., Forcina, G., ve Polini, A.** (2018). Tangramob: an agent-based simulation framework for validating urban smart mobility solutions. *Journal of Intelligent Systems* 29, 1188-1201.

**Cengiz, T., ve Kahvecioğlu, C.** (2016). Sürdürülebilir Kent Ulaşımında Bisiklet Kullanımının Çanakkale Kent Merkezi Örneğinde İncelenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2) : 55-66.

**Chen, Z., Lierop, D. v., ve Ettema, D.** (2020). Exploring Dockless Bikeshare Usage: A Case Study of Beijing, China. *Sustainability*.

**Çevre Bakanlığı**, (2019). *Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/akillisehirler/> adresinden alındı, erişim tarihi 20.05.2020

**ÇOMÜ**, (2020). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, <https://ubys.comu.edu.tr/BIP/BusinessIntelligence/Home/Index> adresinden alındı, erişim tarihi 16.09.2020.

**DeMaio, P.** (2009). Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *Journal of Public Transportation*, 12:41-56.

**Dewalska-Opitek, A.** (2017). Generation Y Consumer preferences and mobility choices – an empirical approach. *Transport System Telematics*, 10-1:17-23.

**Dia, H., ve Javanshour, F.** (2017). Autonomous Shared Mobility-On-Demand: Melbourne Pilot Simulation Study. *Transportation Research Procedia*, 22:285-296.

**Ghosh, S., Varakantham, P., Adulyasak, Y., ve Jaillet, P.** (2017). Dynamic Repositioning to Reduce Lost Demand in Bike Sharing Systems. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 58:387-430.

**Gutierrez, J., Torres, J., ve Iniestra, J.** (2014). Dimensioning of a Bike Sharing System (BSS): A study case in Nezahualcoyotl, Mexico. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 253-262.

**He, Y., Song, Z., Liu, Z., ve Sze, N.** (2019). Factors Influencing Electric Bike Share Ridership: Analysis of Park City, Utah. *Transportation Research Record*, 5:12-22.

**Hyland, M., ve Mahmassani, H.** (2020). Operational benefits and challenges of shared-ride automated mobility-on-demand services. *Transportation Research Part A*, 134:251-270.

**ITDP.** (2018). *The Bikeshare Planning Guide*. Institute for Transportation and Development Policy: <https://www.itdp.org/publication/the-bike-share-planning-guide/> adresinden alındı, erişim tarihi 30.04.2020.

**Kroes, J., Manikas, A., ve Gattiker, T.** (2020). Generating efficient rebalancing routes for bikeshare programs using a genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*.

**Meddin.** (2020). The Meddin Bike-sharing World Map. <https://bikesharingworldmap.com/index.php> adresinden alındı, erişim tarihi 28.09.2020.

**Meireles, R., Silva, J., Teixeira, A., ve Ribeiro, B.** (2013). An E.Bike Design for the Fourth Generation Bike-Sharing Services. *World Electric Vehicle Journal*, 6:58-63.

**MGM.** (2020). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=CANAKKALE> adresinden alındı, erişim tarihi 03.05.2020.

**Chandra Mouli, G.R., Van Duijsen, P., Grazian, F., Jamodkar, A., Bauer, P., ve Isabella, O.** (2020). Sustainable E-Bike Charging Station That Enables AC, DC and Wireless Charging from Solar Energy. *Energies* 2020, 13(14), 3549.

**Özbay, H., Efe, S., ve Özer, İ.** (2019). Çiftlik Evleri İçin PV Sistem Tasarımı:Bandırma Örneği. *International Engineering and Natural Sciences Conference(IENSC 2019)* (s. 711). Diyarbakır: Dicle University.

**Rijavec, R., Dadashzadeh, N., Žura, M., ve Marsetic, R.** (2020). Park and Pool Lots' Impact on Promoting Shared Mobility and Carpooling on Highways: The Case of Slovenia. *Sustainability*.

**Santos, G.** (2018). Sustainability and Shared Mobility Models . *Sustainability*.

**Sezen, B., ve Erben, B.** (2019). Sürdürülebilir ulaşımında önemli bir yere sahip olan bisikletin Gams küme kapsama modeli ile konumlandırılması: Gebze Teknik Üniversitesi örneği. *AUSUD*, 2:42 - 56.

**TÜİK.** (2020). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*. Türkiye İstatistik Kurumu: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> adresinden alındı, erişim tarihi 01.05.2020.

**Wang, W., Su, S., Fu, M., Nong, Y., Scriba, T., ve Fadhil, D.** (2020). Research of 3-Tier Mobility Stations System with bike and car sharing– Case study of small-scale city in Germany. *E3S Web of Conferences*.

Derleme makale

## Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri

Furkan Said Durmuş<sup>1</sup>, Habib Kaymaz<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Mercedes Benz Türk AŞ, Otobüs Geliştirme, Esenyurt, Türkiye

\*Correspondence: [habib.kaymaz@daimler.com](mailto:habib.kaymaz@daimler.com)

**Özet:** Elektrikli araç teknolojileri yakın bir geçmişe sahip görünse de yıllardan beri hayatımızda yer almaktadır. Elektrikli araçlar 20. yüzyılın başında büyük bir talep görmüş fakat içten yanmalı araçlar o dönemlerde farklı avantajlar sağladıkları için sayıları giderek azalmış, içten yanmalı araç sayıları çok büyük rakamlara ulaşarak araç piyasasını adeta ele geçirmiştir. Günümüzde fosil yakıt kaynaklarının azalması ve fiyatlarının her geçen gün artış göstermesi elektrikli araçları daha avantajlı konuma getirmiştir. Elektrikli araçların çevreci ve sessiz olması da kullanıcılar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak batarya teknolojilerinin yeni ve pahalı olması araç maliyetlerini artırmaktadır. Buna ek olarak batarya ömürleri, şarj istasyon sayısının azlığı ve uzun şarj süreleri potansiyel kullanıcıları düşündürmektedir. Zorluklara rağmen, bu konuların hepsi ilerleyen dönemlerde hızla çözülebilecek problemlerdir. Batarya ve şarj teknolojileri ilerlemektedir. Dünya genelinde şarj istasyonu sayıları da artış göstermektedir. Her geçen gün bu teknolojilere yatırımlar artmaktadır. Elektrikli araçlar geleceğin teknolojisi olarak görülmektedir. Bu teknolojilere adapte olabilen ülkelere gelecekte avantajlı bir konuma gelecektir. Bu çalışmada, elektrikli araç ve bataryaları incelendikten sonra temassız ve temassız şarj yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Bataryaları, Elektrikli Araçlarda Şarj Yöntemleri, Elektrik Dolum İstasyonları, Elektrikli Araç Şarj Standartları

## Electric Vehicle Charging Methods

**Abstract:** Although electric vehicle technologies seem to have a recent history, they have been in our lives for years. At the beginning of 20<sup>th</sup> century, electric vehicles have been in great demand but the number of electric vehicles has gradually decreased since internal combustion vehicles provided different advantages in those times. The number of internal combustion vehicles has reached enormous numbers and has almost conquered the vehicle market. Today, the decrease in fossil fuel resources and the increase in prices have made electric vehicles more advantageous. The fact that electric vehicles are environmentally friendly and silent also provides an important advantage for users. The fact that battery technologies are new and expensive increases vehicle costs. In addition, battery life poses a question mark in mind. Likewise, the scarcity of charging stations and charging times make potential users think. But all of these issues are problems that can be solved quickly in the future. Battery and charging technologies are advancing. The number of charging stations is also increasing around the world. Investments in these technologies are increasing day by day. Electric vehicles are seen as the technology of the future. Countries that can adapt to these technologies will come to an advantageous position in the future. In this study, detailed information is given about contact and non-contact charging methods after examining electric vehicles and batteries.

**Key words:** Electric Vehicles, Electric Vehicle Batteries, Charging Methods in Electric Vehicles, Electric Charging Stations, Electric Vehicle Charging Standards

\* Corresponding author. Tel.: +0-000-000-0000 ; fax: +0-000-000-0000.

E-mail address: [habib.kaymaz@daimler.com](mailto:habib.kaymaz@daimler.com)

ORCID: 0000-0002-6838-4501, 0000-0002-8338-004X (in hierarchical order)

Received 25 May 2020; accepted 20 October 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

## 1. Giriş

Elektrikli araçların, yakın bir zamanda hayatımıza girdiği düşünülse de temelleri çok eski yıllara dayanmaktadır. Üç tekerlekli araç ile başlayan elektrikli araçlar son yıllarda daha fazla talep görmekte ve içten yanmalı araçlara göre daha fazla ilgi çekmektedir. Yakıt konusundaki avantajları ve çevreci olması bu ilginin artmasına sebep olmaktadır.

Elektrikli araçlar, hareketi sağlayan motorları için yoğun bir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Eğer araç enerjisini içerisinde yer alan aküden alıyorsa akülü araç (Battery Electrical Vehicle, BEV) olarak adlandırılır (Kaymaz, 2018). Elektrikli araçlar kendi enerjisini kendisi de üretebilir. Bunlar da seri hibrid ve yakıt hücreli olarak ikiye ayrılmaktadır. Seri hibrid elektrikli araçlardaki içten yanmalı motor direkt olarak araç tahriğine katkı sağlamaz. Yakıt hücreli elektrikli araçlarda sadece elektrik motoru yer almaktadır. Harici enerji beslemeli elektrikli araçlar ise ihtiyaç olan enerjiyi dışarıdan temaslı veya temassız olacak şekilde alabilmektedir (Wang ve Dorell, 2013).

Elektrikli araçlarda pil teknolojileri büyük önem arz etmektedir. Günümüzde farklı anma voltajı ve enerji yoğunluğuna sahip pil çeşitleri üretilmekte ve her geçen gün geliştirilmektedir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016). Elektrikli araçların pillerini şarj etmesi bir ihtiyaç doğurmaktadır. Elektrikli araçlarda şarj ihtiyacı istasyonlardan karşılanmaktadır. Şarj istasyonu sistemleri, elektrik enerjisi alt yapısı, tesisatı, üniteler ve bunların haberleşme alt yapıları ile komple bir sistemden oluşmaktadır (Birleştirici ve diğ, 2015). Bu sistemler elektrikli araçların uluslararası şarj standartlarını sağlamalıdır. Bu standartlar, CHAdeMO, SAE J1772 ve IEC 62196 olarak belirlenmiştir. Bu standartlar da anma gerilimi, Maksimum akım değeri ve maksimum güç gibi farklılıklar mevcuttur (Polat ve diğ, 2015). IEC 62196 standardında dört farklı şarj modu bulunmaktadır. Mod 1, Mod2 ve Mod 3 de şarj istasyonundan gelen alternatif akım, doğru akıma araç üzerinde dönüştürülmektedir. Mod 4 ise bu dönüşüm istasyon içerisinde gerçekleşmektedir (Şarj modları, 2020).

V2G (Vehicle to Grid), elektrikli araçlar ile şebeke arasındaki iletişimi ifade etmektedir.

V2G şebekedeki enerji için bir köprü görevi görür, Enerjinin şebekeden araca veya araçtan şebekeye aktarılmasını sağlar (V2G, 2020; Lindeman, 2018). Araçların şarj işlemi sadece temaslı değil aynı zamanda temassız olarak da gerçekleştirilebilir. Temassız gerçekleştirilen bu sistem, bağlı indüktif güç transferi mantığıyla çalışmaktadır (Terzi ve diğ, 2020). Özellikle kablosuz şarj sisteminde insan sağlığı ve güvenliği çok önemlidir. Bunun üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır.

İnsanlar aldığı araçları daha rahat kullanabilmek adına şarj istasyonlarının yaşadıkları bölgede ne kadar bulunduğuna bakmaktadır. Şarj ve araç teknolojileri geliştikçe bu sayı artmaktadır. Türkiye’de yaklaşık olarak her iki otomobile bir şarj ünitesi düşmektedir (Bayram, 2019). Türkiye’de birçok firma şarj konusunda yatırım planlamakta ve Arge hizmetleri her geçen gün gelişmektedir. Sadece şarj ve araç konusunda değil aynı zamanda araç bataryalarının yerli üretim üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

## 2. Elektrikli araçlar

İlk elektrikli araç, 1881 yılında Fransız Gustave Trouve tarafından gerçekleştirilen üç tekerlekli araç olarak kabul edilmiştir. Bu araçta 0,1 beygir gücünde DC motor kullanılmıştır. Aracı kurşun-asit batarya beslemektedir. Bunun yanı sıra elektrikli araçlar ticari olarak kullanılmıştır. 1894 yılında Henry G. Morris ve Pedro G. Salom geliştirilmiş olan Electroboat aracı ilk elektrikli ticari taksi olarak kullanılmıştır (Üstkoyuncu, 2018). 1900-1912 yılları arası elektrikli araçların altın çağı olarak kabul edilmektedir. Türkiye’nin ilk aracı 1888 yılında II. Abdülhamit tarafından İngiltere’de Messrs Immisch & Co Şirketine sipariş edilen araçtır (Üstkoyuncu, 2018). 1909 yılında Ford firması tarafından üretilmeye başlanan Model T içten yanmalı motorlu aracı uygun fiyatından dolayı ciddi satış rakamlarına ulaşmıştır. 1912 yılında Amerika’daki elektrikli araç sayısı 30 000 ile en üst seviyeye ulaşırken içten yanmalı motorlu araç sayısı 900 000’dir. 1912 yılında elektrikli Century Electric Roadster 1750\$ fiyatında iken, Model T 550\$ satış fiyatına sahipti. Bu da ilk tercihin içten yanmalı araçlar olmasına sebep olmuştur. Elektrikli araçlar içten yanmalı araçlarla rekabet edememiştir. İçten yanmalı araçların daha güçlü olması, elektrikli araçların yüksek fiyatı, elektrikli

araçların sınırlı menzili gibi sebeplerden içten yanmalı araçlar elektrikli araçlardan daha çok satılmaya başlamıştır (Üstkoynucu, 2018). Elektrikli araçlar için 1925-1960 yılları arası karanlık çağ olarak tanımlanabilir. 1960'lı yıllardan itibaren özellikle 1947 yılında Bell Laboratuvarın da transistörün keşfedilmesinin de etkisiyle GM ve Ford gibi birçok firma tarafından elektrikli araçların geliştirilmesine yönelik çalışmalar başlatılmıştır (Üstkoynucu, 2018).

Elektrikli araçlar sürüşe direk katkı yapan içten yanmalı bir motora sahip değildir. Hareketi sağlayabilmek için içerisinde bir veya daha çok sayıda elektrik motorunu barındırır. Elektrik motorunu çalıştırabilmek için bataryada depolanan enerji kullanır. İçten yanmalı araçlar gibi çalışma esnasında çevreyi kirletmediğinden sıfır emisyonlu araç (Zero Emmision Vehicle, ZEV) olarak da adlandırılır. Elektrikli araçları birçok kriterine göre tasnif etmek mümkündür. Fakat en iyi sınıflandırma enerjii elde etme yöntemlerine göre yapılan sınıflandırma olacaktır. Bu sınıflandırmada elektrikli araçlar, depolanmış enerji kullanan, kendi enerjisini üreten ve harici enerji beslemeli araçlar olarak sıralanabilir (Kaymaz, 2018).

### 2.1. Depolanmış enerji kullanan elektrikli araçlar

Akülü araç (Battery Electrical Vehicle, BEV) olarak adlandırılan bu araçlar, tahrik için kullanılacak olan enerjii içerisinde yer alan bataryadan alır. BEV uygulamalarında hibrit elektrikli araçlar (Hibrid Electrical Vehicle, HEV) ve elektrikli araçlar (Electrical Vehicle, EV) da olduğu gibi sekonder aküler kullanılırken, şarj için gereken enerjii üreten araç üzerinde özel bir sistem yoktur (Kaymaz, 2018). Aküler belirli bir süre kullanıldıktan sonra deşarj olacak ve bir şarja ihtiyaç duyacaktır. Bu ihtiyaç genellikle araçlar park halindeyken şebekeden yapılabilmektedir. Bu araçlarda akünün tipi, özellikleri ve akü yönetim ünitesi (Battery Management System, BMS) önem kazanmaktadır. Kullanılan akünün verimini arttırmak için ultra kapasitör veya fly-whell gibi destek uygulamaları yapılır. Akülerin şarj-deşarj karakteristikleri sıcaklığa, çekilen/verilen akım miktarına ve yaşlanmaya bağlı olarak değişir (Kaymaz, 2018). Bu araçlarda kullanılan akülerin ömrü de kullanıcılar için önemli bir noktadır. Bu ömür

ise akü bakımı, kullanılan koşullar ve sürülen mesafeye bağlıdır. Kısa mesafe kullanılan araçlar da aküler daha çok yıpranmaktadır ve ömrü kısalmır. Bu parametrelere de dikkat edildiği takdirde daha verimli bir akü performansı alınabilir.

İlk elektrikli araçtan itibaren kullanılan batarya çeşitleri farklılık göstermektedir. Her firma tasarımına uygun şekilde bir batarya tercihinde bulunmuştur. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan ve halen araştırma aşamasında olan pil teknolojileri ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Batarya teknolojileri (Muratoğlu ve Akkaya, 2016)

Pil Çeşidi	Enerji Yoğunluğu	Çevrim Ömrü	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	35	1000	-15,+50
NiCd	50-80	2000	-20,+50
NiMH	70-95	<3000	-20,+60
Zebra	90-120	>1200	-245,+350
Li-on	118-250	2000	-20,+60
LiPo	130-225	>1200	-20,+60
LiFePO <sub>4</sub>	120	>2000	-45,+70
Zn-air	460	200	-10,+55
Li-S	350-650	300	-60,+60
Li-air	1300-2000	100	-10,+70

Kurşun-asit piller birçok projede kullanılmakta olan eski ve yaygın bir teknolojidir. Yüksek deşarj akımı, düşük özboşalım, hafıza etkisinin bulunmaması ve ucuz olması gibi önemli avantajları bünyesinde barındırır. Dezavantajları ise düşük nominal voltaj ve enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Bunlara ek olarak kullanılmadıkları zaman pil ömürleri azalmaktadır (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ, 2015).

Nikel kadmiyum piller güvenli ve ucuz bir pil teknolojisine sahiptir. Yüksek deşarj akımı sağlayan bu piller kurşun-asit pillere göre daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Dezavantajları ise zayıf şarj/deşarj verimi,

yüksek özboşalım ve hafıza etkili olmasıdır (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Nikel metal hidrat pil teknolojisi nikel kadmiyum pillerin dezavantajlarından dolayı alternatif bir sistem olarak geliştirilmiştir. Kadmiyum elektrotu yerine metal hidrat elektrotu kullanılmıştır. Nominal voltaj değerleri eşit iken nikel metal hidrat piller daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Fakat nikel metal hidrat piller nikel kadmiyum pillere göre daha yüksek özboşalım ve aşırı şarj durumunda daha düşük güvenliğe sahiptir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum iyon pillerde pozitif elektrot olarak lityum metal oksitler kullanılmaktadır. Lityum metal oksitler diğer materyallere göre düşük toksit, yüksek kapasite ve maddi olarak ucuz olması sebebi ile avantajlıdır. Diğer pil gruplarına göre daha yüksek nominal voltaj ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Elektrikli araçlarda daha çok tercih edilen bataryalardır. Kullanımı oldukça yaygındır (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum iyon polimer piller, lityum iyon pillerle çok benzer özelliklere sahiptir. Bu pillerin arasındaki fark ise lityum iyon polimer pillerde elektrolit olarak adından da anlaşılacağı gibi polimer materyallerinin kullanılmasıdır. Bu piller daha kolay, daha hızlı ve farklı şekillerde üretilebilmektedir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum demir fosfat piller, pozitif elektrot malzemesi lityum demir fosfat olan lityum tabanlı pillerdendir. Lityum demir fosfat piller, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek çevrim oranı ve daha güvenilir kullanım gibi bazı avantajlara sahiptir. Fakat lityum iyon pillerle kıyaslandığında performansı daha düşüktür (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum sülfür piller, lityum tabanlı pil gruplarından. Bu pillerde katot malzemesi olarak sülfür kullanılır. Bu piller, yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek şarj verimine, düşük hücre gerilimi ve ortalama bir çevrim ömrüne sahiptir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

## 2.2. Kendi enerjisini üreten elektrikli araçlar

Bazı elektrikli araçlar elektro-kimyasal dönüşüm yaparak kendi enerjilerini kendileri üretebilirler. Bu araçlar, seri hibrid elektrikli araçlar ve yakıt hücresel elektrikli araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

### 2.2.1. Seri hibrid elektrikli araçlar

Menzili arttırılmış elektrikli araç (Extended Range Electrical Vehicle, EREV) olarak da anılan seri hibrid elektrikli araçlarda hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru yer almaktadır. Bu araçlarda tahrik gücü elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Elektrik motoru, hibrid güç ünitesinden veya bataryalardan sağlanan elektriksel gücü mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Hibrid güç ünitesi, bir içten yanmalı motordan ve bu motordan elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir jeneratörden meydana gelmektedir (Seri hibrid, 2020). Araçta yer alan fosil yakıt içten yanmalı motor ile mekanik enerji çevrilir. Bu elde edilen mekanik enerji ise jeneratör sayesinde elektrik enerjisine çevrilmektedir. Araçlarda bir motor kontrol ünitesi yer alır. Bu ünite karar verme becerisine sahiptir. Jeneratör tarafından elde edilen enerji, bu ünite tarafından en doğru yerde kullanılır. Bu enerji ya depolanmak üzere bataryalara ya da kullanılmak üzere elektrik motoruna iletilebilir (Seri hibrid, 2020). Motor kontrol ünitesi, içten yanmalı motor ve jeneratör grubunu kullanarak bataryaları optimum oranda (% 50 – 80) şarjlı durumda tutar. Eğer şarj oranı bu limitin altına düşerse içten yanmalı motor devreye girerek çalışmaya başlar. Benzer şekilde şarj oranı bu limitin üzerine çıkarsa, içten yanmalı motor çalışmaz. Bu sistemin en büyük avantajlarından biriside rejeneratif frenleme sistemidir. Rejeneratif frenleme sistemi, yokuş aşağı gidiş ve frenleme sırasında açığa çıkan enerjinin elektrik motoru tarafından aküleri şarj etmede kullanılabilmesidir. Seri hibrid elektrikli araçlar yapı olarak yakıt pilli elektrikli araçların sistemine en yakın olanıdır. Seri hibrid sistemler yakıt pilli sistemlere altyapı hazırladıkları için önemlidir (Seri hibrid, 2020).

Seri hibrid sistemin bazı dezavantajları da mevcuttur. Elektrik üretimi için kullanılan jeneratör hem ek ağırlık hem de ek maliyete sebep olmaktadır. Ayrıca sistemin verimi -

yüksek verimli jeneratör tasarımlarına rağmen enerji dönüşümü sebebiyle düşmektedir. Seri hibridler sadece “elektrik motoruyla tahrik prensibi” üzerine tasarlanmıştır. Şehir kullanımında elektrik motoru devrededir ve enerjisini içerisinde bulunan aküden almaktadır. Akü kapasitesi içten yanmalı motoru çalıştırmaksızın gidilebilecek menzil ihtiyacına göre değişmektedir. Azalan şarj seviyesi içten yanmalı motorun devreye girmesiyle doldurulur. Jeneratörü harekete geçiren içten yanmalı motor neredeyse sabit hızda çalışmaktadır. Bu da içten yanmalı motorun verimini yükseltmekte ve yakıt tüketimini azaltmaktadır (Seri hibrid, 2020).

### 2.2.2. Yakıt hücreli elektrikli araçlar

Kendi enerjisini kendisi üretebilen ve tahriğini sadece elektrik motordan sağlayan araçlara yakıt hücreli araçlar denir (Fuel Cell Electrical Vehicle, FEV). Temel prensibi kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir. Hidrojen ve oksijenin tepkimeye girmesi sonucunda bir enerji elde edilir (Kaymaz, 2018).

Doğada en çok bulunan elementlerden biri olan hidrojen renksiz, kokusuz, hafif ve zehirli olmayan bir gazdır. Hidrojen yakıldığında sadece su buharı açığa çıkar. Hidrojen en hafif gaz olmasına rağmen enerji yoğunluğu en fazla yakıtlardandır. Aynı ağırlıktaki benzinden üç kat daha fazla enerji bünyesinde barındırır. Bu özellikler onu en temiz, en çok bulunan ve en faydalı enerji kaynağı yapmaya yetmektedir. Ancak yanıcı özelliğinden dolayı hidrojeni elde etmek, depo etmek ve elektrik enerjisine çevirmek kolay bir şekilde gerçekleşmez. Kömür ve doğal gaz kaynakları sınırlı olduğundan, bu kaynakların başka alanlarda da sıklıkla kullanılmasından ve karbon içerdiğinden hidrojen üretimi için pek uygun görülmemektedir. Hidrojen üretimi için en doğru kaynak su olarak düşünülmektedir (Kaymaz, 2018). Hidrojen konusunda birçok araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Bunların en başında da otomotiv sektörü gelmektedir. Hidrojen içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Fakat yakıt pillerinde kullanılacak en iyi yakıtlardan birisidir ve bu alanda üstünlüğünü göstermektedir. Otomobillerde kullanılacak olan yakıt pilleri firmalar için önemli bir araştırma ve geliştirme konusu olmuştur. Fakat henüz çok

yeni sayılabilecek bir teknoloji olmasından dolayı zamana ihtiyacı olduğu görülmektedir. (Kaymaz, 2018; Polat ve Kılınç, 2007).

Yakıt hücreleri sınıflandırılırken elektrolitlerine göre isim verilir. Kullanılan elektrolitler yakıt hücresinin özelliklerini, tipini, sıcaklık ve verimi belirleyen unsurlardandır (Kaymaz, 2018).

PEM (Proton Değişim Membranlı) yakıt hücresi elektrikli araçlar için kullanılabilen en uygun yakıt hücresidir. Çalışma sıcaklıkları, güç miktarı ve yüksek verimi göz önüne alınarak bu tercih yapılmıştır. İlk PEM General Electric tarafından 1960’lı yıllarda NASA için geliştirilmiştir. Bu teknolojiye bir katı polimer elektrolit membran iki platin katalizörlü elektrolit arasına yerleştirilmektedir. Diğer yakıt pillerine göre daha fazla güç yoğunluğu, düşük hacim ve düşük ağırlığa sahip olması gibi bazı avantajları mevcuttur. Yakıt pilinde elektrolit olarak ince polimer zar tercih edilir. Mikron kalınlığa sahip olan membran, protonun geçebileceği bir yapıya sahiptir. Yakıt pilinin çalışma sıcaklığı 100°C’in altında olması gerekir. Bu sıcaklık değeri genellikle 60-80°C aralığındadır. Katalizör olarak soy metallerin kullanılması gerekir. En çok tercih edilen ise platinyumdur. Bu da maliyeti artırmaktadır. Yakıtta yer alan karbon monoksitin ayrıştırılması gerekir. Bu da ilave proses ve maliyeti beraberinde getirmektedir. Bu maliyeti azaltmak için farklı katalizörler kullanılabilir. Karbon monoksit duyarlılığı daha az olan katalizörler tercih edilebilir (Kaymaz, 2018).

Elektrikli araçların mevcut sorunlarına sahip olmayan yakıt hücreli elektrikli araçların ideal çözüm olma yolundaki en büyük engel yüksek maliyettir. Gelişen teknoloji sayesinde ilerleyen dönemlerin en çok tercih edilen aracı olacağı düşünülmektedir.

### 2.3. Harici enerji beslemeli elektrikli araçlar

Harici enerji beslemeli elektrikli araçlar ihtiyaç olan asli enerjiyi dışarıdan temaslı veya temassız olacak şekilde temin ederler (Kaymaz, 2018; Wang ve Dorell, 2013).

Trolleybüs sistemi olarak isimlendirilebileceğimiz bu sistem, geçmiş yıllarda toplu taşıma araçlarında sık kullanıma sahiptir. Günümüzde ise elektrikli araç teknolojilerinin gelişimi ile birlikte üzerine tekrar çalışmalar

yapılmaktadır. Trolleybüs, gücünü güzergahı boyunca üzerinde yer alan elektrik hattından (kataner sistem) alır. Bu hatta iki kablo ile bağlanmaktadır. Tramvay gibi tek kablo ile devresini tamamlayamaz. Çünkü otobüs gibi trolleybüs araçları da ray yerine yalıtkan tekerlekler üzerinde ilerler.

Birçok trolleybüs modeli hem elektrikli hem de içten yanmalı motoru içerisinde barındırır. Bunun sebebi ise sadece belirli bir güzergâh da değil aynı zamanda normal bir otobüs gibi ulaşım sağlayabilmek içindir. Buna ek olarak elektrik kesintilerinden veya arızalarından etkilenmemesi içinde içten yanmalı motoru mevcuttur. Bu sistem kendisini elektrikli seri hibrid bir araç yapar. Dünyada halen kullanılan birçok trolleybüs hattı mevcuttur. Türkiye’de de geçmiş yıllarda Ankara, İstanbul ve İzmir gibi şehirlerimiz de kullanılmıştır. Trolleybüsleri ilerleyen dönemlerde daha farklı teknolojiler ile yeniden sokaklarda görebiliriz. Türkiye’de kamu kurum ve kuruluşlarının vereceği vizyon ve destek ile bu tip elektrikli toplu taşıma araçlarının gelişimi sağlanabilir.

Trolleybüslerin enerjilerini temassız olarak alabilmeleri için çalışmalar yürütülmektedir. Tıpkı cep telefonlarını şarj etmekte kullanılmaya başlanan temassız şarj sistemi (WET, WPT veya IPT) trolleybüsler için de denenmektedir (Kaymaz, 2018).

### 3. Elektrikli araç şarj yöntemleri

Mevcut alteantifler içinde en fazla pratiğe dönüşen uygulama bataryalı sistemlerdir. Batarya kullanılan araçlar için en büyük problem şüphesiz şarj konusu olmuştur. Şarj konusundaki en önemli ayırım temaslı ve temassız (kablosuz) şarj olarak yapılmaktadır. Farklı güçlerde şarj istasyonları ve farklı tipte soket yapıları mevcuttur.

Mude temaslı (plug-in) bağlantıdan yolda temassız şarja değin EV farklı şarj altyapıları üzerine çalışmış ve her iki, statik ile yolda temassız, şarjı derinlemesine incelemiştir (Mude, 2018). Bunlarla birlikte elektrikli araçlar için birçok şarj metodu ve altyapısı bulunmaktadır. Csonka ve arkadaşları EV şarj için operasyonel bir metod üzerine çalışmışlar ve halk otobüsü hizmetlerinde çalışan elektrikli otobüsler ve arabalar için şarj altyapısının konuşturulmasını ve enerji yönetimini destekleyen yeni operasyonel yöntemler

geliştirmişlerdir. Şarj altyapısının konuşturulmasında “şarj seanslarının esnekliği ve öngörülebilirliği” otomobiller ve otobüsler arasındaki temel şarj farkları olarak belirlenmiştir (Csonka ve diğ., 2020). Yağcıtekin ve arkadaşları elektrikli araç şarj altyapısı için yeni bir yerleşim yöntemi üzerine çalışmışlar ve sürücülerin bir üniversite kampüsü içindeki alışkanlıklarını yansıtan anket verilerini değerlendirerek, önerilen model sayesinde en uygun yeri ve uygun şarj istasyonu sayısını bulmak için vaka çalışması yapmışlardır (Yağcıtekin ve diğ., 2013). Liu ve arkadaşları dağıtım sistemlerinde elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal planlaması üzerine çalışmışlar ve elektrikli araç şarj istasyonlarının en uygun yerleri, öncelikle çevresel faktörler dikkate alınarak elektrikli araç şarj istasyonlarının hizmet yarıçapı ile iki aşamalı bir tarama yöntemi belirlenmiştir. EV şarj istasyonlarıyla ilişkili toplam maliyetin en aza indirilmesi ve modifiye edilmiş yeni bir algoritma (MPDIPA) ile çözülmesi sayesinde EV şarj istasyonlarının optimum boyutlandırılması için matematiksel bir model geliştirilmiştir (Liu ve diğ., 2012). Sivasankar ve Raathy elektrikli araçlarda şarj altyapısı ve hızlı şarj topolojileri üzerine çalışmışlardır (Sivasankar ve Raathy, 2020). Kumar ve Sharmila elektrikli araçların kablosuz şarjı, Marinescu ve arkadaşları EV/HEV için temassız batarya şarjı, Subudhi ve Krithiga elektrikli araç bataryalarının statik ve dinamik şarjında kablosuz güç aktarım topolojilerinin kullanımı konusunda çalışma yapmışlardır (Sivasankar ve Raathy, 2020; Kumar ve Sharmila, 2019; Marinescu ve diğ., 2016; Subudhi ve Krithiga, 2020). Batarya teknolojilerinin yanı sıra uygun şarj istasyonlarının belirlenmesi de önemlidir. Elghitani ve El-Saadany elektrikli araçların uygun bir şarj istasyonuna atanması üzerine çalışmışlar ve buna olanak sağlayan kullanıcı odaklı bir EV kontrol şeması oluşturmuşlardır. Temel performans göstergesi, kullanıcının hizmeti talep etmesinden erişimine kadar harcadığı ortalama süre olan bu kontrol şeması, en yakın istasyon ve en kısa kuyruğa katılma ilkesi olan diğer iki dinamik atama şemasıyla karşılaştırılmıştır (Elghitani ve El-Saadany, 2020). Rajendran ve arkadaşları ise elektrikli araç şarj istasyonları için enerji tasarruflu dönüştürücüler üzerine çalışarak farklı AC / DC



dönüştürücü topolojilerinin mevcut tasarımını ve hızlı DC şarj altyapıları için gelecekteki uygulama planlarını gözden geçirmişlerdir. Çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarında daha az CO<sub>2</sub> emisyonuna üreten ve böylece sürdürülebilir iklimsel kalkınma hedeflerine katkıda bulunan Viyana DC hızlı şarj istasyonlarındaki doğrultucu topolojilerine odaklanmıştır (Rajendran ve diğ., 2018). Elektrikli araçlarda şarj ile ilgili birçok belirsizlikte bulunmaktadır. Bu belirsizlikleri ortadan kaldırmak için birçok çalışma yürütülmüştür. Li ve arkadaşları belirsizlikleri dikkate alınarak elektrikli araçlar için bir hibrit güç şarj istasyonunun optimum tasarımı ve analizi üzerine çalışmışlar ve elektrikli araç şarj istasyonlarının boyutlandırması için optimum karar değişkeni elde etmişlerdir (Li ve diğ., 2018). Şarj istasyonları kompleks bir sistemdir. Bu sebepten dağıtım şebekeleri de büyük önem arz etmektedir. Liao ve Yang üç fazlı dağıtım şebekesinde dengesizliğe neden olabilecek tek fazlı güç hattı üzerine çalışmışlar ve bir faz kontrol koordine şarj yöntemini bu sorunu çözmek için ortaya koymuşlardır. Bunun için ilk olarak, şarj yükünün dağıtım şebekesine etkileri eşdeğer devre bazında analiz edilmiş ve daha sonra kontrol yönteminin bir mimarisi ve buna karşılık gelen optimal kontrol model tanıtılmıştır (Liao ve Yang, 2018). Fernandez ve arkadaşları bir elektrikli araç şarj istasyonunun kontrolü üzerine çalışmışlar ve elektrikli araçlar için şarj cihazına uygulanan ağırlıklı ortalama akım kontrolü sunulmuştur. Önerilen kontrol, dönüştürücü akımlarının iki yönlü kontrolüne izin verir. Böylece hem bataryanın kontrollü bir şekilde yüklenmesine hem de şebekede düşük distorsiyonla akım çekilmesine izin verir (Fernandez ve diğ., 2020).

Mroczek ve Kołodyńska kestirimci bir model ile V2G prosesi üzerine çalışmışlar ve V2G hizmetinde elektrik kullanımını optimize etmek için bu modeli kullanmışlardır. Model, belirli bir araç modelinin karakteristik parametrelerini, süspansiyon yapısını ve aerodinamiğini hesaba katarak, aracın aşamalı hareketle ilgili enerji talebinin çok hassas bir şekilde belirlenmesine izin verir (Mroczek ve Kołodyńska, 2020). Mouli ve arkadaşları Chademo ve CCS / Combo DC şarj standardı kullanılarak dinamik şarj ve V2G'nin uygulanması üzerine çalışmışlar ve dinamik şarj ve araç uygulamasındaki şarj standartlarını şebeke (V2X) ile karşılaştırıp şarj

sistemi tasarımı, yanıt süresi, yenilenebilir kaynaklardan şarj etme esnekliği ve gerekli tampon kapasitesi üzerindeki etkisini ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada, Chademo ve CCS / COMBO kullanılarak dinamik şarjın deneysel sonuçları, iki standart arasındaki temel farkı gösteren farklı uyumlu EV'ler için sunulmuştur (Mouli ve diğ., 2016).

Halen araştırma aşamasında olan kablosuz şarj teknolojileri hakkında birçok çalışma yapılmaktadır. Chen ve arkadaşları elektrikli araçların kablosuz şarjı için elektromanyetik ortam ve güvenlik değerlendirmesi üzerine çalışmışlar ve güvenlik marjı, ilgili standartlar, parametrik değişimler, elektromanyetik ortam ve bunların insan vücudu üzerindeki karşılık gelen etkilerini analiz etmek için simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarını doğrulamak için deneysel bir platform oluşturulup, 3,5 kW gücünde bir EV'nin kablosuz şarjı gerçekleştirilmiştir (Chen ve diğ., 2015).

### 3.1. Temaslı (kablolu) şarj

Elektrikli araçlar genellikle temaslı bir şekilde şarj olmaktadır. Şarj istasyonları ve araç teknolojileri temaslı şarjı desteklemektedir. Bu durumun oluşmasında temassız şarjın çok daha yeni bir teknoloji olmasının da etkisi büyüktür. Temaslı şarj, bir kablo vasıtası ile aracın şarj istasyonuna veya şebekeye bağlanması ile gerçekleşir.

Temaslı şarj sistemleri, elektrik enerjisi alt yapısı ve tesisatı ile başlayan, araçlara enerji akışını ve kontrolünü gerçekleştiren üniteler ve bunların haberleşme alt yapısı ile devam eden komple bir sistemdir. Bu sistem içerisinde, enerji alt yapısı, şarj kapasitesini karşılayabilir seviyede alçak gerilim tesisatını içerisine almaktadır. Bunlara ek olarak, enerji kalitesi şartlarını yerine getirebilmek için kompanzasyon ve harmonik filtreleme üniteleri de bu tesisat içerisinde yer almaktadır. Bu sistem içerisinde elektrikli araçlara enerji akışını şarj üniteleri sağlamaktadır. Bu üniteler IEC 62196 gibi uluslararası şarj istasyon standartlarına uygun olarak üretilir. Kullanıcı güvenliğinin sağlanması en önemli unsurlardandır. Bu ünitelerde tüketim bedeli kullanıcılara yansıtılır (Birleştirici ve diğ., 2015).

Temaslı şarj ünitesi, enerjinin elektrikli araca akışını insan ve teknik alt yapı açısından en güvenli bir şekilde gerçekleştiren ekipmanlardır. Şarj üniteleri Avrupa, Amerika ve Japonya gibi dünyanın çeşitli bölgelerinde farklılık gösteren yapılarda bulunmaktadır. Bunların ücretlendirilmesi de ülkelere göre değişmektedir. Bu şarj ünitelerinde ki farklılıklardan en önemlisi de DC ve AC şarj türleridir. Japonya CHAdeMO standardını kullanmaktadır. Japon kullanıcılar araçlarını doğru akım ile şarj eden üniteler geliştirmiş ve kullanıma sunmuşlardır. Bu standart ile araçlara 62.5 kW'a kadar enerji aktarımı yapabilmektedir. Bu standarda ait elektriksel büyüklükler Tablo 2 de gösterilmiştir (Birleştirici ve diğ, 2015; TEPCO, 2010).

**Tablo 2.** CHAdeMO büyüklükleri (Polat ve diğ, 2015)

Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (VDC)	Maks. Akım (A)	Maks. Güç (kW)
CHAdeMO	500	125	62,5

Amerika ise SAE J1772 standardı ile 19.2kW'a kadar elektrikli araçlarına şarj yapabilmektedir. Bu standarda ait elektriksel büyüklükler Tablo 3 de yer almaktadır (Birleştirici ve diğ, 2015; SAE International, 2010).

**Tablo 3.** SAE J1772 Elektriksel büyüklükleri (Polat ve diğ, 2015)

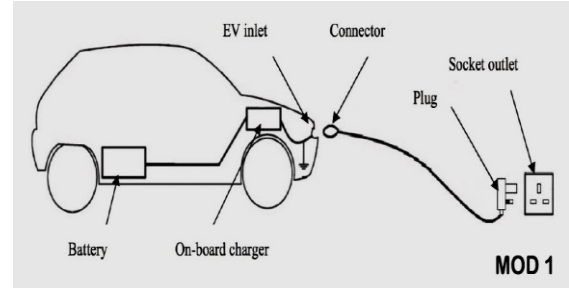
Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maks. Akım (A)	Maks. Güç (kW)	
AC	Seviye 1	120	1,44	
		120	1,92	
	Seviye 2	208-240	>20	19,2
			≤80	
DC	Seviye 1	200-500	80	40
	Seviye 2	200-500	200	100

Avrupa'da benimsenen IEC 62196 standardı ise AC şarj gerçekleştirmektedir. Bu standartta 3 faz 43.5 kW'a kadar şarj yapabilmektedir. Şarj işlemi için farklı modlar mevcuttur (Birleştirici ve diğ, 2015; Lazzaro, 2010).

### 3.1.1. Şarj modları

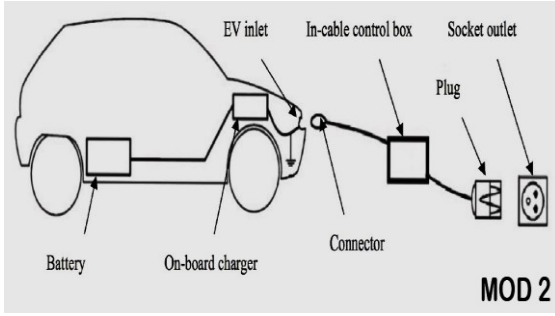
Elektrikli araçların şarj olması ve şarj modları üzerinde belirli bir standart vardır. Bu standartlar IEC 62196 de belirlenmiştir. Elektrikli araç bataryalarının yapıları gereği doğru akımla (DC) şarj olmaları gerekmektedir. Mod 1, 2, ve 3 şarj işlemlerinde, şebekeden gelen alternatif akım (AC), DC'ye araç üzerinde (onboard charger) dönüştürülmektedir. Mod 4 şarj işlemi ise bu dönüşüm istasyon içerisinde gerçekleştirilmektedir (Şarj modları, 2020).

**mod 1:** Elektrikli aracın direkt olarak AC bir prize bağlanarak şarj edildiği moddur. Şekil 1 de gösterilmiştir (Bayram, 2017). Akım 16 A, Gerilim ise tek fazda 250V ile üç fazda ise 480V ile sınırlandırılmıştır. Topraklama gerekmektedir. Birçok ülke de Mod 1 tipi şarj güvenlik nedeniyle yasaklanmıştır. Bu durumu çözebilmek için Mod 2 geliştirilmiştir (Şarj modları, 2020).



**Şekil 1.** Mod 1 şarj modu gösterimi

**mod 2:** Bu şarj modu da yine mod 1 de olduğu gibi direkt olarak AC prize bağlanarak şarj edilmeyi içerir. Farklı olarak kablo üzerinde bir haberleşme adaptörü kullanımı zorunludur. Şekil 2 de gösterilmiştir (Bayram, 2017). Bu adaptör, akımı ancak priz tarafında topraklama varsa iletmektedir. Mod 1 de yer almayan bu özellik ile güvenlik düşünülmüştür. Enerjinin alındığı tarafta bir kontrol pini bulunmamaktadır. Akım 32 A, Gerilim ise tek fazda 250V ile sınırlandırılırken bu değer üç fazda 480V ile sınırlandırılmıştır (Şarj modları, 2020).



Şekil 2. Mod 2 şarj modu gösterimi

**mod 3:** Bu şarj modunda, diğer modlarda olan standart AC priz yerine aşağıda Şekil 3 de görülen Mennekes tipi bir konnektörle bağlantı yapılmaktadır. Bununla birlikte şarj istasyonuna bağlantı sağlanmaktadır (Şarj modları, 2020).



Şekil 3. Mennekes tipi konnektör

Şekil 3 de görülmekte olan bu 7 pinin farklı fonksiyonları bulunmaktadır. Bu 7 pin aşağıda sıralanmıştır;

- Üç ayrı fazı (L1, L2, L3),
- Nötr bağlantısını (N)
- Topraklama bağlantısını
- Kontrol ve Haberleşme Pinleri

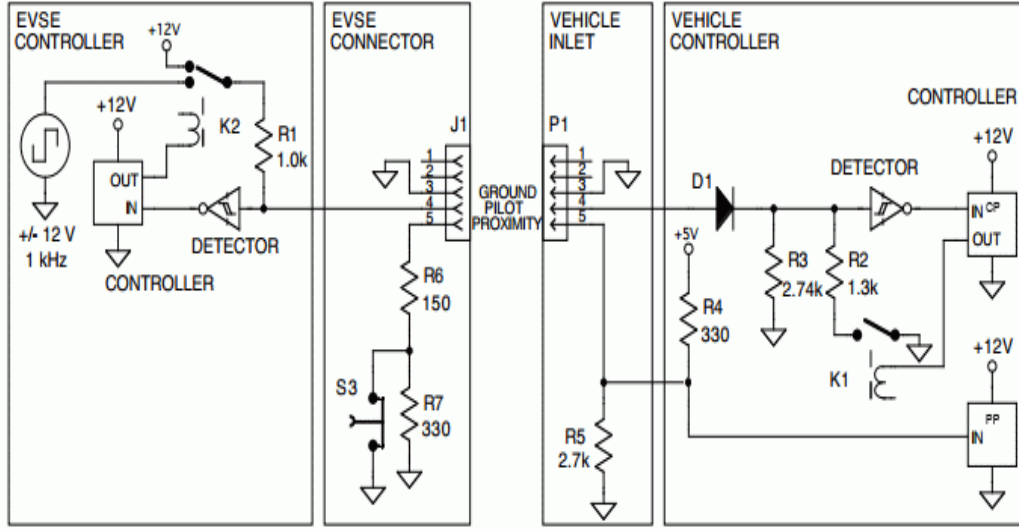
**Kontrol pini (mod):** Şarj istasyonu , kontrol pini üzerinde, bir direnç ve bir diyot (voltaj aralığı  $\pm 12.0 \pm 0.4$  V) ile araç tarafındaki korumalı toprağa geri bağlanan 1 kHz kare dalga gönderir . CP-PE (Koruyucu Topraklama) devresi açıksa, genel şarj istasyonlarının canlı kabloları her zaman ölü , ancak standart Mod 1'deki gibi bir şarj akımına izin verir (maksimum 16 A). Devre kapalıysa, şarj istasyonu koruyucu toprağın işlevsel olduğunu da test edebilir. Araç, bir direnç ile ayarlayarak şarj talep edebilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020).

SAE J1772:2001'deki Kontrol Pilot hattı devre örnekleri, mevcut döngü CP-PE'nin araç tarafına kalıcı olarak 2.74 k $\Omega$  direnç üzerinden bağlandığını gösterir. Dalga jeneratörünü aktive eden şarj istasyonuna bir kablo bağlandığında +12 V'den +9 V'a voltaj düşüşü olur. Şarj, araç tarafından paralel 1.3 k direnç eklenerek +6 V'a kadar bir voltaj düşüşü ile veya paralel 270  $\Omega$  direnç eklenerek +3 V'a kadar bir voltaj düşüşü ile etkinleştirilir. Bu düşüşler sadece pozitif aralıkla olacaktır. CP-PE devresindeki herhangi bir negatif voltaj, ölümcül bir hata olarak kabul edildiğinden akımı kesilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020; SAE International, 2001).

**Kontrol pini (akım sınırı):** Şarj istasyonu, darbe sinyali modülasyonu yardımıyla mevcut olan maksimum akımı tanımlamak için dalga sinyalini kullanabilir. %16 PWM maksimum 10 A, %25 PWM maksimum 16 A, %50 PWM maksimum 32 A ve %90 PWM hızlı şarj seçeneğini işaret eder (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020; Mathoy, 2008).

1 kHz kontrol pini sinyalinin PWM görev döngüsü, izin verilen maksimum şebeke akımını gösterir. SAE'ye göre priz, kablo ve araç girişini içerir. ABD'de, sürekli ve kısa süreli çalışma için ampacity (amper kapasitesi veya akım kapasitesi) tanımı kullanılmaktadır. SAE, 1 ms'lik tam döngüye (1 kHz sinyal) dayalı bir formülle türetilen ampacity değerini tanımlar. Maksimum sürekli amper değeri 10  $\mu$ s başına 0.6 A'dir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020; Mathoy, 2008).

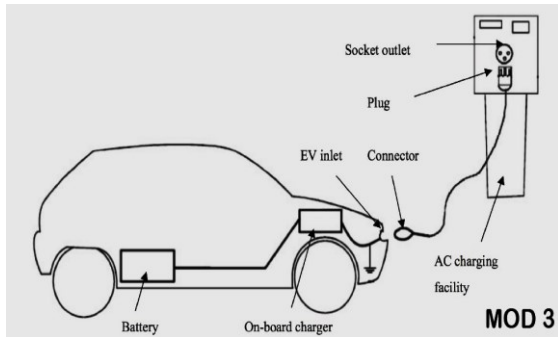
**Haberleşme pini:** Şekil 4 de gösterildiği gibi haberleşme pini (PP) S3 anahtarını, konektör mandal serbest bırakma aktüatörüne mekanik olarak bağlı olacak şekilde tanımlar. Şarj sırasında, şarj istasyonu tarafı PP-PE döngüsünü S3 ve 150  $\Omega$  (R6) ile bağlar. Serbest bırakma aktüatörünü açarken, şarj istasyonu tarafındaki PP-PE döngüsüne 330  $\Omega$  (R7) eklenir, bu da elektrikli aracın şarj güç pinlerinin fiili olarak kesilmesinden önce kontrollü bir kapanma başlatmasına izin vermek için hat üzerinde bir voltaj kayması sağlar. Bununla birlikte, birçok düşük güç adaptör kablosu, haberleşme pini üzerinde kilitleme aktüatör durum tespitini sağlayamaz. IEC 62196'da haberleşme pini, kablo kapasitesini belirtmek için de kullanılabilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020).



Şekil 4. SAE J1772 çıkış pinleri (Terzi ve diğ., 2020).

Direnç, kablo grubunun maksimum akım kapasitesine göre kodlanmıştır. Kablonun akım kapasitesi, önerilen yorum aralığı değerleriyle tanımlandığı gibi RC ölçümü tarafından aşıldığı tespit edilirse şarj istasyonu akım beslemesini keser (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020). Rc, sökülebilir kablo grubu içinde haberleşme ve kontrol pinleri arasına yerleştirilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020).

Mod 3 şarj modu Şekil 5'de gösterilmiştir (Bayram, 2017). Araç kabul edebileceği akım seviyesini şarj istasyonuna Mennekes sokette yer alan pimler ile iletir. İstasyon ise kendi içerisinde akımı ayarlayarak araca enerjiyi aktarır (Şarj modları, 2020).



Şekil 5. Mod 3 şarj modu gösterimi

Mod 2'den farklı olarak yapılan bu karşılıklı haberleşmeye ek olarak mod 3 de enerji kaynağı tarafında da sistem korumaları (aşırı akım, kaçak akım vb) mevcuttur. Ayrıca, şarj istasyonu kurulurken istasyonu besleyen kablunun kesiti, mutlaka gerekli gücü sağlayabilecek şekilde ayarlanmalıdır. Sıralanan bu sebeplerden dolayı Mod 3, Mod

2'ye göre çok daha güvenli ve hızlı bir şarj imkânı sunmaktadır (Şarj modları, 2020).

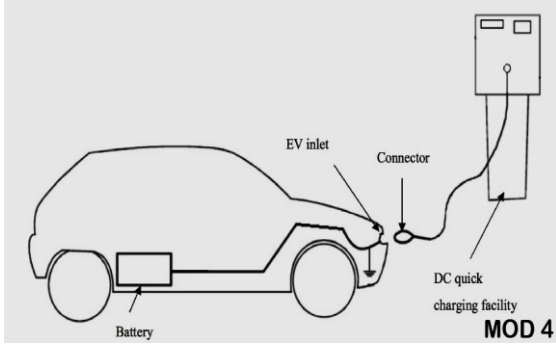
Şarj istasyonunun gücü ile araç üzerinde yer alan onboard charger'ın gücü kıyaslanır ve en küçük değer, şarj işleminin gücünü göstermektedir. Şarj işlemi gücü arttıkça, araç içerisinde yer alan bataryayı doldurmak için gerekli şarj süresi azalmaktadır. Mod 3'te, şarj gücüne göre (akım ve faz sayısı) 4 adet şarj sınıfı bulunmaktadır (Şarj modları, 2020). Bu sınıflar aşağıda sıralanmıştır;

- 3.7 kVA (16A, Tek Faz – 230V AC)
- 7.4 kVA (32A, Tek Faz – 230V AC)
- 11 kVA (16A, Üç Faz – 400V AC)
- 22 kVA (32 A, Üç Faz – 400V AC)

Batarya kapasitesi arttıkça, şarj süresi artar. Bataryalar yaklaşık %90 doluluk seviyesine kadar lineer şarj olurken, %90 seviyesi üzerinde daha yavaş şarj olmaktadır (Şarj modları, 2020).

**mod 4,** Bu mod hızlı şarja yönelik düzenlenmiştir. DC güç veren istasyonlardan 400A'e kadar olan şarj edilebilme kapasitesine sahiptir. Elektrikli araçlar olarak şebekeden aldıkları AC kaynağı redresör (onboard charger) üzerinden DC'ye çevirmeleri gerekmektedir. DC sinyale çevrildikten sonra elektrikli araç bataryaları şarj olurlar. Bu redresöre yönelik hem termal sınırlamalar hem de maliyet unsurları göz önüne alınarak 75A'e kadar (Mod 3 tipi) izin verilmektedir. Mod 4 ise şebekeden çekilen AC kaynağın bir hızlı şarj istasyonu içerisinde yer alan invertor üzerinden

DC'ye çevrilerek elektrikli aracın batarya grubuna direkt (redresöre girmeden) verilmesini sağlamaktadır. Bu da yüksek akımlara ve dolayısıyla elektrikli araçları hızlı şarj edebilmeye imkân tanımaktadır. Mod 4 şarj modu Şekil 6 da görülmektedir (Şarj modları, 2020).



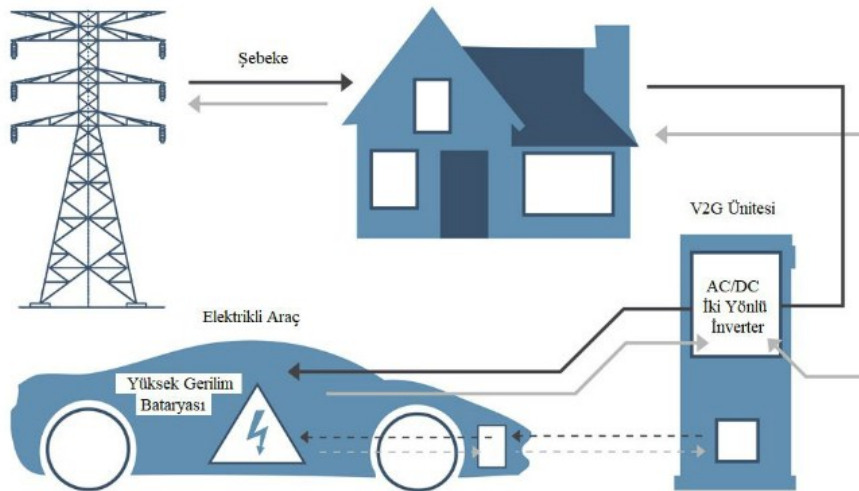
Şekil 6. Mod 4 şarj modu gösterimi

### 3.1.2. Araç-şebeke iletişimi

V2G (Vehicle to Grid), bataryalı elektrikli araçlar (BEV), plug-in hibridler (PHEV) veya hidrojen yakıt hücresi elektrikli araçlar (FCEV) gibi elektrikli araçların, şebeke ile araç arasındaki iletişimini ifade eder. Bir V2G kurulumu şebekedeki enerji için bir köprü görevi görür, yoğun olmayan saatlerde enerjiyi saklarken yoğun saatlerde ise şebekeye geri döndürür. V2G döngüsü, elektrikli araçların güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği, hava ve günün saatine bağlı olarak depolamasına veya boşaltmasına imkân tanımaktadır. Bu teknolojinin elektrik şebekeleri için fırsat olabileceği düşünülmektedir (V2G, 2020; Lindeman, 2018).

Şebeke ile araç döngüsü Şekil 7 de gösterilmiştir. Bu teknoloji elektrikli araç sahiplerinin araçlarını kullanmadıklarında şarjda takılı bırakmalarını ve elektrik faturalarını azaltmalarını sağlayabilir. Buna örnek verilecek olursa, herhangi bir zamanda otomobillerin %95'i park edildiğinden, elektrikli araçlardaki pillerden şebekeye enerji akışı sağlanabilir. V2G ile birlikte potansiyel kazançlarla ilgili 2015 yılında bir rapor yayınlanmıştır. Bu raporda uygun şartlarda araç sahiplerinin ortalama günlük sürüşlerinin 20 mil, 40 mil ve 60 mil olduğunda 454 dolar, 394 dolar ve 318 dolarlık kazanç sağlayabileceklerini ortaya koymuştur (V2G, 2020; He ve diğ, 2015).

Aküler, sınırlı bir şarj/deşarj döngüsüne ve raf ömrüne sahiptir, bu nedenle araçların şebekeye depolama olarak kullanılması pil ömrünü azaltabilmektedir. Pilleri günde iki veya daha fazla kez şarj/deşarj olması, kapasitede büyük düşümlere sebep olabilir, ömürlerini kısaltabilir. Ancak, pil kapasitesi pil kimyası, şarj vedeşarj oranı, sıcaklık, şarj durumu ve yaş gibi faktörlerin etkisi ile değişebilmektedir (V2G, 2020; Uddin ve diğ, 2017). V2G teknolojileri, yeni nesil elektrikli araçlarda güç hattı iletişim protokolleri ve çift yönlü şarj cihazları kullanılarak geliştirilmektedir (V2G, 2020; Kubat, 2019). Uygulama alanları maksimum yük dengeleme ve yedek güç olarak iki bölüme ele alınır.



Şekil 7. V2G döngüsü (Kubat, 2019).

Maksimum yük dengeleme, V2G elektrikli araçlar tarafından talep düşük olduğunda geceleri şarj etme ve talep yüksek olduğunda şebekeye güç gönderme ile yükleri dengelemeye yardımcı olmak için güç sağlanmasına izin verir.

Kamu hizmetleri için voltaj ve frekansı sabit tutmayı sağlayabilir. Ani güç taleplerini karşılamak için yeni yollar geliştirebilir. "Akıllı sayaçlar" ile birleştirilmiş bu hizmetler, V2G araçlarının şebekeye geri güç vermesine ve karşılığında şebekeye ne kadar güç verildiğine bağlı olarak maddi faydalar elde etmesine olanak tanımaktadır. Elektrikli araçların bu şekilde kullanımının, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir güç kaynaklarını rüzgârlı dönemlerde üretilen fazla enerjiyi depolayarak ve yüksek yük dönemlerinde şebekeye geri vererek etkili bir şekilde stabilize olabileceğini ortaya koymaktadır. Böylece rüzgâr enerjisinin sürekliliği sağlanabilir (V2G, 2020).

Bu teknoloji ile birlikte kamu hizmetlerinin, yüksek talebi karşılamak için çok fazla doğal gaz veya kömür yakıtlı enerji santrali inşa etmesi gerekmeyeceği öne sürülmüştür (V2G, 2020).

Yedek güç, modern elektrikli araçlar genellikle akülerinde ortalama bir evin günlük enerji ihtiyacından daha fazlasını depolayabilir. PHEV'in gaz üretme kabiliyeti olmadan bile, böyle bir araç birkaç gün boyunca acil durum gücü için kullanılabilir (örneğin, aydınlatma, ev aletleri vb). Bu, araçtan eve iletim teknolojisi (V2H) için bir örnek olacaktır. Bu nedenle, rüzgâr veya güneş enerjisi gibi aralıklı yenilenebilir güç kaynakları için tamamlayıcı bir sistem olarak görülebilirler. 5,6 kg'a kadar hidrojen içeren tanklara sahip hidrojen yakıt hücreli araçlar (FCV) 90 kWh'den fazla elektrik sağlayabilir (V2G, 2020; Wassink, 2016). Bu da kamu kurum ve kuruluşları için çok ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Tek yönlü V2G veya V1G, çift yönlü yerel V2G (V2H, V2B, V2X), çift yönlü V2G olarak 3 çeşit V2G vardır.

V2G teknolojisinin şebeke avantajlarının çoğu, V1G veya "akıllı şarj" olarak da bilinen tek yönlü V2G ile gerçekleştirilebilir. Kaliforniya Bağımsız Sistem Operatörü (CAISO), "tek yönlü yönetilen şarj hizmetleri" olarak V1G'yi tanımlar. AGH şebeke hizmetlerinin sağlayabileceği tüm yolları kapsar. Araç-şebeke Arabirimi (VGI), dört seviye olarak

tanımlanmaktadır (V2G, 2020; California ISO, 2014). Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Tek bir kaynak ve birleşik aktörlerle tek yönlü güç akışı (V1G)
- Toplu kaynaklara sahip V1G
- Parçalanmış aktör hedefleri olan V1G
- Çift yönlü güç akışı (V2G)

V1G, şebekeye yardımcı hizmetler sağlamak için elektrikli bir aracın şarj edildiği süreyi veya hızı değiştirmeyi sağlarken, V2G ayrıca ters güç akışı sağlayabilir. V1G, şebeke ile sürekli haberleşme halindedir. Şebeke uygun olduğu zamanda şarj işlemi gerçekleşebilir. Aşırı güneş üretiminin olduğu günün ortasında şarj edilecek araçları, frekans tepki hizmetleri, yük dengeleme gibi hizmetleri sağlamak için elektrikli araçların şarj oranını değiştirme uygulamalarını yapabilmektedir. V1G, V2G'nin fizibilitesi ile ilgili olarak mevcut teknik sorunlar nedeniyle elektrikli araçları kontrol edilebilir yükler olarak elektrik şebekesine entegre etmeye başlamak için en iyi seçenek görülmektedir. V2G'nin kendine özel donanım ihtiyacı vardır (özellikle çift yönlü invertörler). Oldukça yüksek kayıplara ve sınırlı gidiş-dönüş verimliliğine sahiptir ve artan enerji verimliliği nedeniyle elektrikli araçların pillerinin bozulmasına sebebiyet verebilir. Buna ek olarak, V2G'nin ekonomik olarak uygulanabilir olması için hala üzerinde çalışılması gerektiği görülüyor (V2G, 2020; California public utilities commission, 2017). Araçtan eve (V2H), araçtan binaya (V2B) veya araçtan her şeye (V2X) genellikle şebeke performansını doğrudan etkilemez fakat yerel ortamda bir denge oluşturur. Elektrikli araç, elektrik kesintisi olduğu dönemlerde yerleşik bir yedek güç kaynağı olarak veya üretilmiş enerjinin artan öz tüketim için kullanılabilir (V2G, 2020; Paulraj, 2020). Şebeke veya iletim sistemi kurumları, yoğun talep dönemlerinde müşterilerden enerji satın almaya veya birincil frekans regülasyonu ve ikincil rezerv dahil olmak üzere dengeleme ve frekans kontrolü gibi yardımcı hizmetler sağlamak için elektrikli araçların pil kapasitesini kullanmayı talep edebilirler. Bu nedenle, V2G, V2B veya V2H'den daha yüksek potansiyel de ticari değere sahip olduğu kabul edilir (V2G, 2020).

### 3.1.3. Verimlilik

Çoğu modern akülü elektrikli araç, % 90'dan daha fazla gidiş-dönüş verimliliği sağlayabilen lityum-iyon hücreler kullanır. Pilin verimliliği şarj hızı, şarj durumu, pilin sağlık durumu ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır (V2G, 2020). Bunlara ek olarak, kayıpların büyük bir kısmı batarya dışındaki sistem bileşenlerinde kaynaklanmaktadır. İnvörtörler gibi güç elektroniği bileşenlerinde de kayıplar olabilmektedir. Bir çalışmada, V2G sistemi için % 53 ila % 62 aralığında gidiş-dönüş etkinliği tespit edilmiştir (Shirazi ve Sachs, 2018). Başka bir çalışmada yaklaşık %70'lik bir verimlilik rapor edilmiştir (Apostolaki-Iosidou ve diğ, 2018). Bunların yanı sıra, genel verimlilik birkaç faktöre bağlıdır ve bu verimlilik kavramı büyük ölçüde değişebilir (V2G, 2020).

### 3.2. Temassız (kablosuz) şarj

Gün geçtikçe elektrikli araçlar yaygınlaşmakta ve kullanıcılar da araçlarını şarj etmek için şarj istasyonlarına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan istasyonlar araç sahiplerini uzun süre bekletmektedir. Yani ancak insanlar gitmek istedikleri yerlere ulaştıktan sonra park halindeyken araçlarını şarj edebilmekteler. Cep telefonu gibi birçok elektronik cihazda hem kablosuz hem de hızlı şarj mümkündür. Benzer bir teknolojiyi elektrikli araçlarla yapabilmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Böylece hem hızlı hem de temassız bir şekilde araçlar şarj edilebilirken aynı zamanda yol kenarlarında bile kullanılacak istasyonlar ile yaygın bir şarj istasyonu ağı kurulabilecektir. Bu çalışmalar yakın tarihte yapılmış gibi görünmekle beraber temelleri geçmişe dayanmaktadır.

Kablosuz şarj sistemi, bağlı Endüktif Güç Transferi (IPT) sistemi ile açıklanabilir (Terzi ve diğ, 2020). Elektrik ve manyetizma ilişkisi, Faraday yasası olarak James Clerk Maxwell tarafından matematiksel olarak formül haline getirilmiştir. Nicola Tesla ise uzun mesafe için kablosuz elektrik iletimini hayata geçirmiştir (Terzi ve diğ, 2020; Tesla, 1905). Bu sistemde yer alan birçok teknolojinin temelini Tesla atmıştır.

Primer bobinler elektrik gücünü manyetik güce dönüştürürken seconder bobinler ise üretilen elektromanyetik alan enerjisini toplar ve elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Bununla birlikte elektrikli araçların şarj işlemi

gerçekleştirilebilir. Bu olay ana transformatör kavramını açıklamaktadır (Terzi ve diğ, 2020; Gann ve diğ, 2018). Elektrik hasarlarını önlemek için bobinler aynı rezonans frekansına sahip olması gerekir. Akımı elektrikli aracın akülerine ileterek şarj işleminin başlaması sağlanmaktadır (Terzi ve diğ, 2020). Elektrik kontaklarının olmaması nedeniyle IPT sisteminin verici ve alıcısı bağımsızdır. Bu özellik kullanıcı için çok önemli olan güvenliği önemli ölçüde artıran faktörlerdendir (Terzi ve diğ, 2020; Cirimele ve diğ, 2018). Georgiy Babat, 1943'te EV üzerindeki IPT sisteminin ilk uygulamasını geliştirdi. Uygulamanın verimliliği sadece % 4'tü (Terzi ve diğ, 2020; Babat, 1947). İlk kablosuz şarj teknolojisi sabit olarak yapılmıştır. Sistem statik endüktif şarj sistemi olarak da tanımlanır. Elektrikli araçları şarj etmek için dinamik kablosuz şarj sistemi geliştirilmiştir (Terzi ve diğ, 2020; Jang, 2018).

Kablosuz şarj sistemlerinde önemli konulardan birisi de anten hizalamasıdır. Hanspeter Widmer bu konuda çalışma yaparak anten hizalaması için bir cihaz icat etti. Alıcı ve verici sistemleri, elektromanyetik alanın mukavemetini tespit etmek ve güç kaybını en aza indirmek için olabildiğince birbirine yakın konumlandırılmalıdır (Terzi ve diğ, 2020; Widmer ve diğ, 2012).

Statik olarak yapılan ve aracın hizmetten alınmasına sebep şarj işlemi yerine elektrikli araçların dinamik kablosuz şarjı, araç hareket halindeyken araç ile şebeke arasında güç alışverişi sağlaması nedeniyle tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir. Burada hareket halindeki araca enerji transferi yapacak şekilde yolun düzenlenmesi gerekmektedir. İhtiyacı olan araç tahsisli/ücretli şeridi kullanmak suretiyle şarjını tamamlayabilecektir. Bununla birlikte, geniş yol ağları göz önüne alındığında, engelleyici maliyetler nedeniyle her yol segmentinde altyapı birimlerinin bulunması pratik değildir. Dinamik temassız yol şarjına alternatif olarak, yüksek batarya gücüne sahip kamyon/otobüs gibi araçlardan veya Mobil enerji dağıtıcıları (MED) sayesinde aktif ve gerçek zamanlı enerji alışverişine izin verilir.

#### 3.2.1. Kablosuz şarj iletişimi

Bir IPT sisteminde, geri bildirim vermek için şarj cihazı tarafı ile elektrikli araç tarafı arasında bilgi alışverişi çok önemlidir. İletişim, sinyalin güç hatlarında modüle edilip edilmediğine veya

ayrı bir frekans bandı uygulayıp uygulamadığına göre ayrılabilir (Terzi ve diğ, 2020; Li ve Mi, 2014).

Kablosuz Güç Konsorsiyumu (WPC) tarafından düşük güçlü IPT sistemi için açık bir arabirim standardı geliştirilmiştir. Konsorsiyum “Qi” logosunu kullandı, bu nedenle standart da Qi Standardı olarak adlandırılmaktadır (Terzi ve diğ, 2020; Widmer ve diğ, 2012). Alıcı devresi vericiye gereken gücü bildirmesi gerektiğinden, iletişim standardı geliştirilir. Alıcı ile verici arasındaki iletişim, yük modülasyonu ile gerçekleştirilir. İletişim, alıcıdaki küçük bir kapasitif yük (Ccm) değiştirilerek ayarlanır (Terzi ve diğ, 2020; Van Wageningen ve Stering, 2010). 2 kHz sinyali Qi standardında güç taşıyıcı frekansına modüle edilir (Terzi ve diğ, 2020; Widmer ve diğ, 2012). DSRC elektrikli araçlar için özel kısa menzilli iletişim olarak adlandırılır. Bu yöntem Wi-Fi temel almaktadır (Terzi ve diğ, 2020; Li ve Mi, 2014). Wi-Fi ve DSRC sistemleri kıyaslanmıştır. Sonuç olarak RFID ve DSRC iletişim sistemleri hassas ve güvenilirdir. Ancak, gecikme sorunları nedeniyle, bunlar da bir IPT sistem için kullanılması uygun değildir (Terzi ve diğ, 2020; Azad ve diğ, 2018).

### 3.2.2. Kablosuz şarjın güvenliği ve insan sağlığına etkileri

İnsanlar için kablosuz şarjda en önemli konulardan biriside güvenlidir. Tüm cihazlar güvenlik standartlarına uymak zorundadır. Elektromanyetik dalgaların insan sağlığına olan etkileri ile ilgili bazı uluslararası standartlar kullanılmaktadır. Bu standartlar aşağıda sıralanmıştır;

- Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanlara İnsanları Maruziyetine İlişkin Güvenlik Sınırları 3 kHz - 300 GHz" Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) (Pashael ve diğ, 2016)
- Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruziyetin
- Sınırlanmasına İlişkin Kılavuz (300 GHz'e kadar) Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) (Pashael ve diğ, 2016)
- World Health Organization (WHO) Electromagnetic (Pashael ve diğ, 2016)

Bu standartlar arızaları önlemek ve insan sağlığını korumak için geliştirilmiştir. Elektrikli araçlar IPT sistemi tarafından şarj edildiğinde, elektromanyetik uyumluluk ve güç verimliliği nedeniyle düşük bir kilohertz aralığı (kabaca 10 kHz ila 100 kHz) kullanılmalıdır. Yakın alan maruz kalma senaryolarındaki uyarılmış elektromanyetik alanların güvenlik yönergelerine tamamen uygun olduğunu bulmuşlardır (Terzi ve diğ, 2020). Çok ciddi olmamakla birlikte bu sistemlere uzun süre maruz kalınması durumunda dokularda yanma, sinir sistemi bozuklukları, kas kasılmaları ve gözde bozukluklar gibi problemler ile karşılaşılabilir (Pashael ve diğ, 2016). Sıralanan bu üç standartla kullanıcıların kablosuz şarj konusundaki korkuları veya akıllarındaki soru işaretlerinin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

### 4. Sonuç

Fosil kaynakların her geçen gün azalması ve ülkelerin bu konuda kendi aralarında yaşadıkları problemler elektrikli araçları daha önemli kılmaktadır. Gerek fosil yakıt fiyatları gerekse kaynakların giderek azalması bu teknolojik araçların üzerine yapılan yatırımları artırmıştır. Aynı zamanda elektrikli araçlar içten yanmalı araçlara göre daha çevreci olması da geleceğin teknoloji olduğunun bir göstergesidir. Fakat günümüzde elektrikli araçların sayısı içten yanmalı araçlara göre hala çok azdır. Bu durumda şarj istasyonlarının ve elektrikli araç teknolojisinin henüz başında olmamızın etkisi çok büyüktür. Her geçen gün yeni teknolojiler gelişmekte ve araçlar değişmektedir. Araçlardaki bataryalar ve batarya teknolojilerinin gelişimi aynı şekilde şarj istasyonlarını etkilemektedir. Sadece kablolu şarj konusunda değil aynı zamanda kablosuz şarj teknolojilerinde de gelişmeler yaşanmaktadır. Gün geçtikçe daha hızlı ve güvenli şarj teknolojileri hayatımıza girmiştir. Kablosuz şarj teknolojisinin de gelişmesi ile daha pratik ve hızlı bir şarj imkânı gelecektir. Daha kısa sürede daha uzun menzil imkânı tanıyan istasyonlar geliştirilecektir. Şarj istasyonlarının yaygınlaşması, aynı benzin istasyonları gibi birçok noktada bulunması ile de araç satışları olumlu etkilenecektir. Birçok kullanıcı aracını nerede şarj edeceği konusundaki kaygılarından dolayı elektrikli araç almaktan çekinmektedir. Elektrikli araç teknolojisinin, batarya teknolojilerinin ve şarj



istasyonlarının gelişmesi ve çoğalması ile birlikte yollarda daha çok araç göreceğimizi söyleyebiliriz. Günümüzde petrol için verilen mücadele yakın zamanda elektrik ve elektrikli araç teknolojileri için verilecektir. Bu teknolojiyi günlük hayatına en hızlı şekilde adapte edebilen ülkeler gelecekte çok avantajlı bir konuma geçeceklerdir. Her ne kadar verimleri düşük ve göreceli olarak yatırım maliyetleri fazla olsa da sağladığı kullanım kolaylığı, zaman kazanımı, farklı model ve tiplerle kullanılabilirlik, kontak yapan parça azlığı sebebiyle yangın risk düşüklüğü gibi avantajları sebeplerle geleceğin elektrikli araçları için vazgeçilmez bir üstünlük getireceği kesindir.

### Kaynakça

**Apostolaki-Iosifidou, E., Kempton, W., Codani, P.** (2018). Reply To Shirazi and Sachs Comments on "Measurement Of Power Loss During Electric Vehicle Charging And Discharging". *Energy*. 142: 1142–1143.

**Aqueel, A., Alam, M. S., Chabaan, R.** (2018). A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 4, no. 1, pp. 38-63.

**Azad, A.N., Echols, A., Kulyukin, V.A., Zane, R., Pantic, Z.** (2018). Analysis, Optimization, and Demonstration of a Vehicular *Detection System Intended for Dynamic Wireless Charging Applications*.

**Babat, G.I.** (1947). Electrodeless Discharges And Some Allied Problems. *Journal of The Institution of Electrical Engineers-Part III: Radio and Communication Engineering*. 94(27): 27-37.

**Bayram, B.** (2017). Elektrikli Araç Şarj Yöntem ve İstasyon Tipleri. *Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği (TEHAD)*.

**Bayram, B.** (2019). Türkiye'deki Şarj İstasyonu Sayısı Elektrikli Otomobili Yakaladı. *Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği (TEHAD)*.

**Birleştirici, A., Şalçı, M.S., Dilkulak, A., Güler, F., Turhan, E.** (2015). Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

**California ISO.** (2014). Vehicle-Grid Integration (VGI) Roadmap: Enabling Vehicle-Based Grid Services.

**California Public Utilities Commission.** (2017). *Southern California Edison Company's Department of Defense Vehicle-to-Grid Final Report*.

**CHAdEMO Association.** (2011). Technical Specifications of Quick Charger for The Electric Vehicle.

**Chen, C., Huang, X., Tan, L., Wen, F., Wang, W.** (2015). Electromagnetic Environment and Security Evaluation for Wireless Charging of Electric Vehicles.

**Cirimele, V., Diana, M., Freschi, F., Mitolo, M.** (2018). Inductive Power Transfer for Automotive Applications: *State-of-The-Art and Future Trends*.

**Csonka, B., Havas, M., Csiszár, C., Földes, D.** (2020). Operational Methods for Charging of Electric Vehicles. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 48(4), pp. 369-376.

**Elghitani, F., El-Saadany, E.F.** (2020). Efficient Assignment of Electric Vehicles to Charging Stations. *IEEE Transactions on Smart Grid*.

**Fernandez, L. M., Serra, F., Angelo, C. D., Montoya, O.** (2020). Control of a Charging Station for Electric Vehicles. *Energies* 12(20):3971.

**Gil, A., Sauras-Perez, P., Taiber, J.** (2014). Communication Requirements for Dynamic Wireless Power Transfer for Battery Electric Vehicles.

**Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., Bennehag, A.** (2018). Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles: *Today's Situation and Future Needs*.

**He, Y., Bhavsar, P., Chowdhury, M., Li, Z.** (2015). Optimizing The Performance of Vehicle-To-Grid (V2G) Enabled Battery Electric Vehicles Through a Smart Charge Scheduling Model. *International Journal of Automotive Technology*, 827–837.

**Jang, Y.J.** (2018). Survey of The Operation And System Study on Wireless Charging Electric Vehicle Systems.

**Kaymaz H.** (2018). Hibrit ve Elektrikli Metrobüs Araçları İçin Sürüş Çevrimi

Oluşturulması. *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi FBE*

**Kontrol ve Haberleşme Pinleri** <[https://en.wikipedia.org/wiki/SAE\\_J1772#Control\\_Pilot](https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772#Control_Pilot)>, erişim tarihi 23.03.2020

**Kubat, D.** (2019). Elektrikli Araç Şarj Standartları ve Altyapısı. Elektrikport.

**Kumar, V. V. S. P., Sharmila D.** (2019). Wireless Charging of Electrical Vehicles. *International Journal of Innovative Technology And Exploring Engineering (IJITEE)*.

**Lazzaro, V.** (2010). The Interface Between The Electric Vehicle and Infrastructure.

**Li, S., Mi, C.C.** (2014). Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications.

**Li, T., Zhang, J., Zhang, Y., Jiang, L., Li, B., Yan, D., Ma, C.** (2018). An Optimal Design and Analysis of a Hybrid Power Charging Station for Electric Vehicles Considering Uncertainties. *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*.

**Liao, C., Yang, B.** (2018). Phases-Controlled Coordinated Charging Method for Electric Vehicles. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*.

**Lindeman, T.** (2018). Electric School Buses Can Be Backup Batteries for the US Power Grid.

**Liu, Z., Wen, F., Ledwich, G.** (2012). Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*.

**Marinescu, A., Vintilia, A., Marinescu, D.G., Nicolae, V.** (2016). Contactless Battery Charging for EV/HEV. *International Congress of Automotive and Transport Engineering*.

**Mathoy, A.** (2008). Definition And Implementation Of A Global EV Charging Infrastructure. BRUSA Elektronik.

**Mouli, G. R. C., Kaptein, J., Bauer, P., Zeman, M.** (2016). Implementation Of Dynamic Charging And V2G Using Chademo And CCS/Combo DC Charging Standard. 2016 *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*.

**Mroczek, B., Kołodyńska, A.** (2020). The V2G Process With The Predictive Model.

**Mude, K. N.** (2018). Battery Charging Method For Electric Vehicles: From Wired To on-Road Wireless Charging. *Chinese Journal of Electrical Engineering* 4(4):1-15.

**Muratoğlu, Y. & Akkaya A.** (2016). Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme.

**Pashaei, A., Aydın, E., Polat, M., Yıldırım, E., Aydemir, M.T.** (2016). Elektrikli Araçlar İçin Temassız Güç Aktarım Sistemi. *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 6 Sayı 11.

**Paulraj, P.** (2020). What Are V1G, V2G And V2H / V2B / V2X Smart Charging? | Integrating Electric Vehicles Into Power Grid.

**Polat, C. & Kılınc, N.** (2007). Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojisi Ürünleri Pazarı. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, Cilt: 4 Sayı: 2.

**Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M.S., Yumurtacı, G., Gül, Ö.** (2015). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Durumu.

**Rajendran, G., Vaithilingam, C., Naidu, K., Oruganti, K.** (2020). Energy-Efficient Converters for Electric Vehicle Charging Stations. *SN Applied Sciences* 2(4).

**SAE International.** (2001). SAE J1772 - SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler", Appendix A, Typical Pilot Line Circuitry.

**SAE International.** (2010). SAE Ground Vehicle Standards Status of work – PHEV +.

**SAE International.** (2012). SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler. Society of Automotive Engineers.

**Seri Hibrid** <<https://www.ototeknikveri.com/teknik-bilgi/97/seri-hibrid-elektrikli-araclar>>, erişim tarihi 03.03.2020

**Shirazi, Y.A. & Sachs, D.L.** (2018). Comments on "Measurement Of Power Loss During Electric Vehicle Charging And Discharging" – Notable Findings for V2G Economics.

**Sivasankar, P., Raathy, G. A.** (2020). A Study On Charging Infrastructure and The Topologies

of Fast Charging Techniques in Electric Vehicle. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*.

**Subudhi, P. S., Krithiga, S.** (2020). Wireless Power Transfer Topologies used for Static and Dynamic Charging of EV Battery: A Review. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 21(1).

**Şarj Modları** < <https://esarj.com/sarj-modlari> >, erişim tarihi 07.03.2020

**TEPCO.** (2010). General Outline of CHAdeMO Association.

**Terzi, U.K., İlhan, H.E., Kaymaz H., Erdal H., Çalık H.** (2020). A Review of Commercial Electric Vehicle Charging Methods., doi.org/10.7307/ptt.v32i2.3252

**Tesla, N.** (1905). The Transmission Of Electrical Energy Without Wires as a Means for Furthering Peace. *Electrical World Engineer*. 1: 21-24.

**Uddin, K., Jackson, T., Widanalage, D., Chouchelamane, G., Jennings, P.A., Marco, J.** (2017). On The Possibility Of Extending The Lifetime of Lithium-Ion Batteries Through Optimal V2G Facilitated by an Integrated Vehicle and Smart-Grid System.

**Üstkoynucu, N.** (2018). Hibrid ve Elektrikli Arabalar Ders Notu. Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri.

**V2G** <<https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>>, erişim tarihi 28.03.2020

**Van Wageningen, D. & Staring, T.** (2010). The Qi wireless power standard.

**Wang, S. & Dorrell, D.** (2013). Review of wireless charging coupler or electric vehicles. *Industrial Electronics Society, IECON*.

**Wassink, J.** (2016). Hydrogen Car as Power Backup.

**Widmer, H., Sieber, L., Cook, N.P.** (2012). Antenna Alignment and Vehicle Guidance for Wireless Charging of Electric Vehicles.

**Yağcıtekin, B., Uzunoglu, M., Karakaş, A.** (2013). A New Deployment Method for Electric Vehicle Charging Infrastructure. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24(3):1292-1305.

**Yong, J.Y., Ramachandaramurthy, V.K., Tan, K.M., Mithulananthan, N.** (2015). A Review on The State-of-The-Art Technologies Of Electric Vehicle, Its Impacts And Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49: 365-385.

Araştırma makalesi

## Trafik işaret levhası tespiti için derin öğrenme yöntemi

Mert Çetinkaya<sup>1,\*</sup>, Tankut Acarman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Computer Engineering Department, Faculty of Technology and Engineering,  
Galatasaray University, İstanbul, Turkey

\*Correspondence: [mcetinkaya@gsu.edu.tr](mailto:mcetinkaya@gsu.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada araç üzerinde bulunan kamera algılayıcısı ile çekilen trafik sahne resimleri üzerinde trafik işaret levhası tespiti için verimli bir yöntem öneriyoruz. Yöntemimiz temelde derin öğrenmeye dayalıdır ve hesaplama işlem süresini kısaltmak için istatistiksel yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Yöntemimizi oluşturan algoritmamız 3 adımdan oluşmaktadır. İlk olarak derin öğrenmeye dayalı bir görüntü segmentasyonu yapılmaktadır ve görüntüden bazı bölge önerileri çıkarılmaktadır. Sonra, hipotez testleri yapılarak içerisinde trafik levhası olma olasılığı düşük olan bölge önerilerinden bazıları elenmektedir. Son adımda ise uygun şekilde eğitilmiş olan Convolutional Neural Networks (CNN) sınıflandırıcımız kalan bölge önerileri üzerinde kullanılmaktadır ve sınıflandırıcı tarafından trafik levhası içerdiği güçlü bir şekilde saptanan bölge önerilerinin trafik levhası içerdiği kabul edilmektedir. Burada, ilk adımda verimli ve hızlı çalışan bir görüntü segmentasyonu yaklaşımı kullanılmaktadır. İkinci adımda da hipotez testi gibi basit bir yaklaşım ile hızlıca bazı elemeler yapılmaktadır. Algoritmamızı Alman Trafik İşareti Algılama Karşılaştırması (German Traffic Sign Detection Benchmark (GTSDB)) veri setini kullanarak test ettik ve algoritmamızın kullandığımız metriklere ve hesap işlem süresi maliyetine göre açık kaynak literatürde yayınlanmış başka yöntemlerle kıyaslandığında umut verici olduğunu ve başarılı sonuçlara ulaştığını gördük. Deney sonuçlarımıza göre bu alanda sıkça kullanılan precision ve recall performans metrikleri için %90 - %95 seviyesinde sonuçlara ulaştığımızı ve resim başına işlem süresi konusunda da 0.41 saniye seviyesini sağladığımızı test ettik.

**Anahtar Kelimeler:** Derin öğrenme, trafik işaret levhası tespiti, görüntü segmentasyonu

### A deep learning method for traffic sign detection

**Abstract:** In this paper, we propose an efficient method for traffic sign detection on traffic scenes taken by a camera placed on car. Our method mostly depends on deep learning and statistical methods are also used to shorten the processing time. Our algorithm in the method consists of 3 steps. Firstly, a deep learning based image segmentation is done and some region proposals are extracted from image. Then, some hypothesis tests are done and some of the region proposals whose probability to include a traffic sign is low are eliminated. At the last step, our nicely trained Convolutional Neural Networks (CNN) classifier is used on remaining region proposals and a region proposal is accepted to contain a traffic sign if it is strongly found in that way by our classifier. Here, an efficient and rapid image segmentation approach is used at the first step and some eliminations are quickly made at the second step using a simple approach like hypothesis test. We tested our algorithm on German Traffic Sign Detection Benchmark (GTSDB) dataset and concluded that our algorithm reaches promising and successful results according to our metrics and processing time compared to other methods published in the open literature. With regards to our experiment results, we saw that we reached 90% - 95% levels according to precision and recall metrics that widely used in this working domain and we reached 0.41 seconds level for processing time per image.

**Key words:** Deep learning, traffic sign detection, image segmentation

\* Corresponding author. Tel.: +90-212-227-4480 ext 1468; fax: +90-212-259-1064

E-mail address: [mcetinkaya@gsu.edu.tr](mailto:mcetinkaya@gsu.edu.tr)

ORCID: 0000-0001-9859-0798 (in hierarchical order)

Received 27 August; accepted 16 October

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

## 1. Giriş

Trafik levhası tespit etme ve tanıma ileri sürüş destek sistemlerinde önemli bir teknolojik elemandır (Malik ve Siddiqi, 2014). Bu özelliğin kullanım alanları içerisinde otonom sürüş, ileri sürüş destek sistemleri, trafik levhası haritalarının oluşturulması ve bakımı gibi konular yer alır. Bunun ışıklandırılmadan dolayı olan zorlu koşullar, levhanın önünün araç, ağaç vb. başka nesnelere ile kapanması ya da perdelenmesi, bakış açısındaki değişimler, hava ya da ışık koşulları, levhadaki eskimeler, levhalarda üretim sırasındaki insan ya da üretim kaynaklı farklılıklar gibi durumlar sebebiyle zorlayıcı bir gerçek dünya bilgisayar görüşü problemi olduğunu söyleyebiliriz. Buradaki problem aslında 2 etaptan oluşur: Trafik Levhası Tespiti (TLT) ve Trafik Levhası Sınıflandırma (TLS). TLT trafikteki görüntüler üzerindeki trafik levhaları için ilgi bölgelerini ve trafik levhasının sınırlarını belirlemek ile uğraşır. İyi bir TLT algoritması görüntü üzerinde mümkün olduğunca fazla trafik levhası bulmalı ve bunu yaparken en az miktarda yanlış tespitte bulunmalıdır. TLT belirlenen bölge için sınıflandırma problemiyle ilgilenmez. Bu problem ile TLS ilgilenir. Başarılı bir TLS algoritması daha önce belirlenen sınıflardan birine ait olarak verilen bir trafik levhası görüntüsünü mümkün olduğunca en az hata ile sınıflandırmalıdır (Berkaya vd, 2016).

Bu çalışmada TLT problemi için akıllı ve verimli bir yaklaşım öneriyoruz. Burada ana odak noktamız TLT problemi ancak algoritmamız TLS sistemi ile trafik işareti sınıflandırma da yapmaktadır. Algoritmamız 3 etaptan oluşmaktadır. Algoritmamız kapsamında ilk adımda derin öğrenme ile semantik görüntü segmentasyonu yaptık. Bu semantik görüntü segmentasyonu için önceden eğitilmiş ve kısa süre içinde çalışan bir sinir ağı kullandık. Bu ilk adımın sonunda bazıları trafik levhası görüntüsü içeren bölge önerileri elde ettik. Sıradaki adımlardaki hedefimiz ise bu bölge önerileri arasından trafik levhası içerenleri seçip trafik levhası içermeyenleri verimli bir şekilde elemek oldu. Burada önem verdiğimiz 2 nokta bulunmaktadır. Algoritmamız trafik levhalarını doğru bir şekilde tespit etmeli ve sınıflandırmalıdır ve özellikle gerçek zamanlı çalışan ileri sürücü destek sistemleri ve otonom sürüş için kullanışlı olması açısından algoritmamız hızlı

bir şekilde çalışmalıdır. Hızlı çalışan bir mekanizma elde edebilmek için ikinci adımda basit hipotez testleri kullandık ve ilk adım sonunda bulunan bazı bölge önerilerini hızlı bir şekilde eledik. Deney sonuçlarımıza göre hipotez testi kullanımının sistemin daha hızlı çalışmasını sağlama konusunda yararlı olduğunu gördük ve hızlı çalışma konusunun da ileri sürücü destek sistemleri ve otonom sürüş alanında bu tip bir uygulama için oldukça önemli olduğunu söylemek gerekir. İkinci adım sonunda ilk adım sonunda elde edilen bazı bölge önerilerinin bu şekilde elenmesinin ardından üçüncü adıma geçtik. Üçüncü ve son adımda ise tekrar derin öğrenme kullandık ve derin öğrenme tabanlı sınıflandırıcımıza kalan bölge önerilerini girdi olarak verdik. Sınıflandırıcımızın verilen girdinin herhangi bir sınıfa ait olmasını yüksek olasılıkla bulması durumunda verilen girdiyi trafik levhası içeriyor olarak kabul ettik. Bu sayede bölge önerisinin sınıflandırmasını da yaptık.

Çalışmanın kalan kısmı şu şekilde ilerlemektedir: 2. bölümde kullandığımız veri setini daha detaylı bir şekilde tanıtıyoruz, 3. bölümde TLT ve TLS ile ilgili eskiden yapılmış çalışmaları sunuyoruz, 4. bölümde yöntemimizi tanıtıyoruz, 5. bölümde deney sonuçlarımızı kullandığımız metriklere göre sunup kendi sonuçlarımızı diğer araştırmacıların sonuçları ile kıyaslıyoruz ve 6. bölümde çalışma sonunda elde ettiğimiz çıkarımları sunuyoruz.

## 2. Veri seti

Modelimizi eğitmek ve test etmek, sonuçlarımızı sayısal olarak değerlendirmek için GTSDB veri setini kullandık ve bazı metriklere göre sonuçları inceledik.

GTSDB veri seti TLT ve TLS sistemlerinin değerlendirilmesi ve testi için yaygın olarak kullanılan erişilebilir bir veri setidir. Veri seti Houben vd. (2013) tarafından hazırlanmıştır. Veri setinde Almanya'da çekilmiş olan 1360x800 piksel çözünürlüğe sahip 900 resim (araç üzeri kameradan çekilen trafik görüntü sahnesi) bulunmaktadır ve resimlerdeki trafik levhalarının koordinat ve sınıf bilgisi algoritmaların eğitiminde kullanılmak üzere etiket olarak verilmektedir. Trafik levhaları 43 farklı sınıfa aittir ve 900 resim arasında eğitim ve test veri seti dağılım oranı 600 resim eğitim

ve 300 resim test olacak şekilde %66.6-%33.4 şeklindedir (Temel vd, 2019).

### 3. Literatür tarama

Daha önce belirttiğimiz gibi problemimiz aslında 2 etaptan oluşuyor: TLT ve TLS. Tekrar hatırlamak gerekirse TLT bir görüntüdeki potansiyel trafik levhalarını tespit etmek iken TLS seçilen bölgelerdeki trafik levhasının sınıfını belirlemek ya da ilgili bölgede trafik levhası olmadığına karar vermek anlamına gelir (Yuan vd, 2015).

Bu konularda yayınlanmış çalışmalara bakarsak, ilk çalışmanın 1984 yılında Japonya'da yapıldığını söyleyebiliriz. Bu çalışmada yol ve trafik levhası tespit ve tanıma işlemi genel olarak tanıtılmaktadır, temel karakteristik özellikler, gereklilikler ve zorluklar sunulmaktadır ve bu kapsamda kullanılacak temel görüntü işleme teknikleri anlatılmaktadır (Fleyeh ve Dougherty, 2005). Bu çalışmayı takiben bu konularda başka pek çok çalışma da yapılmıştır (Serna ve Ruichek, 2018). Daha güncel ve yeni araştırmalara baktığımızda görüntü işleme tekniklerinin kullanımının, görüntülerden özellik çıkarımı yapılmasının ve çıkarılan bu özelliklerin Support Vector Machine (SVM), karar ağacı tabanlı yaklaşımlar ve bazı istatistiksel yöntemler ile kullanımının ağırlık kazandığını gözlemlemekteyiz. Ek olarak, Convolutional Neural Networks (CNN) kullanımının da, özellikle son zamanlarda yapılan çalışmalara baktığımızda oldukça yaygın olduğunu söyleyebiliriz. CNN yaklaşımının bu alanda çok başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu da eklememiz gerekir. Stallkamp vd. (2012) de yaptıkları çalışmada TLS konusunda CNN yaklaşımının insandan daha başarılı sonuçlar elde ettiğini gösterdiler. Burada, CNN mimarileri arasında çok fazla çeşitliliğin de olduğunu ve TLT problemlerinde de bölge önerisi yapan CNN tabanlı sinir ağlarının kullanılabilirliğini eklemek gerekir.

Daha modern yaklaşımlara biraz daha yakından bakarsak Xu vd. (2019) trafik levhalarını tespit etmek için renk segmentasyonu ve şekil simetrisine dayalı bir hipotez testi yaklaşımı kullandılar. Yaptıkları çalışmada renk değerleri üzerinden yaptıkları normalizasyon çalışmasına göre resimden segmente edilen uygun bölgeleri hipotez testine dayalı bir şekil simetri algılama

algoritmasına tabi tutarak simetrik bölgeleri tespit etmeye çalıştılar ve bu sayede trafik levhalarını tespit ettiler. Agrawal ve Chaurasiya (2017) çalışmalarında renk segmentasyonu ve Hue Saturation Intensity (HSI) ile eşikleme yaparak trafik levhalarını tespit ettiler. Sonrasında ise geometrik Hu momentlerinden yararlanarak şekil tespiti yaptılar. Devamında ise HSI ve Histogram of Oriented Gradients (HOG) tabanlı bir yaklaşım ile özellik çıkarımı yapıp Principal Component Analysis (PCA) uyguladılar. En sonunda da SVM kullanarak sınıflandırma yaptılar. Yuan vd. (2015) çizge tabanlı bir trafik levhası tespit etme yaklaşımı önerdiler. Kullandıkları çizge tabanlı algoritmada düğümler arasında renk, biçim, şekil ve bağlamsal özellikleri kombine ettiler ve trafik levhalarını tespit ettiler. Sonrasında ise HOG özellikleri ve SVM kullanarak sınıflandırma yaptılar. Ellahyani vd. (2016) 3 adımlı bir trafik levhası tespit ve tanıma yaklaşımı önerdiler. İlk adımda görüntüyü HSI renk alanına göre segmente ettiler. Sonrasında ilk adımda çıkarılan blobları işleyerek trafik levhalarını tespit ettiler. En sonunda da tespit edilen trafik levhalarını Random Forest ile sınıflandırdılar. Arcos-García vd. (2018) çalışmasında derin öğrenme odaklı yaklaşımları kullandılar ve bunlar arasında bir analiz ve karşılaştırma çalışması yaptılar. Faster R-CNN, R-FCN, SSD ve YOLO V2 gibi bölge önerisi için kullanılan sinir ağlarını trafik levhalarını tespit etmek için kullandılar. Sonrasında ise bunları Resnet V1 50, Resnet V1 101, Inception V2, Inception Resnet V2, Mobilenet V1 ve Darknet-19 gibi özellik çıkarıcı/sınıflandırıcı ağlar ile kombine ederek trafik levhası tespit ve tanımda bu yapıları kullandılar. En çok öne çıkan model olarak ise Faster R-CNN Inception Resnet V2 modelini gösterdiler. Torres vd. (2019) çalışmasında, eğitim sırasında, sadece trafikten alınan sahneleri ve taslak olarak kullandıkları yapay olarak ürettikleri trafik levhalarını kullandılar. Çalışmaları kapsamında trafik levhası tespiti için Faster R-CNN nesne tespit edicisinden yararlandılar. Bu şekilde bir veri seti oluşturma ve eğitim yolunu tercih ettiler ve böyle yaparak da nesne tespit edici bir sistem oluşturulabileceğini gösterdiler. Rahman vd. (2019) çalışmasında daha önceden farklı bir veri seti ile eğitilmiş olarak aldıkları Inception V2 sınıflandırıcı ile çalışan Single Shot Multibox nesne tespit edici ağını kullandılar ve onu kendi veri setleri ile tekrar eğittiler. Eğitim

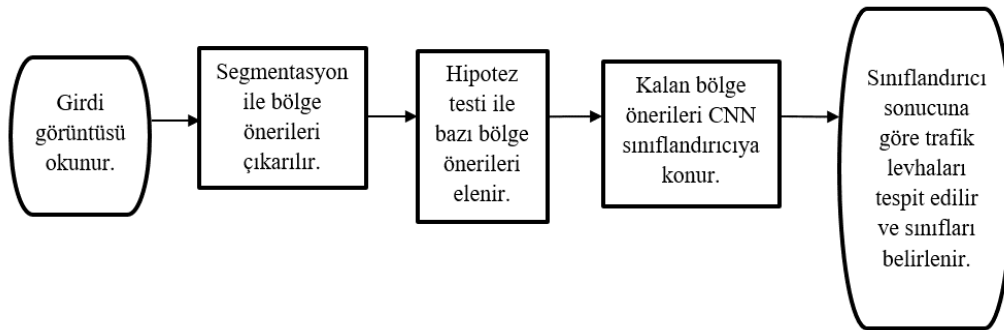
sırasında daha çok gerçekte var olan ancak tespit edilemeyen trafik levhalarına odaklandılar. Gerçekte tespit edilemeyen trafik levhalarını daha başarılı bir şekilde tespit edebilmek için modelin içinde çalışma sırasında üretilen özellik haritalarına odaklandılar ve var olan trafik levhasının kaçırıldığı bazı durumlarda bu özellik haritalarındaki artan hareket ve çeşitliliği kullanarak modellerinin bu konudaki performansını artırmaya çalıştılar. Mathias vd. (2013) entegre kanal özellikleri ve Haar özellikleri kullandılar ve çıkardıkları bu özellikler ile trafik sahnelerindeki birçok aday bölgede, lineer ve ağırlıklı bir şekilde kombine ettikleri karar ağaçlarından sınıflandırıcı olarak yararlandılar. Jung vd. (2016) 6 tipte trafik levhası üzerinde çalıştılar. Çalışmaları sırasında sınıflandırma için LeNet-5 CNN mimarisi kullandılar. Aday bölgeleri belirlerken de renk tabanlı segmentasyon ve Hough dönüşümünden yararlandılar. Li vd. (2016) tespit için modifiye edilmiş bir R-CNN

ağını sınıflandırma için de Cuda-convnet sinir ağını kullandılar. Çalışmalarını sadece hız sınırı bilgisini veren trafik işaret levhaları üzerine yaptılar. Abedin vd. (2017) yaptıkları çalışmada bulanık kurallara dayalı renk segmentasyonu ile trafik levhalarını tespit ettiler ve tanıma için de çıkarılan bölge önerileri üzerinde Speeded Up Robust Features (SURF) ve Artificial Neural Networks (ANN) kullandılar. Song vd. (2019) çalışmasında hem tespit hem sınıflandırma için kendi CNN tabanlı modellerini geliştirdiler. Modellerini tasarlarken otonom sürüş için önemli olan bellekte az yer kaplama ve hızlı çalışma gibi konuları da göz önünde bulundurarak az parametrelili ve daha küçük bir mimari tercih ettiler.

#### 4. Önerilen yöntem

Daha önce belirttiğimiz gibi önerdiğimiz algoritma 3 kısımdan oluşmaktadır. Algoritma kısımlarını Tablo 1'deki gibi görselleştirebiliriz.

**Tablo 1.** Algoritmamızdaki temel kısımlar.



Bu kısımların görevleri semantik görüntü segmentasyonuna bağlı bölge önerisi çıkarımı, hipotez testi ile bazı bölge önerilerinin elenmesi ve CNN tabanlı sınıflandırılması şeklindedir. Bu tablodaki adımlar bir girdi görüntüsü üzerinden de ayrıca detaylı olarak açıklanacaktır.

##### 4.1. Semantik görüntü segmentasyonu

Semantik görüntü segmentasyonu bir görüntüdeki her bir pikseli bir sınıfa atama ve piksel seviyesinde görüntü sınıflandırma anlamına gelir. Görüntü işleme ve bilgisayar görüşü alanındaki temel uygulamalardan

biridir ve tıp, akıllı ulaşım gibi farklı alanlarda kullanılabilir (Liu vd, 2019).

Bu çalışmada semantik görüntü segmentasyonu için Efficient Neural Networks (ENet) mimarisini kullandık. ENet ilk olarak Paszke vd. (2016) tarafından yeni bir derin sinir ağı modeli olarak önerildi. ENet modelinin en önemli avantajlarından birisinin oldukça hızlı olması olarak gösterilebilir. ENet var olan modellerden 18 kata kadar daha hızlıdır, 75 kat daha az FLOP gerektirir, 79 kat daha az parametre içerir ve benzer veya daha iyi sonuçlar verir. Model ile ilgili bir başka güzel nokta ise modelin kendisinin gerçekten

oldukça küçük olmasıdır. Model 3 MB civarı yer kaplar. Bu model, özellikle düşük gecikmeli çalışma gerektiren görevler için oluşturulmuştur (Paszke vd, 2016).

Bu çalışma kapsamında Cityscapes veri setindeki (Cordts vd, 2016) aşağıdaki daraltılmış sınıflar ile önceden eğitilmiş olan hazır bir ENet modeli kullandık.

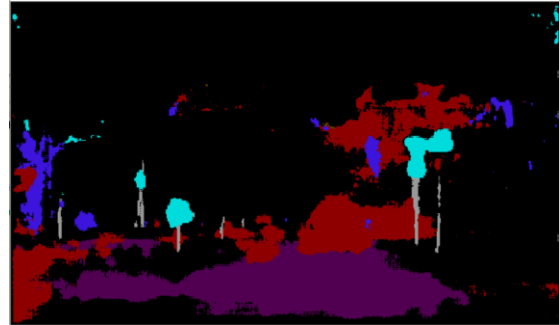
- Yol
- Direk
- Trafik işareti
- İnsan
- Araba
- Kamyon
- Otobüs
- Etiketlenmemiş

Cityscapes veri setinden bahsedecek olursak, Cordts vd. (2016) tarafından yayınlandığını ve çoğunlukla Almanya'dan ve bazı çevre ülkelerden olmak üzere ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinden birkaç ay boyunca hareket eden bir arabadan alınan birkaç yüz binlik video karesinden oluşan bir veri seti olduğunu söyleyebiliriz. İsminden de anlaşılacağı gibi veri seti kentsel yaşama ait görüntüler içerir ve bu görüntüler nesne tespit algoritmaları için de kullanılabilir. Bu çalışmada da GTSDDB veri setini kullanıyor olduğumuzu düşündüğümüzde bu veri seti ile eğitilmiş bir modelin kullanmanın anlamlı olduğunu söyleyebiliriz. Aynı şekilde trafik levhaları konusunda Almanya'ya benzeyen bir başka ülkeye ait veri seti de yine bu model ile kullanılabilir. Trafik levhalarının benzer olduğu, o ülkenin, örneğin Viyana Karayolu İşaretleri ve Sinyalleri Sözleşmesine üye bir ülke olup olmadığına bakılarak anlaşılabilir. Almanya bu sözleşme kapsamındaki bir ülkedir ve bu sözleşme kapsamındaki ülkelerin trafik levhaları birbiriyle çok benzer ya da aynı olacaktır. Cityscapes veri seti oluşturulurken fotoğrafları alınan Almanya ve komşusu ülkeler bu sözleşmeye üye ülkelerdir (Cordts vd, 2016).

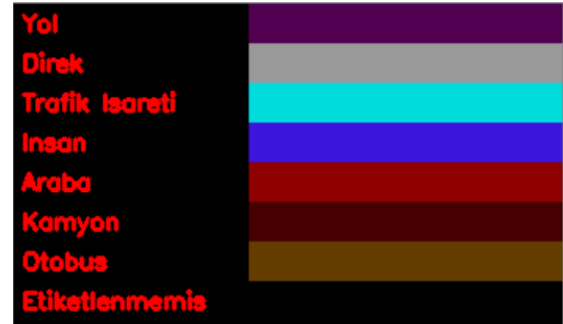
ENet tarafından yapılan semantik segmentasyona daha yakından bakacak olursak; Görsel 1'de GTSDDB veri setinden örnek bir resim görüyoruz. Görsel 2'de ve Görsel 3'te ise ENet çıktısı olarak Görsel 1'deki resmin segmente edilmiş halini ve ilgili lejanti görüyoruz.



**Görsel 1.** GTSDDB veri setinden örnek bir resim.



**Görsel 2.** ENet modelimiz tarafından segmente edilmiş resim.



**Görsel 3.** ENet modelimiz için segmentasyon lejanti.

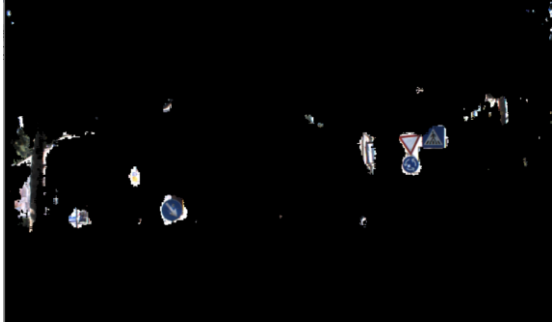
Görsel 1 ve Görsel 2'yi eşit ağırlıklar ile birleştirmemiz durumunda ise Görsel 4'ü elde ediyoruz. Görsel 4 segmentasyon sonuçlarımız açısından daha fazla bilgi vermektedir.



**Görsel 4.** Görsel 1 ve Görsel 2'nin eşit ağırlıklar ile kombinasyonu.

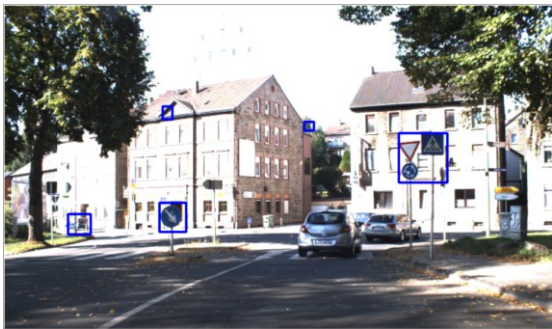


Yöntemimizin 1. adımını kapsamında, segmentasyon operasyonu sonucunda Görsel 1'deki trafik levhası bölgelerini bir maskeleme operasyonu ile çıkardık ve Görsel 5'teki çıktıyı elde ettik. Bu trafik levhaları ENet tarafından yapılan görüntü segmentasyonumuz sonucunda çıkarıldı.



**Görsel 5.** Görsel 1'den ENet tarafından trafik levhaları çıkarıldı.

Bir sonraki etapta ise trafik levhası olarak çıkarılan bölgelerin çevrelerine eğer bu bölgeler kare benzeri ve uygun boyutlarda ise çevreleyici kareler çizdik. Çevrelerine bu şekilde kareler çizilen bölgeler artık onların potansiyel trafik levhası olarak görüldüğü anlamına gelir. Bu işlem sonucunda Görsel 6'daki resim elde edildi.



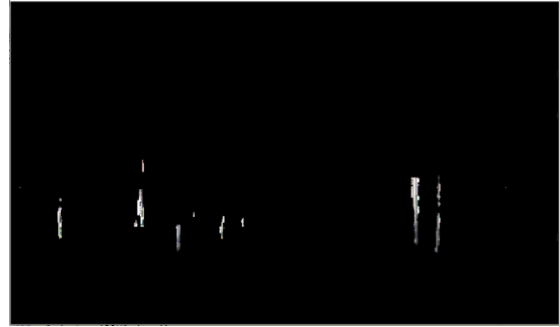
**Görsel 6.** Görsel 5'te çıkarılan potansiyel trafik levhaları çevrelerine mavi kareler çizilince elde edilen görüntü.

Görsel 6'yı elde ettikten sonra Görsel 5'teki konturları da Canny kenar tespit algoritması ve Suzuki ve Abe (1985) tarafından önerilen ve bu alanda yaygınca kullanılan algoritmayı kullanarak bulduk. Burada kontur bulmanın şekil analizi, nesne tespit etme ve tanıma gibi konularda oldukça kullanışlı bir araç olduğunu söylemek gerekir. Bu adımdan sonra bulunan konturların çevresine yeşil kareler çizerek Görsel 7'yi elde ettik.



**Görsel 7.** Görsel 5'te çıkarılan görüntülerin konturlarının çevresine yeşil kare çizince Görsel 6'nın devamı olarak elde edilen görüntü.

Bu adımın sonrasında ENet modelimizi kullanarak görselimizden aynı zamanda direkleri de çıkardık. Görsel 8, Görsel 1'den çıkarılan bu direkleri göstermektedir.



**Görsel 8.** Görsel 1'den çıkarılan direkleri.

Görselden bu direkleri çıkardıktan sonra, bu direklerin tepesine kırmızı ve kare şeklindeki çevreleyici kareler çizdik. Çizilen karelerin trafik levhası olabilecek şekilde uygun genişlik ve yüksekliğe de sahip olmasına özen gösterdik. Çizilen bu kırmızı kareleri Görsel 9'da Görsel 7'nin bir devamı olarak görebiliriz.



**Görsel 9.** Görsel 8'de bulunan direklerin tepesine kırmızı kareler çizince Görsel 7'nin devamı olarak elde edilen görüntü.

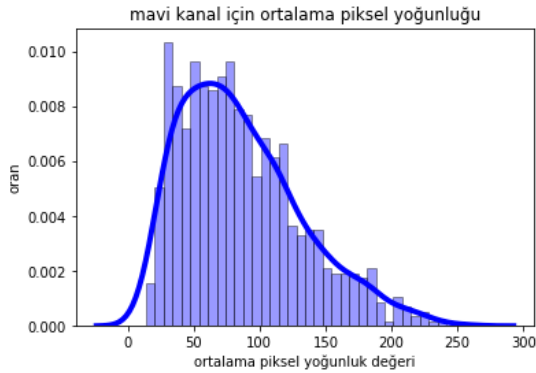
Bu noktada bölge önerilerimizi tanımlamış olduk. Şimdi hipotez testi ile bazılarını elimine edeceğiz.

#### 4.2. Hipotez testi ile bölge önerisi eliminasyonu

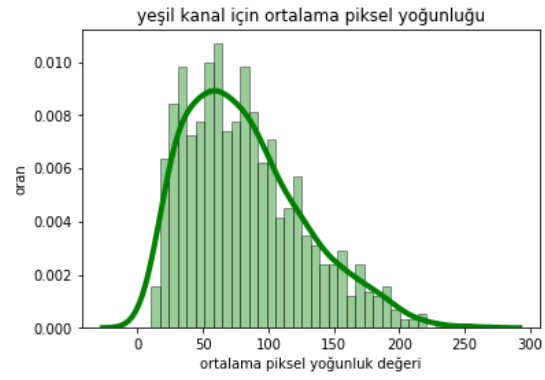
Bu adımda Görsel 9'da önerilen bölgelerden bazıları hipotez testi ile elenecektir. Hipotez testinin güzel yanı ise basit olması ve hızlı çalışmasıdır.

Hipotez testimizi yaparken önerilen bölge içinde ve dışındaki ortalama piksel yoğunluk değerlerini ve modelimiz tarafından segmente edilen yolun merkezi ve ilgili bölge önerisinin merkezi arasındaki mesafeyi kullandık. Diğer bir deyişle, renk bazlı ve konum bazlı olarak hipotez testi yaptık.

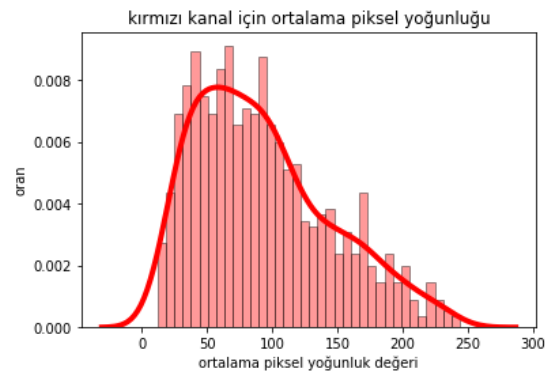
Ortalama piksel değerlerini kullanarak yaptığımız hipotez testi sırasında ilk olarak eğitim setimizdeki trafik levhaları için ortalama piksel değerlerinin yoğunluk grafiklerini her bir kanal için çizdik. GTSDB veri seti için 600 eğitim görüntüsü bulunmaktadır ve bu görüntülerde bizlere sağlanan referans verileri içinde toplam 852 trafik levhası bulunmaktadır. Görsel 10, Görsel 11 ve Görsel 12 her kanal için ilgili yoğunluk grafiğini göstermektedir.



**Görsel 10.** Trafik levhalarında mavi kanal için yoğunluk grafiği.



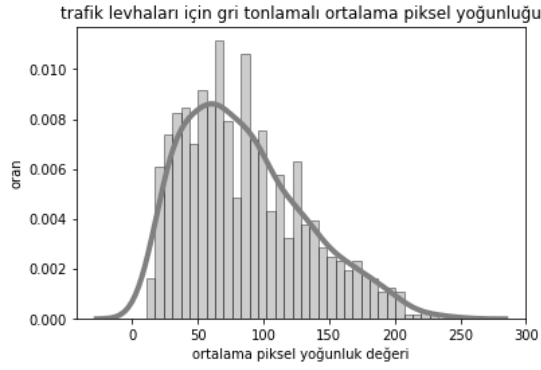
**Görsel 11.** Trafik levhalarında yeşil kanal için yoğunluk grafiği.



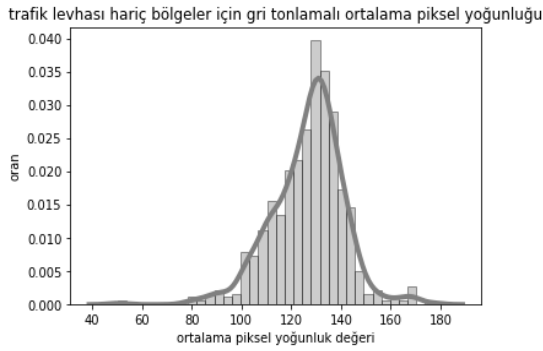
**Görsel 12.** Trafik levhalarında kırmızı kanal için yoğunluk grafiği.

Bu grafikleri aynı zamanda eğitim resimlerindeki bu trafik levhalarının gri tonlamalı hali için ve eğitim verisinde trafik levhası dışında kalan bölgelerin gri tonlamalı hali için de elde ettik. Çizimleri yaparken her zaman ilgili bölge için olan ortalama piksel yoğunluk değerini kullandık. Yani bir bölge için bir sayı elde ettik. Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB) kanala ait görüntüyü gri tonlamalı hale getirmek için Eşitlik 1'deki formülü kullandık. Gri tonlamaya çevirmeden sonra elde edilen görüntülere ait bahsedilen grafikler Görsel 13 ve Görsel 14'te verilmiştir. Burada Görsel 13'te bulunan eğrinin Görsel 10'da, Görsel 11'de ve Görsel 12'de verilen eğriler ile de tutarlı olduğunu görüyoruz.

$$Gri = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (1)$$



**Görsel 13.** Trafik levhalarında gri tonlama için yoğunluk grafiği.



**Görsel 14.** Trafik levhaları dışındaki bölgeler için gri tonlama için yoğunluk grafiği.

Birinci hipotezimiz için gri tonlamalı trafik levhası için ve trafik levhası dışındaki alanlar için olan ortalama piksel yoğunluk değerlerini kullandık. Görsel 13 ve Görsel 14'e baktığımızda sola yatık ve sağa yatık normal dağılım eğrileri görüyoruz ve burada gri tonlamalı bu görüntüler üzerinde t-testi tabanlı bir hipotez testi uyguladık. Test sırasında Görsel 13 ve Görsel 14'teki eğrilerin ortalama ve standart sapma değerlerini kullandık. Burada Ghimire ve Wang (2012) tarafından getirilen ve Liao ve Akritas (2007) tarafından önerilen yaklaşımın geliştirilmesiyle elde edilen yaklaşıma benzer bir yöntem kullandık. Sun ve Ho (2011) tarafından yapılan çalışmadakine benzer şekilde de ortalama piksel yoğunluk değerlerini kullandık.

Bu hipotez testi için çalışmamızı aslında bir bölge önerisini trafik levhası veya değil şeklinde sınıflandırmayı amaçlayan bir ikili sınıflandırma problemi gibi düşündük. Bir örnek üzerinden düşünecek olursak Görsel 13 ve Görsel 14'te çizimi verilmiş olan veriyi  $(x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1m})$  ve  $(x_{21}, x_{22}, x_{23}, \dots, x_{2n})$  olarak düşünelim. Aynı zamanda elimizde gri tonlamalı halinin ortalama piksel yoğunluk değeri  $\bar{x}$  olarak

tanımlanmış olan ve hipotez testi ile trafik levhası olup olmadığına karar vermek istediğimiz bir bölge önerisi olsun. Burada kullandığımız hipotez testi aşağıdaki 2 teste dayalı bir yaklaşımdır.  $H_0$  hipotez değerimiz ise 2 örneklemin aynı ortalamaya sahip olduğu, daha genel bir deyişle, 2 dağılımın özdeş olduğudur (Liao ve Akritas, 2007).

- 1. Test:  $\bar{x}$ , 1. sınıftan gelen gözlemler ile birlikte düşünülür ve  $(\bar{x}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1m})$  ve  $(x_{21}, x_{22}, x_{23}, \dots, x_{2n})$   $H_0$  hipotezini test etmek için kullanılır.
- 2. Test:  $\bar{x}$ , 2. sınıftan gelen gözlemler ile birlikte düşünülür ve  $(x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1m})$  ve  $(\bar{x}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, \dots, x_{2n})$   $H_0$  hipotezini test etmek için kullanılır.

Bu 2 test sırasında t değeri Eşitlik 2'deki formül kullanılarak elde edilir.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$  örneklem ortalamasını  $s_1^2$  ve  $s_2^2$  örneklem varyansını  $N_1$  ve  $N_2$  ise örneklem boyutunu gösterir.

İki test için t değerlerinin bulunmasının ardından, ilgili p değerlerini de hesapladık. Bu değerleri  $PV_1(\bar{x})$  ve  $PV_2(\bar{x})$  ile gösterelim ve bir bölge için 1. sınıftan veya 2. sınıftan olma olasılığının ilk değerlerini de  $p_1$  ve  $p_2$  ile gösterelim.

Liao ve Akritas (2007) tarafından önerilen yaklaşıma göre eğer  $\bar{x}$  1. sınıftan geldiyse onu 2. sınıftan alınan örneklem ile bir araya getirmek 2 sınıf arasındaki farkı azaltacaktır. 1. sınıftan alınan örneklem ile bir araya getirmek ise bu farkın azalmasına engel olup farkı en azından koruyacaktır. Burada,  $PV_1(\bar{x}) / (PV_1(\bar{x}) + PV_2(\bar{x}))$  oranı, test tabanlı olarak,  $\bar{x}$  değeri için 1. sınıftan olmama olasılığıdır. Aynı şekilde  $PV_2(\bar{x}) / (PV_1(\bar{x}) + PV_2(\bar{x}))$  değeri ise  $\bar{x}$  için 1. sınıftan olma olasılığıdır. Getirdikleri yaklaşım  $\bar{x}$  örneğini eğer  $(PV_2(\bar{x}) / PV_1(\bar{x})) > (p_2 / p_1)$  ifadesi sağlanırsa 1. sınıf olarak sınıflandırır ve eğer  $(PV_1(\bar{x}) / PV_2(\bar{x})) > (p_1 / p_2)$  ifadesi sağlanırsa 2. sınıf olarak sınıflandırır.

Ghimire ve Wang (2012) çalışmalarında bu yaklaşımı inceledi ve p değerlerinin ( $PV_1$  ve  $PV_2$ ) çok küçük olması durumunda bu yöntemin yanlış sınıflandırma yapabileceğini gösterdi ve bu yönteme aşağıdaki gibi bir iyileştirme önerdi:

- Eğer  $\max(PV_1, PV_2) \geq \varepsilon$  ise bu durumda eğer  $(PV_2(\bar{x})/PV_1(\bar{x})) > (p2/p1)$  ise  $\bar{x}$  1. sınıf olarak sınıflandırılır.
- Eğer  $\max(PV_1, PV_2) < \varepsilon$  ise bu durumda eğer  $\bar{x}$  ve 1. sınıf arasındaki mesafe  $\bar{x}$  ve 2. sınıf arasındaki mesafeden küçük ise  $\bar{x}$  1. sınıf olarak sınıflandırılır.

Biz de kendi çalışmamızda Ghimire ve Wang (2012) tarafından getirilene benzer bir yaklaşım kullandık. Yaklaşımımız aşağıdaki gibidir. Burada trafik levhası 1. sınıfı, trafik levhası olmaması durumu ise 2. sınıfı temsil etmektedir.

- Eğer  $(PV_2(\bar{x})/PV_1(\bar{x})) > (p2/p1)$  ise,  $\bar{x}$  1. sınıf olarak değerlendirilir.
- Eğer  $(PV_1(\bar{x})/PV_2(\bar{x})) > (p1/p2)$  ise ve  $\bar{x}$  ve 1. sınıf arasındaki mesafe  $\bar{x}$  ve 2. sınıf arasındaki mesafeden küçükse  $\bar{x}$  1. sınıf olarak sınıflandırılır.
- Eğer  $(PV_1(\bar{x})/PV_2(\bar{x})) > (p1/p2)$  ise ve  $\bar{x}$  ve 1. sınıf arasındaki mesafe  $\bar{x}$  ve 2. sınıf arasındaki mesafeden büyükse,  $\bar{x}$  2. sınıftan sınıflandırılır.

Görüleceği gibi bir bölge önerisini elerken yani bir bölge önerisi için 2. sınıftan (trafik levhası olmayan sınıftan) derken tedbirli davranıyoruz ve gerçek bir trafik levhasını elemekten kaçınıyoruz. Çünkü  $(PV_2(\bar{x})/PV_1(\bar{x}))$  ifadesinin  $(p2/p1)$  ifadesinden büyük olması durumunda  $\bar{x}$  doğrudan 1. sınıftan kabul edilir. Tersisi durumda ise, ancak ve ancak,  $\bar{x}$  ve 1. sınıf arasındaki mesafe  $\bar{x}$  ve 2. sınıf arasındaki mesafeden büyükse,  $\bar{x}$  2. sınıftan kabul edilir. Bu mesafe koşulunun sağlanmaması durumunda ise  $\bar{x}$  yine 1. sınıftan kabul edilir.

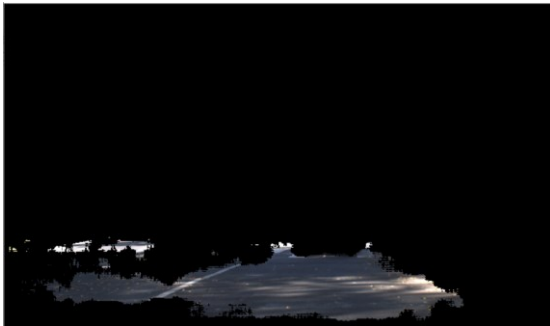
Burada p1 ve p2 olasılık değerlerini 0.2 ve 0.8 olarak aldık. p1 değerini bir bölge önerisinin trafik levhası olma olasılığı olarak düşündük ve p2 değerini de bir bölge önerisinin trafik levhası olmama olasılığı olarak düşündük. Bu

değerleri 1. adım sonunda eğitim veri seti üzerinde elde edilen bölge önerilerine göre hesapladık. Bölge önerilerinin ne kadarının trafik levhası olduğuna ve ne kadarının trafik levhası olmadığına baktık ve 1. adım sonunda yapılan bölge önerileri arasında trafik levhası olan ve olmayan önerilerin sayısının toplam bölge önerisi sayısına göre oranına baktık. Bu oranların 1. adım sonunda bulunan bir bölge önerisinin trafik levhası olup olmamasının olasılığı olduğunu kabul ettik. Bu yaklaşımı belirlerken referans olarak kullanılan Liao ve Akritas (2007) ve Ghimire ve Wang (2012) tarafından yapılan çalışmalarda da p1 ve p2 olasılık değerlerinin belirlenmesi sırasında bu ve buna benzer yaklaşımlar kullanılmıştır. Biz de eğitim görüntüleri üzerinde 1. adım sonundaki deneylerimiz sonunda bu oranları yaklaşık olarak 0.2 ve 0.8 şeklinde bulduk ve bu oranları kullandık. Yani buradan 1. adım sonunda bulunan bölge önerilerinden yaklaşık %20'sinin gerçekten trafik levhasını gösterirken %80'inin ise gerçek bir trafik levhasını göstermiyor olduğunu anlayabiliriz. Çalışmamız kapsamında hipotez testi kullanıyor olmamızın amacı ilk adım sonunda bulunan bazı bölge önerilerini hızlı ve en az hata ile elimine etmektir. 3. adımda kullanılan CNN tabanlı sınıflandırıcı ile de bu işlem, üstelik daha başarılı bir şekilde, yapılmaktadır. Ancak CNN tabanlı sınıflandırıcı daha karmaşık yapısı sebebiyle hipotez testine göre daha yavaş çalışmaktadır. Hipotez testinin daha basit bir yöntem olması hız kazanmamızı sağlarken doğruluk açısından ise performans düşüşüne sebep olmaktadır. Bu yüzden hipotez testinin bize kazandırdığı hız ve karşılığındaki doğruluk açısından performans düşüşü arasındaki ödünleşim uygun bir seviyede olmalıdır. Bu yaklaşım belirlenirken kullanılan referans yayınlarında önerilen yaklaşımlardan birine göre seçilmesine ek olarak p1 ve p2 için 0.2 ve 0.8 değerlerinin seçilmesinin bu ödünleşim konusunda da uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. 2 farklı aşamadan oluşan bu hipotez testlerinin, yani 2. adımın, kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda zaman ve doğruluk ile ilgili elde edilen sonuçlar bu çalışmanın Sonuçlar başlıklı 5. bölümünde de verilmektedir. Farklı p1 ve p2 değerleri için zaman ve doğruluk arasında farklı sonuçlar elde edilebilir. Örneğin p1 değerinin 1'e yaklaştırılması hipotez testinin bu aşamadaki eliminasyon sayısının giderek azalması yani bu aşamanın giderek etkisini

kaybetmesi anlamına gelir. Bu da çalışma hızını azaltırken doğruluk açısından performans artışı sağlar. Çünkü 3. adımda kullanılan CNN tabanlı sınıflandırıcı bölge önerileri üzerinde daha doğru şekilde sınıflandırma yapar ancak karmaşık yapısı ve daha fazla bölge önerisi yapılması sebebiyle daha fazla sayıda çalışmak zorunda kalması işlem süresini uzatır. Burada, mesafe bilgisi hesaplanırken de sınıflara ait olan ve gri tonlama için oluşturulan yoğunluk grafiklerinde kullanılan değerlerin ortalaması ve  $\bar{x}$  ve bu ortalama değerler arasındaki mutlak fark kullanılmıştır.

Bu mantığı kullanarak ve gri tonlamalı trafik levhası örneklerin ve gri tonlamalı trafik levhası olmayan örneklerin ortalama ve standart sapma değerlerinden yola çıkarak birinci hipotez testimizi  $H_0$ : Bölge önerisi trafik levhası popülasyonundan olabilir ve  $H_1$ : Bölge önerisi trafik levhası popülasyonundan olamaz şeklinde kurduk. Eğer bir bölge önerisi için  $H_0$  hipotezi reddedilirse, o bölge önerisini kesin olarak eledik.

İkinci olarak, bir de konum bazlı bir hipotez testi yaptık. Burada da segmente edilen yolun merkezi ve bulunan bölge önerisinin merkezi arasındaki mesafe bilgisine göre test yaptık. Örneğin Görsel 15'te, Görsel 1'deki yolun segmente edilmiş halini görüyoruz. Görsel 16 ise orijinal resim üzerinde bu segmente edilen yol çevresine çizilmiş çevreleyici dikdörtgeni gösteriyor.

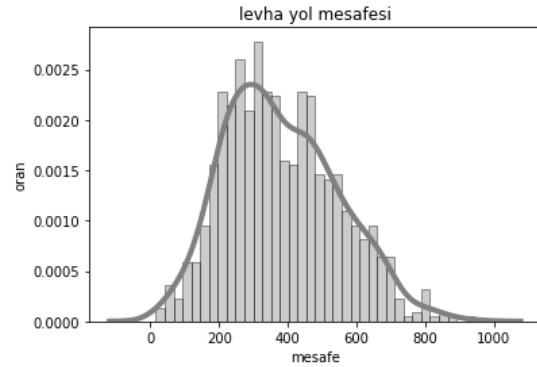


**Görsel 15.** Görsel 1'deki yolun segmentasyonu.



**Görsel 16.** Segmente edilmiş yol etrafına çizilen çevreleyici dikdörtgen.

Görsel 17'de, eğitim verisinde, piksel tabanlı mesafe değerleri için segmente edilen yolun merkezi ve trafik levhalarının merkezi arasındaki uzaklığa ait yoğunluk grafiği verilmektedir.



**Görsel 17.** Segmente edilen yolun merkezi ve trafik levhalarının merkezi arasındaki mesafe için yoğunluk grafiği.

Burada yine bir normal dağılım eğrisi çıkmaktadır. Bu kez merkezi limit teoremine dayalı ve daha basit bir hipotez testi yaptık. Bir önceki bölge önerisi elemesi sırasındaki hipotez testindeki  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini kullandık. Burada da  $H_0$  hipotezinin elenmesi durumunda o bölge önerisini tamamen eledik.

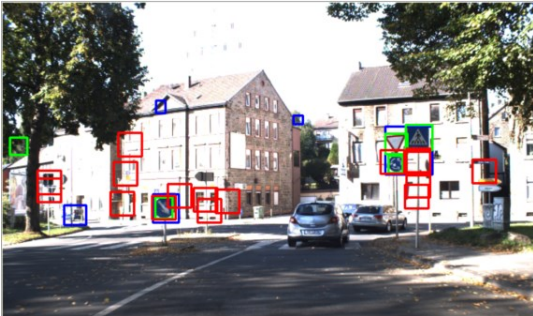
Daha önce belirttiğimiz gibi buradaki hipotez testimiz merkezi limit teoremine bağlı olan ve 3. eşitlikteki gibi formüle edilebilecek bir testtir.

$$Z_h = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (3)$$

Burada  $Z_h$  test değeri olarak kullanıldı ve  $p = 0.01$  için çift kuyruklu bir hipotez testi yapıldı.  $0.005 < h < 0.995$  eşitsizliğinin geçerli olmaması durumunda,  $H_0$ , bölge önerisi trafik levhası popülasyonundan olabilir, hipotezini reddettik. Bu tip bir hipotez testinde standart

olarak  $p = 0.05$  kullanılır. Bununla birlikte hipotez testinin ilk adımındaki gibi tedbirli davranmak ve gerçek bir trafik levhasını elemekten kaçınmak için bu değeri 0.01 olarak seçtik. Hipotez testinin ilk adımındaki gibi burada da  $p$  değerinin bu şekilde seçilmesinin çalışma zamanı ve doğruluk arasındaki ödünleşim açısından uygun şekilde sonuç verdiğini gördük. Hipotez testinin ilk adımında belirtildiği gibi hipotez testlerinin hiç kullanılmadığı ve kullanıldığı durumlarda çalışma zamanı ve doğruluk açısından elde edilen sonuçlar bu çalışmanın Sonuçlar başlıklı 5. bölümünde verilmiştir. Yine aynı şekilde farklı  $p$  değerleri için zaman ve doğruluk arasında farklı sonuçlar elde edilebilir. Hipotez testinin 1. aşamasındaki gibi; Örneğin  $p$  değerinin daha da küçültülmesi hipotez testinin bu aşamasındaki eliminasyon sayısının giderek azalması yani bu aşamanın giderek etkisini kaybetmesi anlamına gelir. Bu da çalışma hızını azaltırken doğruluk açısından performans artışı sağlar. Bunun sebebi ise yine aynı şekilde 3. adımda kullanılan CNN tabanlı sınıflandırıcının daha doğru şekilde sınıflandırma yapması ancak karmaşık yapısı ve daha fazla bölge önerisi yapılması sebebiyle daha fazla sayıda çalışmak zorunda kalmasının işlem süresini uzatmasıdır.

Görsel 18'de, 1. etap sonunda bulunan bölge önerilerini görüyoruz. Görsel 19'da gri tonlamada ortalama piksel yoğunluk değerlerini kullanarak uyguladığımız hipotez testinin ardından kalan bölge önerilerini görüyoruz. Görsel 20'de ise trafik levhası ve segmente edilen yolun merkezi arasındaki mesafeye dayalı hipotez testinin ardından kalan bölge önerilerini görüyoruz.



**Görsel 18.** Birinci etap sonunda bulunan bölge önerileri.



**Görsel 19.** İkinci etapta birinci hipotez testi sonunda kalan bölge önerileri.



**Görsel 20.** İkinci etapta ikinci hipotez testi sonunda, yani ikinci etap sonunda, kalan bölge önerileri.

Görsel 18, Görsel 19 ve Görsel 20'ye bakarak her hipotez testi sonunda bazı bölge önerilerinin elendiğini görüyoruz. Bu bölge önerilerini zaman anlamında verimli olarak hızlı çalışan ve basit bir mantığa sahip olan istatistiksel hipotez testleri ile eliyoruz.

Bu noktada, ilk adım sonunda bulunan bazı bölge önerilerini eledikten sonra, iyi bir şekilde eğitilmiş olan sınıflandırıcımızı kullanarak kalan bölge önerileri hakkında karar vereceğiz.

### 4.3. Bölge önerileri üzerinde cnn tabanlı sınıflandırma

Bu adımda 2. adım sonunda kalan bölge önerilerini CNN tabanlı sınıflandırıcımıza verdik ve sonuçları inceledik.

Kurduğumuz CNN tabanlı sınıflandırıcının Wong vd. (2018) tarafından önerilen mimariye de benzer olduğunu söyleyebiliriz. Wong vd. (2018) çalışmasında GTSDDB probleminin bir öncülü olarak kabul edilebilecek ve Stallkamp vd. (2011) tarafından çıkarılmış olan German Traffic Sign Recognition Benchmark (GTSRB) veri seti ve problemi üzerine çalıştı. GTSRB veri seti sadece trafik levhaları görüntüleri içerir ve bu problem sadece levhayı doğru bir şekilde sınıflandırmayı amaçlar. Wong vd. (2018) yaptıkları çalışmada GTSRB

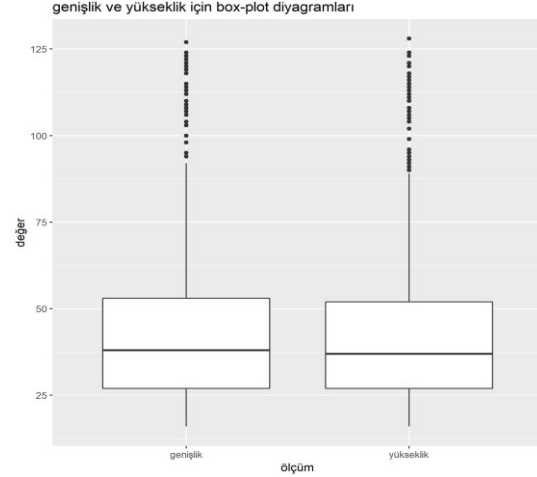
problemi için başarılı bir mimari ürettik ve biz de yöntemimizin bu adımında benzer bir sınıflandırma problemi ile uğraşılıyor olduğumuz için Wong vd. (2018) tarafından önerilen mimariden esinlendik ve sınıflandırmamızı yapmak için ona benzer mimariler ile denemeler yaptık ve başarılı bir sınıflandırıcı ürettik. Denemelerimiz sırasında farklı sayı ve boyutlarda filtreler içeren konvolüsyonel katmanlar ve farklı sayılarda nöronlar bulunduran tam bağlantılı katmanlar kullandık. Katmanlardaki filtre sayıları ve nöronlar için 32, 64, 128 ve 256 gibi sayılar kullandık. Filtre boyutları için ise 3x3 ve 5x5 boyutlarını kullandık. Konvolüsyonel katmanlarda adım boyunu 1 olarak belirledik. Pooling katmanlarında ise 2x2 boyutlu filtreler ve 2 birimlik adım boyutu kullandık. Sınıflandırma aşamasında Softmax sınıflandırıcı diğer katmanlarda ise Rectified Linear Unit (ReLU) isimli aktivasyon fonksiyonunu kullandık. ReLU aktivasyon fonksiyonu için formül 4. eşitlikte verilmiştir.

$$r(x) = \max(0, x) \quad (4)$$

Softmax sınıflandırıcı için ise formül 5. eşitlikte verilmiştir. Burada  $x_i$ ,  $x$  girdisi için ilgili sınıfa ait olarak bulunan CNN skor değeridir.

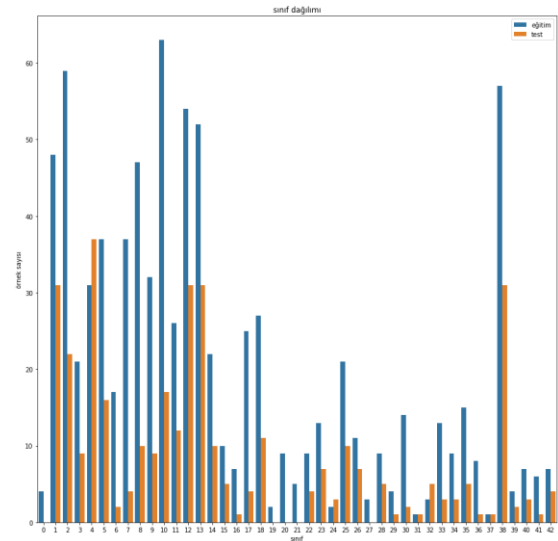
$$s(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum_j e^{x_j}} \quad (5)$$

Bölge önerileri sınıflandırıcıya konurken 40x40 boyutlarına getirildi. Bu yaklaşımın eğitim verisindeki trafik levhalarının boyutlarına baktığımızda da mantıklı olduğunu söyleyebiliriz. GTSDDB eğitim verisindeki trafik levhalarının ortalama piksel genişlik ve yükseklik uzunluklarının sırasıyla 43.4 ve 42.75 piksel olduğunu söyleyebiliriz. İlgili box-plot diyagramı Görsel 21'de verilmektedir.



**Görsel 21.** GTSDDB eğitim verisindeki trafik levhalarına ait genişlik ve yükseklik değerleri.

Biz de modelimizi GTSDDB veri setinde eğitim resimindeki trafik levhalarını kullanarak eğittik ve validasyonunu gerçekleştirdik. Eğitim ve validasyon için k katlamalı çapraz doğrulama yaklaşımını kullandık. k değerini 5 olarak aldık ve bu yaklaşım sonucu en doğru model mimarisini belirledik. GTSDDB veri setindeki eğitim ve test resimindeki trafik levhalarının sınıflara göre dağılımı Görsel 22'de verilmiştir. k katlamalı çapraz doğrulama sadece eğitim verisi üzerinden yapılmış, bu şekilde en doğru model bulunmuş en sonunda ise bu model eğitim verisinin tamamı ile eğitilip test verisi ile test edilmiştir.



**Görsel 22.** GTSDDB veri setinden elde edilen veri seti.

Denenen farklı mimarilerin her birinde 25 adımlık (epoch) eğitim kullandık ve eğitimler sırasında Adam optimizasyon algoritması ve categorical cross entropy hata fonksiyonunu tercih ettik. Her bir epoch içindeki iterasyonlarda ise kullanılan batch boyutunu 32 olarak tercih ettik. Categorical cross entropy hata fonksiyonunun softmax sınıflandırıcı için olan formülü 6. eşitlikte verilmiştir.

$$L(x_i) = -\log\left(\frac{e^{x_i}}{\sum_j e^{x_j}}\right) \quad (6)$$

İlk ağırlıkların atanması sırasındaki rassallıklar, optimizasyon algoritmasının stokastik yapısı, iterasyonlar sırasında rassal batch seçimi ve yapay sinir ağı eğitimi sırasında değeri belirlenecek çok fazla sayıda parametrenin olması gibi sebeplerden dolayı aynı mimari ve aynı eğitim prensibi kullanılsa bile yapay sinir ağlarında her eğitim sonucunda farklı sonuçlar veren farklı modellerin ortaya çıkması oldukça yaygın bir durumdur. Bununla birlikte çıkan modeller ve sonuçlar genelde birbirine yakın olur. Bu duruma karşın k katlamalı çapraz doğrulama sırasında her bir katlama için en baştan 3 defa eğitim gerçekleştirdik ve validasyon sonucu aldık. k değeri de 5 olarak alındığı için her bir mimariyi en baştan 15 kere eğittik ve elde edilen 15 validasyon değerinin ortalamasını alıp en yüksek ortalamayı veren mimariyi sınıflandırıcı mimarisi olarak belirledik. Kullandığımız mimariler tarafından bulduğumuz validasyon ortalamalarının yaklaşık olarak [0.94-0.97] aralığında olduğunu gördük. En iyi ortalamayı veren ve bizim sınıflandırıcımızda kullanmaya karar verdiğimiz mimari ise Tablo 2’de belirtildiği gibi bulundu. Bu tabloda gösterilmemiş olsa da kullandığımız mimaride pooling katmanları ve tam bağlantılı katmanlar ardından seyreltme (dropout) yöntemi de kullanılmıştır. Tabloda 2. pooling katmanının çıkış boyutu 5x5x64 şeklindedir ve elde edilen bu çıktı 1x1600 şeklinde yeniden boyutlandırılarak elde edilen bu vektör tam bağlantılı katmana girdi olarak verilmiştir.

**Tablo 2.** CNN modelimizin mimarisi.

Katman Tipi	Girdi Boyutu
Konvolüsyonel (32 adet 5x5 filtre, adım boyu 1)	40x40x3
Konvolüsyonel (64 adet 3x3 filtre, adım boyu 1)	36x36x32
Pooling (2x2 filtre, adım boyu 2)	34x34x64
Konvolüsyonel (32 adet 5x5 filtre, adım boyu 1)	17x17x64
Konvolüsyonel (64 adet 3x3 filtre, adım boyu 1)	13x13x32
Pooling (2x2 filtre, adım boyu 2)	11x11x64
Tam Bağlantılı (256 adet nöron)	1x1600
Tam Bağlantılı (128 adet nöron)	1x256
Softmax Sınıflandırıcı (43 adet nöron)	1x128

Tablo 2’de belirtildiği şekilde bulunan CNN tabanlı sınıflandırıcımız daha sonra eğitim verisinin tamamı kullanılarak aynı prensipler ile 1 kere eğitilmiş ve test verisi ile test edildiğinde ise %96 seviyesinde doğruluk bulunmuştur. Böylece 3. adımda kullanacağımız sınıflandırıcımız belirlenmiştir.

GTSDDB veri setinde 43 sınıf bulunmaktadır ve sonunda sınıflandırıcımız ilgili girdi için bu sınıflardan her biri için olasılık değerleri vermektedir. Biz burada olasılık değerleri için eşik değerimizi 0.7 olarak belirledik. Yaklaşımımıza göre eğer sınıflandırıcımız bir bölge önerisini 0.7 veya daha fazla bir olasılık ile bu 43 sınıftan birine ait görürse bu durumda o bölge önerisi trafik levhası olarak kabul edilir ve sınıfı belirlenir.

Örneğin, Görsel 23’te bir önceki adımın sonunda elde edilen çıktıyı görüyoruz. Görsel 24’te ise şu anki adımın sonunda elde edilen



çıktıyı görüyoruz. Sınıflandırıcımızın genel olarak iyi çalıştığını ve trafik levhası içermeyen bölgeleri elerken trafik levhası içeren bölgeleri elemediğini görüyoruz. Görsel 24'te referans verilerine göre bu resimde belirtilmiş olan 3 trafik levhasını sınıflandırıcımızın hatasız bir şekilde tanıdığını görüyoruz.



**Görsel 23.** 2. adım sonunda bölge önerileri.



**Görsel 24.** 3. adım sonunda tespit edilen trafik levhaları.

Algoritmamızın sonucuna göre eğer birden fazla sayıda ve kesişim birleşim oranı (Intersection over Union (IoU)) 0.7'den büyük bölge önerilerinin aynı sınıfı gösterdiği tespit edilirse en büyük olasılık ile o sınıfı gösteren bölge önerisi alınır ve diğerleri kaldırılır. IoU için olan formül 7. eşitlikte verilmektedir.

$$IoU = \frac{2 \text{ bölgenin kesişim alanı}}{2 \text{ bölgenin birleşim alanı}} \quad (7)$$

## 5. Sonuçlar

Algoritmamızın eğitimini ve testini şimdiye kadar anlatılan prensipler ve gösterilen metodu kullanarak gerçekleştirdik ve GTSDDB veri setini kullandık.

Görsel 25, Görsel 26, ve Görsel 27'de GTSDDB veri setindeki bazı test resimleri üzerinde yöntemimizin elde ettiği trafik levhası tespiti sonuçları gösterilmiştir. Bu görsellerde mavi

kare ilgili bölge önerisinin trafik levhası segmentasyonu sonucunda, yeşil kare ilgili bölge önerisinin kontur tespiti sonunda, kırmızı kare ise ilgili bölge önerisinin direk bağlantısı sayesinde elde edildiğini göstermektedir.



**Görsel 25.** GTSDDB veri setinden 1. test örneği için sonuçlar.



**Görsel 26.** GTSDDB veri setinden 2. test örneği için sonuçlar.



**Görsel 27.** GTSDDB veri setinden 3. test örneği için sonuçlar.

Test verisi üzerindeki değerlendirmemiz sonucunda Tablo 3'teki sonuçları elde ettik. Tablo 3'teki sonuçlar trafik levhasını doğru şekilde tespit edip tanıması açısından verilmiştir ve bunu ölçmektedir. Diğer çalışmalar ile de kıyaslayınca sonuçlarımız umut verici ve başarılı görünmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi bazı çalışmalarda trafik levhalarının sınıfları sadece yasak gösteren, zorunluluk gösteren ve tehlike gösteren

levhalar olarak sınıflandırılmıştır. Burada precision, recall ve F-Measure isimli metrikleri kullandık. Bu metrikler 8., 9. ve 10. eşitlikler ile verilen formüller kullanılarak hesaplanabilir.

$$precision = \frac{\text{doğru yakalanan levha sayısı}}{\text{yakalanan toplam levha sayısı}} \quad (8)$$

$$recall = \frac{\text{doğru yakalanan levha sayısı}}{\text{gerçek levha sayısı}} \quad (9)$$

$$F_{measure} = \frac{2 * precision * recall}{precision + recall} \quad (10)$$

**Tablo 3.** Metriklerimize göre bizim bulduğumuz sonuçlar ve diğer araştırmacıların sonuçları.

Kaynak	Yöntem	Precision	Recall	F-Measure
(Yuan vd, 2015)	Çizge	%89.65	%87.84	%88.73
(Xu vd, 2019)	Renge göre segmentasyon ve şekle göre hipotez testi	%93.96	%95.27	%94.61
(Agrawal ve Chaurasiya, 2017)	HSI tabanlı segmentasyon	Yasak: %91.89 Zorunlu: %95.45 Tehlike: %93.33 Genel: %92.86	Yasak: %84.47 Zorunlu: %85.71 Tehlike: %90.32 Genel: %86.03	Yasak: %88.02 Zorunlu: %90.32 Tehlike: %91.80 Genel: %89.30
(Ellahyani vd, 2016)	HSI tabanlı segmentasyon	%90.13	%91.07	%90.60
(Arcos-García vd, 2018)	Faster R-CNN Inception Resnet V2	Yasak: %91.37 Zorunlu: %89.16 Tehlike: %90.11 Genel: %90.68	Yasak: %96.99 Zorunlu: %79.31 Tehlike: %92.19 Genel: %92.71	Yasak: %94.10 Zorunlu: %83.95 Tehlike: %91.13 Genel: %91.59
(Torres vd, 2019)	Faster R-CNN	%94	%91	%93
(Rahman vd, 2019)	Aktivasyon haritası ile kontur tespiti	%90.8	%80	%85.06
Önerilen Yöntem	Derin öğrenme ile segmentasyon	%90.81	%94.76	%92.74

Deneylerimizi Intel i5 8250U model 1.60 GHz frekanslı CPU, 16 GB RAM ve NVIDIA GeForce 940MX model 384 CUDA çekirdeği ve 2 GB RAM içeren bir GPU'ya sahip bir bilgisayar üzerinde yaptık ve bir resim için ortalama işlem zamanını 0.416 saniye olarak bulduk.

Tablo 1'de verilen algoritma kısımlarından 2. kısmı uygulamamız ve doğrudan 3. kısma geçmemiz durumunda ise recall ve F-measure metriklerinde 0.01 ve 0.001 civarında iyileşme elde ediyoruz. Bu gelişmenin sebebi 2. kısımda bazı trafik levhası içeren bölge önerilerinin eleniyor olması ve biz bu etabı atladığımızda bu bölge önerilerinin elenmeyip 3. kısımda CNN sınıflandırıcımız tarafından

değerlendiriliyor olmasıdır. Hipotez testine göre daha karmaşık ve akıllı bir yapı olması sayesinde CNN bu sınıflandırma sürecinde daha iyi çalışmaktadır ve metriklerimizde iyileşme olmaktadır. Bununla birlikte karmaşık yapısı yüzünden CNN sınıflandırıcının çalışması daha uzun sürmektedir ve bir resim için bu şekilde daha fazla bölge önerisi ile daha fazla sayıda sınıflandırma yapması durumunda ortalama çalışma/işlem süresi deney sonuçlarımıza göre bir resim için yaklaşık 0.05 saniye artmaktadır. Bu yüzden, burada hipotez testimizin bize işlem zamanı anlamında daha iyi bir model elde edebilmek için katkı sağladığını görüyoruz. İşlem zamanı açısından sağlanan bu katkı karşılığında ortaya

çıkan performans düşüşü ise kabul edilebilir seviyededir.

bulunan sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Burada değerlendirme yaparken deneylerin yapıldığı bilgisayarların donanım özelliklerini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Özellikle yüksek sayıda çekirdek içeren bir GPU desteği almanın paralel işlem yeteneğini önemli ölçüde yükselteceğinden bu durumun bizim yaptığımız gibi derin öğrenmeye dayalı bir çalışmada oldukça önemli olduğunu söylemek gerekir. Bizim çalışmamızda

Bir resim için ortalama işlem süresi bakımından literatürdeki diğer yaklaşımlarda

kullandığımız bilgisayar özellikle GPU desteği bakımından diğer çalışmalarda kullanılan bilgisayarların gerisinde görünmektedir. Bununla birlikte, yine de, resim başına ortalama işlem süresi bakımından iyi sonuçlar almaktayız. Daha güçlü bir donanım ve özellikle de daha güçlü bir GPU desteği alınması durumunda bu sürenin daha da azalacağını yani performansın iyileşeceğini söyleyebiliriz.

**Tablo 4.** İşlem süresi ve kullanılan donanım açısından modellerin karşılaştırılması.

Kaynak	Yöntem	Resim Başına Ortalama İşlem Süresi	Donanım
(Yuan vd, 2015)	Çizge	0.341 s	Intel Core i7 QUAD 3.70 GHz CPU ve GPU
(Xu vd, 2019)	Renge göre segmentasyon ve şekle göre hipotez testi	0.930 s	Belirtilmemiş
(Agrawal ve Chaurasiya, 2017)	HSI tabanlı segmentasyon	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
(Ellahyani vd, 2016)	HSI tabanlı segmentasyon	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
(Arcos-García vd, 2018)	Faster R-CNN Inception Resnet V2	0.442 s	Intel Core i7 4770 CPU, 16 GB RAM ve NVIDIA Titan Xp 3840 CUDA çekirdeği ve 12 GB RAM içeren GPU
(Torres vd, 2019)	Faster R-CNN	Belirtilmemiş	2 adet intel Xeon E5606 2.13 GHz CPU ve RAM boyutları 24 GB ve 31 GB olan 2 adet NVIDIA TITAN Xp GPU
(Rahman vd, 2019)	Aktivasyon haritası ile kontur tespiti	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Önerilen Yöntem	Derin öğrenme ile segmentasyon	0.416 s	Intel i5 8250U 1.60 GHz CPU, 16 GB RAM ve NVIDIA GeForce 940MX 384 CUDA çekirdeği ve 2 GB RAM içeren GPU

## 6. Çıkarımlar

Bu çalışmada, derin öğrenme tabanlı bir trafik levhası tespit sistemi eğittik ve testlerini

yaptık. İlk olarak, resim üzerinde, ENet tabanlı bir görüntü segmentasyonu yaptık ve trafik levhaları için bölge önerilerini tespit ettik.

Sonrasında, hipotez testi yaptık ve bazı yanlış tespit edilen, trafik levhası içermeyen, bölge önerilerini eledik. Burada, hipotez testinin basit ve hızlı çalışan yapısından yararlandık. En son kısımda ise kalan bölge önerilerini CNN sınıflandırıcımıza girdi olarak verdik ve bu sınıflandırıcımız ile bölge önerileri hakkındaki son kararımızı verdik ve sınıflandırma yaptık. Bu şekilde 3 adımdan oluşan yaklaşımımızın tespit ve sınıflandırma açısından iyi sonuçlar verdiğini gördük. Burada, ayrıca, hipotez testinin özellikle işlem zamanı kazanma anlamında bize iyi bir katkı yaptığını ve kabul edilebilir performans metrik değeri düşüşü karşılığında daha hızlı çalışan bir model elde etmemizi sağladığını da gördük.

Burada bir başka ilginç nokta aynı çalışmayı Viyana Karayolu İşaretleri ve Sinyalleri Sözleşmesine üye olan bir başka ülkeye ait veri setini kullanarak yapmak ve sonuçları incelemek olabilir. Örneğin Belçika bu ülkelerden biridir ve Belgium Traffic Sign Detection (BTSD) veri seti böyle bir çalışmada kullanılabilir. Daha önceden eğitilmiş olarak alıp kullandığımız ENet modeli, çalışmada bahsettiğimiz şekilde, Cityscapes veri seti ile eğitilerek oluşturuldu ve Cityscapes veri seti çoğunlukla Almanya ve belli bir ölçüde de komşu ülkelerinden görüntüler içermektedir. Bu ülkelerin hepsi de bahsedilen sözleşmeye üyedir. Bu sözleşme kapsamındaki bir başka ülkeye ait veri seti ile aynı çalışmanın tekrarlanması durumunda benzer sonuçların alınacağını söyleyebiliriz. Bir başka ilginç çalışma da sözleşme kapsamında olmayan bir ülke ile bu çalışmayı tekrarlamak olabilir. Böyle bir durumda ise sonuçların belli bir ölçüde kötüleşeceğini sezgisel olarak düşünebiliriz.

### Kaynaklar

**Abedin, Z., Dhar, P., Hossenand, M. K., ve Deb, K.** (2017). Traffic Sign Detection and Recognition Using Fuzzy Segmentation Approach and Artificial Neural Network Classifier Respectively. *International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering*, (s. 518-523). Cox's Bazar.

**Agrawal, S., ve Chaurasiya, R. K.** (2017). Automatic Traffic Sign Detection and

Recognition Using Moment Invariants and Support Vector Machine. *International conference on Recent Innovations in Signal Processing and Embedded Systems*.

**Arcos-García, A., Álvarez-García, J. A., ve Soria-Morillo, L. M.** (2018). Evaluation of deep neural networks for traffic sign detection systems. *Neurocomputing*, 316, 332-344.

**Berkaya, S. K., Gunduz, H., Ozsen, O., Akinlar, C., ve Gunal, S.** (2016). On circular traffic sign detection and recognition. *Expert Systems With Applications*, 48, 67-75.

**Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., Benenson, R., . . . Schiele, B.** (2016). The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.

**Ellahyani, A., Ansari, M. E., ve Jaafari, I. E.** (2016). Traffic sign detection and recognition based on random forests. *Applied Soft Computing*, 46, 805-815.

**Fleyeh, H., ve Dougherty, M.** (2005). Road and traffic sign detection and recognition. *16th Mini-EURO Conference and 10th Meeting of EWGT*, (s. 644-653).

**Ghimire, S., ve Wang, H.** (2012). Classification of image pixels based on minimum distance and hypothesis testing. *Computational Statistics & Data Analysis*, 56, 2273-2287.

**Houben, S., Stallkamp, J., Salmen, J., Schlipsing, M., ve Igel, C.** (2013). Detection of Traffic Signs in Real-World Images: The German Traffic Sign Detection Benchmark. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*.

**Jung, S., Lee, U., Jung, J., ve Shim, D. H.** (2016). Real-time Traffic Sign Recognition System with Deep Convolutional Neural Network. *13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*. Urai.

**Li, Y., Møgelmo, A., ve Trivedi, M. M.** (2016). Pushing the "Speed Limit": High-Accuracy U.S. Traffic Sign Recognition with Convolutional Neural Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 167-176.

- Liao, S. M., ve Akritas, M.** (2007). Test-based classification: A linkage between classification and statistical testing. *Statistics & Probability Letters*, 77, 1269-1281.
- Liu, X., Deng, Z., ve Yang, Y.** (2019). Recent progress in semantic image segmentation. *Artificial Intelligence Review*, 1089–1106.
- Malik, Z., ve Siddiqi, I.** (2014). Detection and Recognition of Traffic Signs from Road Scene Images. *12th International Conference on Frontiers of Information Technology*, (s. 330-335).
- Mathias, M., Timofte, R., Benenson, R., ve Van Gool, L.** (2013). Traffic sign recognition — How far are we from the solution? *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, (s. 1-8). Dallas.
- Paszke, A., Chaurasia, A., Kim, S., ve Culurciello, E.** (2016). Enet: A Deep Neural Network Architecture for Real-Time Semantic Segmentation. *arXiv: 1606.02147*.
- Rahman, Q. M., Sünderhauf, N., ve Dayoub, F.** (2019). Did You Miss the Sign? A False Negative Alarm System for Traffic Sign Detectors. *arXiv:1903.06391*.
- Serna, C. G., ve Ruichek, Y.** (2018). Classification of Traffic Signs: The European Dataset. *IEEE Access*, 4, 78136-78148.
- Song, S., Que, Z., Hou, J., Du, S., ve Song, Y.** (2019). An efficient convolutional neural network for small traffic sign detection. *Journal of Systems Architecture*, 97, 269-277.
- Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., ve Igel, C.** (2011). The German Traffic Sign Recognition Benchmark: A multi-class classification competition. *International Joint Conference on Neural Networks*, (s. 1453-1460).
- Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., ve Igel, C.** (2012). Man vs. Computer: Benchmarking Machine Learning Algorithms for Traffic Sign Recognition. *Neural networks*, 323–332.
- Sun, D., ve Ho, M.** (2011). Image Segmentation via Total Variation and Hypothesis Testing Methods.
- Suzuki, S., ve Abe, K.** (1985). Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 30, 32–46.
- Temel, D., Alshawi, T., Chen, M.-H., ve AlRegib, G.** (2019). Challenging Environments for Traffic Sign Detection: Reliability Assessment under Incremental Conditions. *arXiv:1902.06857*.
- Torres, L. T., Paixao, T. M., Berriel, R. F., De Souza, A. F., Badue, C., Sebe, N., ve Oliveira-Santos, T.** (2019). Effortless Deep Training for Traffic Sign Detection Using Templates and Arbitrary Natural Images. *International Joint Conference on Neural Networks*. Budapest.
- Wong, A., Shafiee, M. J., ve Jules, M. S.** (2018). MicronNet: A Highly Compact Deep Convolutional Neural Network Architecture for Real-Time Embedded Traffic Sign Classification. *IEEE Access*, 6, 59803–59810.
- Xu, X., Jin, J., Zhang, S., Zhang, L., Pu, S., ve Chen, Z.** (2019). Smart data driven traffic sign detection method based on adaptive color threshold and shape symmetry. *Future Generation Computer Systems*, 94, 381-391.
- Yuan, X., Guo, J., Hao, X., ve Chen, H.** (2015). Traffic Sign Detection via Graph-Based Ranking and Segmentation Algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 45, 1509-1521.

*Araştırma makalesi*

## Havacılık endüstrisinde kullanılan teknolojilerin dünü, bugünü ve gelecek eğilimleri

Mustafa Şen<sup>1</sup>, Adem Dalcı<sup>2</sup>, Feyzullah Temurtaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

\*Correspondence: [mustafatopraksen@gmail.com](mailto:mustafatopraksen@gmail.com)

**Özet:** Ülkelerin küresel olarak rekabet gücüne sahip olmaları, insan hayatını kolaylaştıracak olan yeni teknolojileri üretmek ve etkili bir pozisyonda yer alabilmesi ile mümkün olabilmektedir. Havacılık ve uzay sanayi tam olarak bu işin ve geleceğin odak noktasında yer almaktadır. Yeni dünya düzenine ayak uydurabilmek için, havacılık sektörünün ve özellikle savunma sanayinin akıllı teknolojiler ile ne derece ilişkili olduğu hususunu ortaya koymak ve bu konuda dünyada yapılan gelişmeleri araştırmak ve katkı sağlamak son derece önemlidir.

Türkiye bulunduğu konum açısından, havacılığa en çok önem vermesi gereken ülkelerin başında gelmektedir. Temel olarak Türkiye'nin sahip olduğu savunma havacılığının, akıllı teknolojiler ve dolayısıyla yapay zekâ konularıyla ilişkisi araştırılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca yeni dünya düzeninde Türkiye'nin bulunduğu coğrafi koşullar da değerlendirildiğinde dün, bugün ve gelecekte akıllı teknolojilerin savunma havacılığındaki rolünü çeşitli enstrümanlarla ortaya konulması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı teknolojiler, havacılık, havacılıkta savunma

**Abstract:** It is possible for countries to have global competitive power, to produce new technologies that will facilitate human life and to take an effective position. The aviation and space industry is exactly at the focal point of this business and the future. In order to keep pace with the new World order, it is extremely important to reveal to what extent the aviation industry and especially the defense industry are related to smart technologies and to research and contribute to the developments in the World in this regard.

Turkey in terms of its location, it is one of the countries to give most importance to aviation. Basically it is aimed to contribute to the literatur while investigating the relationship among artificial intelligence, intelligence technologies and the defence aviation of Turkey. Evaluating Turkey's geographical conditions in the new World order it is also targeted to demonstrate the role of smart technologies in defence aviation by a variety of instruments.

**Key words:** Intelligent technologies, aviation, defense in aviation

\* Corresponding author. Tel.: +0-000-000-0000 ; fax: +0-000-000-0000.

E-mail address: [mustafatopraksen@gmail.com](mailto:mustafatopraksen@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-3008-7656, 0000-0002-9940-0471, 0000-0002-3158-4032 (in hierarchical order)

Received 18 August; accepted 2 November

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

## 1. Giriş

Havacılığa olan tutku insanların kuşları keşfetmesiyle birlikte başlayan ve çok eski zamanlara dayanan bir durumdur. 1903'te Wright kardeşlerin gerçekleştirdiği ilk uçuştan günümüze kadar uçakların hızları, kullandıkları iletişim araçları, yön bulma ve uçak arıza sistemleri, pilotların kullandığı kıyafetler gibi konularda hızlı bir gelişim sergilenmiştir (Makoto ve Juliette, 2019). Akıllı teknolojilerin yaşanan bu gelişmelerde payı büyüktür. Küresel konumlama sistemi, kablosuz ağlar ve kızılötesi görüş gibi sistemler savunma havacılığında kullanılan en temel akıllı teknolojilerden bazılarıdır. Bu sistemler ile birlikte yapay zekâ konusu da bu alanda büyük bir öneme sahiptir. Yapay zekânın savunma havacılığında kullanımı ise sistemlerin matematiksel olarak modellenerek çeşitli yazılım programları vasıtasıyla hayata geçirilmesi ile mümkün olmaktadır. Blok zinciri teknolojisi, kestirim, bulut teknolojisi ve makine öğrenmesi teknolojilerinin havacılıkta kullanımı ile uçuş gecikme tahmini, talep tahmini, pist kullanımının durumu gibi konularda başarılı bir şekilde kullanılabilir (Chung ve ark., 2020). Büyük veri teknolojisinin havacılık endüstrisinde kullanımı ile uçakların güvenliği ve performanslarının önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir (Dou, 2020).

Türkiye bulunduğu konum açısından, havacılığa önem vermesi gereken ülkelerden biridir (Korul ve Küçükönel, 2003). Türk havacılık tarihini incelemek, bugünkü eksiklikleri tespit ederek nedenleri ile ortaya koymak ve havacılık konusunda lider ülkeler arasına girmek konusunda atılması gereken adımları irdelenmek son derece önem taşımaktadır. Yeni dünya düzenine ayak uydurabilmek için, havacılığın akıllı teknolojiler ve yapay zekâ ile ne derece ilişkili olduğu hususunu ortaya koymak ve bu konuda dünyada yapılan gelişmeleri araştırmak son derece önem taşımaktadır (Şen, 2020). Bu araştırmalardan elde edilecek bilgi birikimleri havacılık endüstrisinde gerçekleştirilecek gelişmelere paralel olarak malzeme, enerji, makine gibi sektörlerin gelişmesine de katkı sağlayacaktır (Tikhonov ve ark., 2019; Sharma ve Srinivas, 2020).

## 2. Türkiye ve dünyada havacılık sektörünün gelişimi

Dünya havacılık tarihi, ilk yapılan başarılı ya da başarısız motorsuz denemeleri saymazsak, 1903 yılında Wright kardeşlerin motorlu bir uçakla gerçekleştirdiği denemesi ile başlamıştır. İlk uçaklar eğlence amaçlı kullanılmak için tasarlanmış daha sonra askeri ve sivil havacılık için kullanılmaya başlanmıştır. İlk kargo uçuşu 1910, ilk resmi posta uçuşu 1911 yılında gerçekleştirilmiş ve ilk havayolu şirketi 1911 yılında kurulmuştur. Havacılığın evrilmesi sürecindeki en önemli gelişme Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün kurulmasını sağlayan 1944 yılında gerçekleştirilen Şikago Sözleşmesi'dir (Kaya, 2016; Güneş ve Çevik, 2017).

Türkiye'de 1912 yılında İstanbul Sefaköy'de kurulan iki hangarlı bir meydan ile ilk havacılık faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Bu adımı, 1925'te bugün Türk Hava Kurumu olarak bilinen Türk Tayyare Cemiyetinin kurulması izlemiştir. 1939 yılında Havayolları Devlet İşletme İdaresi, sivil hava yolları kurulması ve taşıma yapılması için görevlendirilmiştir. 1954 yılında Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı, uluslararası ilişkileri yürütmesi için Ulaştırma Bakanlığı tarafından kurulmuş ve 1987 yılında adını Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü olarak değiştirerek yeniden teşkilatlandırılmıştır. 2005 yılında ise kanuni ve finansal açıdan Ulaştırma Bakanlığından ayrılarak özerk hale gelmiştir (Korul ve Küçükönel, 2003). Türkiye uluslararası platformlarda ise Şikago Sözleşmesine taraf olarak uluslararası sivil havacılık teşkilatının kurucu üyesi olmuştur. Bununla birlikte, Avrupa Sivil Havacılık Konferansı kurucu üyesi, Avrupa havacılık faaliyetlerinin koordine eden EUROCONTROL ve Avrupa Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatına da üye olmuştur. Türkiye bu gibi teşkilatlara üye olarak uluslararası havacılık mevzuatlarını takip edebilmekte ve dünyaya uyum sağlayabilmektedir (SHGM, 2020).

Günümüzde ise havacılık faaliyetleri, idari ve teknik yönetmelikler ve havacılık talimatları 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu ile yürütülmektedir (Türk Sivil Havacılık Kanunu, 1983). Bu kapsamda idari bir yönetim kadrosu oluşturan Türkiye havacılık kurumları, dünyada hızla gelişen havacılık teknoloji ve gelişimine ayak uydurabilmek için çeşitli uluslararası

teşkilatlar ile koordineli bir şekilde çalışmaktadır.

### 3. Havacılıkta savunma teknolojileri ve Türk savunma sanayi

Teknoloji ve teknoloji yönetimi konusu, Türkiye'nin jeopolitik konumu göz önüne alındığında en fazla üzerine düşülmesi gereken konuların başında gelmektedir. Bu bağlamda, teknoloji gelişimi ve yönetimindeki en büyük payın savunma sanayine verilmesi, milli menfaatlerin korunması açısından önem arz etmektedir (Çetin, 2015).

Savunma kelimesi temel manada tehdit ve saldırılara karşı kendini müdafaa edebilmek, bunun için hazırlıklı olabilmek olarak tanımlanmaktadır. Savunma yapabilmek için tehditlerin ne olduğunun bilinmesi, tehdiye nasıl cevap verileceği ve kişi ya da nesnelere nasıl korunacağını önceden planlanması gerekmektedir. Aksi halde sağlıklı bir savunma stratejisi kurabilmek mümkün olmamaktadır (Stratejik Vizyon Belgesi, 2014). Hava Savunma kavramı ise, ülkenin egemenliğini sürdürebilmek için her türlü saldırıya karşı koyma ve ülkesini müdafaaada bulunmak için yapılan savunma faaliyetleridir. Hava savunma, devlet tarafından silahlı kuvvetler vasıtasıyla tüm vatandaşlar için yapılmaktadır. Hava savunma sanayi denilince devletin kendi güvenliği ve bekası için gerekli gördüğü savunma silah, araç ve gereçlerinin üretimini bünyesinde bulunduran endüstriyel sektördür. Askeri teknolojik araçlar, ülkenin ihtiyaç duyduğu teknolojik altyapı ve rakamsal yeterlilikle bağımsız olarak üretim yapılması ile gerçek gücünü ve yerini göstermektedir. Savunma sanayi şirketleri sürekli gelişen ve değişen küresel ihtiyaçlara cevap verme amacıyla ARGE faaliyetlerine önem vermek zorundadır (Baran, 2018). Savunma sanayi devlet kontrolü altında yapıldığından ilgili firmalar üretmek istedikleri envanterin her türlü özelliklerinde devlet onayına ihtiyaç duymaktadır.

Türkiye'nin 1952'de NATO'ya üye olmasıyla birlikte milli savunma sanayinde bir gerileme görülmüştür. Kıbrıs Barış Harekâtı ve yaşanan çeşitli siyasi gelişmeler ve silah ambargoları neticesinde ortaya çıkan sonuçlar ışığında Türkiye, silah ithalatında dünyada ilk yirmi ülke arasına girmiştir. 1976 yılında ilk savunma sanayi politikası yayımlanmıştır. 1980'den

itibaren başlayan savunma atılımlarında Türk Silahlı Kuvvetlerinin ihtiyaçları ana belirleyici etken olmuştur. 1985 yılında 3238 sayılı Kanun ile savunma sanayinin geliştirilmesi ve Türk Silahlı Kuvvetlerinin modernizasyonu amacıyla "Savunma Sanayiyi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı" kurulmuştur. 1989 yılında adı "Savunma Sanayi Müsteşarlığı" olarak değişmiştir. Genel görevleri arasında; devlet işbirliğini düzenlemek, mali teşvikleri sağlamak, dış sermayenin katkısını sağlamak ve çıkan ürünlerin ihracatını yapmak sayılabilir (Baran, 2018).

Türk savunma sanayisinde 2001, 2008 ve 2009 ekonomik krizleri sonrasında yurtiçi alımlar azalmış, küçük ve orta ölçekli firmaların etkilendiği görülmüştür. Tüm bu olumsuzluklara rağmen, savunma sanayimiz güçlenerek büyümeye devam etmiş ve dışa bağımlılık oranlarının azaltılması sağlanmıştır. Yurt içi Ar-Ge faaliyetleri ile ürün ve tasarım projelerinin geliştirilmesiyle TSK ihtiyaçlarının yurt içinden karşılanma oranı 2003 yılında %25 iken, 2010 yılı sonunda %52,1'e, 2019 yılında ise %70'lere yükselmiştir. Geleceğe yön verecek ülkeler arasında yer almak için savunma sanayi teknolojilerinde bağımsız olmaya ve yoğun Ar-Ge faaliyetlerini sürdürmeye ihtiyacımız bulunmaktadır (Çetin, 2015).

### 4. Akıllı teknolojilerin havacılıktaki uygulamaları

Akıllı teknolojiler genel anlamda iletişim, yer belirleme ve sensör teknolojileri olarak anılmaktadır. Bu sistemler bugün radyo ve televizyonlara, kullandığımız cep telefonlarına ve bilgisayarlarımıza entegre edilen sistemlerdir (Nairat, 2015).

#### 4.1. Küresel konum belirleme sistemleri

Küresel konum belirleme sistemi (Global Positioning System-GPS) ilk olarak ABD Savunma Bakanlığı tarafından tasarlanmıştır. Bu sistem sayesinde elinde GPS cihazı bulunan bir kişi istediği anda istediği bir yerin konumunu hava şartlarından bağımsız olarak uydulardan alarak, görüntüleyip kullanabilmektedir. Bu sistemde devamlı olarak konum, zaman, hız ve rota bilgileri alınabilmektedir (Tufan, 2014; İcen, 2018; Nairat, 2015).



#### 4.2. Kablosuz ağlar (Wireless)

Kablosuz ağlar kısa veya uzun mesafelerde birbiriyle iletişim kurabilmek üzerine tasarlanmıştır. Kısa mesafeli ağlara PAN, Bluetooth, ZigBee, uzun mesafeli ağlara ise Wi-Fi ağını örnek olarak verebiliriz. Günümüzde hem mesafesi hem de ulaşımında kullanılması itibari ile en son karşımıza çıkan şebeke ise WIMAX ağıdır. Özellikle ulaşım araçları bu ağ çok daha hızlı bir iletişim sağlayarak istenen bilgiler elde edebilmektedir (Güngör ve ark., 2009; Nairat, 2015).

#### 4.3. Sesli komut sistemi

Doğrudan ses ile komut ve geri bildirim sistemleri ile pilotların havada iş yükü azaltılabilmektedir. Fly by voice veya voice command system adı verilen sesli komut sistemleri kullanılarak uçuş esnasında oldukça faydalı bir iş birliği sağlanabilir. Sesli komut sistemi ile pilot elini kumanda ve gaz kolundan çekmeden silah ve istasyon seçimi, uçuş kontrol modu seçimi, irtifa seçimi, seyrüsefer noktası seçimi, radyo kanal değişikliği, yakıt, silah ve yük durumu sorgulama gibi yirmiden fazla komut verilebilmektedir (Voice Command System, 2020).

#### 4.4. Kızılötesi iletişim (Infrared-IR)

Kızılötesi iletişim teknolojisi bugün karayollarında araçların yol bilgilerinin paylaşmalarında, hava tahminlerinde, gece görüşünde, yer tespitinde ve ayrıca takip amaçlı da kullanılmaktadır. Kızılötesi teknolojisi, kısa mesafeli iletişim aracı, elektronik kimlik tespiti ve girişlerdeki elektronik ödeme uygulamalarında da kullanılabilmektedir (Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eki Eylem Planı, 2014). Havacılık sektöründe ise kızılötesi arama ve takip sistemi, pilotun çalışma kabiliyetini azaltılmış görünürlük koşulları altında artırma konusundaki ilgiyi artırmıştır (Agard, 1982).

#### 4.5. Algılama sensor teknolojisi

Algılama sensörleri sistem bileşenleri incelendiğinde; bir algılayıcı, alıcı ve verici, işlemci ve güç kaynağı karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler genel olarak hava durumu sensörleri ve çevre algılama sensörleri olarak çeşitlendirilebilir.

Hava durumu sensörleri ile atmosfer basıncındaki değişiklik kullanılarak havanın sıcaklığı, nemi, çığ noktası, rüzgârın yönü ve

şiddeti ölçülebilmektedir. Otomatik Terminal Bilgi Servisi (Automatic Terminal Information Service-ATIS) hava durumu bilgileri, aktif pistler, mevcut yaklaşımlar, Notam ve pilotların ihtiyaç duyduğu diğer bilgiler gibi temel bilgileri sürekli yayınlanmaktadır. Pilotlar, kontrolörlerin iş yükünü azaltmak ve uçuşlarını hazırlamak için yerel hava trafik kontrol cihazıyla iletişim kurmadan önce ATIS yayın bilgilerini dinler ve bilgi sahibi olurlar (Airman's Information Manual, 1994). Hava ile ilgili diğer bir sistemde buz önleyici (Anti-Ice) sistemidir. Caution panelinde bulunan Inlet Icing uyarı ışığı, giriş buz algılayıcısı tarafından bir buz birikimi algılandığında veya bir algılama sistemi arızası meydana geldiğinde pilotu bilgilendirmektedir (T.O. GR1F16CJ1, Flight Manual Haf Series Aircraft F16c/d blocks 50 and 52+, 2003).

Çevre algılayıcı sistemlerinin amacı genel olarak fiziki çevre güvenliğidir. Bu sistemler ile daha önceden belirlenen bir alana izinli ya da izinsiz giren/girmeye çalışan birini veya nesneyi tespit edip monitörler vasıtası ile izlenebilmesini sağlamaktadır. Çevre algılama sistemlerinden Öngörülen Yere Çarpma Önleme Sistemi (Predictive Ground Collision Avoidance System-PGCAS), ile iki boyutlu arazi engeli profili geliştirerek uçağın rotası üzerinde bulunan arazi ve engeller için doğru ve zamanında tavsiyelerin oluşturulmasını sağlar (Billingsley ve ark., 2001). Diğer bir algılama sisteme ise sabit ve döner kanatlı hava platformlarını, kızıl ötesi füzelere karşı korumak için kullanılan füze ikaz sistemidir (Missile Warning System-MWS). Füze ikaz sistemleri, askeri bir platforma fırlatılmış olan güdümlü füzeleri tespit ederek platform operatörünü uyaran platform koruma sistemleridir. Yaygın olarak, askeri hava platformlarının korunmasında kullanılırlar ve radar ikaz alıcıları gibi yalnızca radar güdümlü değil, platforma yönelik her türlü füzeyi tespit edebilirler. Elektro-Optik füze ikaz alıcıları, kızıl ötesi ya da mor ötesi bantlardaki algılayıcıları kullanarak füzenin egzoz alevi dışında kalan, füzeye benzer izsel karakteristiklere sahip nesnelere de algılayabilme yeteneğine sahiptirler (Salman, 2009). Benzer bir diğer yardımcı sistem olan radar ikaz alıcısı (Radar Warning Receiver-RWR) sisteminde uçağın dış kısımlarının etrafına yerleştirilmiş çok sayıda anten vardır. Bu çok geniş bantlı antenler, radarların radyo

emisyonlarını dinler ve pilotun sinyale bir yön ve mesafesini göstermek için bir kokpit ekranı kullanır. Bazı güçlü RWR'ler hangi dalga biçiminin bir radar yaydığını ve radarın kaynağını tespit yeteneğine sahiptirler (Brown, 2014).

Bu sistemlerle üstesinden gelinemeyen önemli bir operasyonel sorun, çatışmaya katılan uçaklar arasında yüksek bütünlüklü bir iletişim bağlantısı gerektiren çelişkili olmayan, tamamlayıcı kaçınma manevralarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu ihtiyaca, trafik çarpışma önleme sistemi (Traffic Collision Avoidance System-TCAS), kara tabanlı hava trafik kontrol sisteminden bağımsız olarak çalışan ve çok çeşitli uçak tipleri için çarpışmadan kaçınma koruması sağlayan, havadaki cihaz ailesi çözüm olarak kullanılmaktadır. Tüm TCAS sistemleri bir dereceye kadar çarpışma tehdidi uyarısı ve trafik gösterimi sağlar (Introduction to TCAS II, Version 7.1, 2011).

##### 5. Türkiye'de ve dünyada meydana gelen kazalar ve değerlendirmesi

Havacılık sektörünün gittikçe daha büyük ve karmaşık bir hal alması, uçuş ve yer emniyeti güvenliğinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Hava aracı sisteminin mekanik, insan ve teknoloji bileşenlerinin aksaklık göstermesi veya arıza yapması sonucunda meydana gelen olaylar havacılık kazaları olarak adlandırılmaktadır. Havacılık kazalarının temelinde pilotaj hatası, sistem hatası, hava koşulları gibi birçok neden bulunmaktadır (Şen, 2020).

Türkiye'de 1955-2003 yılları arasında 562 sivil havacılık kazası meydana gelmiş ve bu kazaların 237'sinde en az bir ölüm veya yaralanma oluşmuştur. 2004-2011 yılları arasında ise 206 uçak kazası meydana gelmiştir. Uçak kazaları, uçak, ortam, yöntem ve insan faktörleriyle açıklanabilir. Sisteminin çeşitli bileşenlerinde meydana gelen önemli arızalara bağlı olarak diğer bileşenlerinde bozulması, kötü meteorolojik koşullar kazaya neden olabilmektedir. Uçak-Havacılık-Uzay mühendisliği meslek dalı ana komisyonunca gerçekleştirilen araştırmaya göre uçak kazaları nedenleri incelendiğinde %56 uçuş ekibi, %17 uçak tipi, %13 hava koşulları, %4 bakım ve onarım, %4 havaalanı/ hava trafik kontrolleri ve %6 diğer faktörlerden kaynaklı olduğu belirtilmektedir (İstatistiklerle Hava Taşımacılığı Kazaları, 2012). Yeni nesil uçaklar sahip oldukları GPS sistemi ile hedefi çok hassas tayin edebilmekte, JDAM/JSOW/GBU gibi akıllı mühimmatlar ile en kötü hava şartlarında bile bilgisayarlar hesaplamalarıyla nokta atışı görevler yapabilmektedirler. Daha önce savaş uçakları hava muharebesinde sadece topla diğer uçağı vurmaya çalışırken yeni nesil savaş uçakları akıllı teknolojilerden Kızılötesi (IR) veya radarlar yardımıyla çok uzaktan düşman uçağına angaje olabilmektedirler. Bu sayede başarı yüzdeleri büyük oranda artmıştır. Tablo 1'de hava araçlarının yaşadığı kazalar, kaza sebepleri ve günümüzde bu kazaların önlenmesi için gerekli akıllı teknolojilerin değerlendirilmesi verilmiştir (Timeline of Aircraft Accidents, 2020).

**Tablo 1: Akıllı Teknolojiler Açısından Uçak Kazaları Değerlendirilmesi**

Yıl	Uçak	Kaza sebebi	Akıllı teknolojiler ile çözümlenmeleri
1912	Bleriot	Pilotların sabah pus sebebiyle birbirlerini görememeleri	Uçaklarda bulunan radarlar, data linkler, TCAS gibi çarpışmayı önleyici sistemler ile iki uçak birbirini çıplak gözle göremediğinde dahi hava resmine farkındalık sağlayabilmektedirler.
1913	Maurice Farman MF.7	Yerden gelen ateş ile vuruldu	RWR sistemleri yerden atılabilecek top, füze gibi sistemleri tespit edebilmekte ve hangi sektörden atış yapıldığını pilota gösterebilmektedir.
1914	Burgees D-1	200 feetten suya çarptı	PGCAS sistemi uçağın yere çarpma ihtimalini değerlendirerek pilota sesli ve görsel uyarı vermektedir.

**Tablo 1 (Devamı): Akıllı Teknolojiler Açısından Uçak Kazaları Değerlendirilmesi**

1920	Handley Pages/O-400	Uçak puslu bir havada alçaktan uçtuğu için bir ağaca ve evin duvarına çarpmıştır.	ATIS sistemleri ile anlık hava durumu alınabilmekte, GPS ve INS sistemleri sayesinde de alternatif uçuş yolları oluşturulabilmektedir.
1947	Douglas DC-6	Yakıt transfer ünitesinin tasarım hatası sebebiyle uçak, yakıtsız kalması sebebiyle düşmüştür.	Uçak tasarım aşamalarında Matlab, Phyton gibi yazılım ve simülasyon programları kullanılarak tasarım hatalarının önüne geçilmektedir. Ayrıca uçakta bulunan ikaz sensörleri yakıtın belli bir seviye altına düşmesi ile pilotu bilgilendirmektedir.
1959	Avro Super Trader IV	Uçak şiddetli rüzgâr sebebiyle rotasından sapmış ve Süphan Dağına çarpmıştır.	AWOS ve ATIS gibi sistemler ile meteoroloji bilgisi alınabilmekte, GPS ile otomatik rüzgâr düzeltmesi yapılabilmekte, uçağın kaç derece rotadan saptığı gözlenebilmektedir.
1983	Boeing 747	Alaska'dan kalkan uçak Seul rotasındayken rotadan çıkarak Sovyet hava sahasına yanlışlıkla girmiş ve Rus savaş uçakları tarafından düşürülmüştür.	Gelişen GPS ve INS sistemleri ile istenilen rota uçulabilmekte ayrıca herhangi bir şekilde telsiz teması kurulamadan rotadan çıkılması durumunda IFF sistemleri ile uçak ile ilgili arıza, kaybolma, kaçırılma gibi komutlar diğer hava ünitelerine gönderilebilmektedir.
1996	Boeing747-İlyushin 76	Uçaklar havada çarpıştılar.	TCAS sistemleri ile rota üzerinde bir hava aracı varsa pilotlar uyarılmakta, radarlar tarafından uçaklar anlık olarak yer ünitelerinden takip edilebilmektedir.
2003	BAE AVRO 146 RJ -100	Uçuş Ekibi tarafından, 2800 ft irtifada minimum alçalma irtifasına (MDA) gelinmesine ve yaklaşma ışıkları veya pistin görülememesine rağmen inişte ısrarcı davranılmış ve uçak araziye çarparak düşmüştür.	ILS, MLS gibi aletli iniş sistemleri ile pilotlara inişte alçalma hattı görülebilmekte, eğer pist görüşü yoksa uçağa bağlanabilen yedek meydan yakıtı ile pilot ikaz edilerek zamanında uygun bir meydana divert edilebilmektedir. Ayrıca uçak bilgisayarı tarafından en az yakıt harcayacak gaz kolu rejimi ve irtifa/sürat bilgisi pilota bildirilebilmektedir.
2006	Tu-154	10000 feet yükseklikte oraj ve türbülans sonucu uçak hakimiyeti kaybedilerek uçak düştü. Automated Weather Observing System-AWOS adı verilen hava gözlem sistemleri ile pilotlar uçuş öncesinde ve uçuş esnasında uçtukları rota üzerindeki hava olaylarını öğrenebilmekte, ayrıca sahip oldukları radarlar ile uçuş yolunda herhangi bir bulut/oraj oluşumu olup olmadığını inceleyebilmektedirler.	10000 feet yükseklikte oraj ve türbülans sonucu uçak hakimiyeti kaybedilerek uçak düştü. Automated Weather Observing System-AWOS adı verilen hava gözlem sistemleri ile pilotlar uçuş öncesinde ve uçuş esnasında uçtukları rota üzerindeki hava olaylarını öğrenebilmekte, ayrıca sahip oldukları radarlar ile uçuş yolunda herhangi bir bulut/oraj oluşumu olup olmadığını inceleyebilmektedirler.

**Tablo 1 (Devamı): Akıllı Teknolojiler Açısından Uçak Kazaları Değerlendirilmesi**

2015	Cessna C150	Shaw Askeri Hava Üssü'nden kalkan F-16 ile Cessna C 150 tipi özel uçak Charleston kentinin kuzeyinde çarpıştı.	TCAS sistemleri ile rota üzerinde bir hava aracı varsa pilotlar uyarılmakta, radarlar tarafından uçaklar anlık olarak yer ünitelerinden takip edilebilmektedir.
2016	Viking Air-built DHC-6	Nepal Myagdi sınırında oraja girmiş ve dağa çarpmıştır. 23kişi hayatını kaybetmiştir.	Radarlar vasıtasıyla rota üzerinde oraj taraması yapılarak gerektiğinde rota değiştirilerek emniyetle uçuş yapılabilmektedir.
2017	Boeing 747-400F	Yoğun sis ve görüşün 30 m olarak rapor edildiği Kırgızistan'ın Bişkek meydanına inmeye çalışan kargo uçağı yerleşim bölgesine çarptı. 4 mürettebat ve 35 kişi hayatını kaybetti.	AWOS/ATIS sistemleri vasıtasıyla gerekli meteorolojik bilgiler daha dikkatli dinlenip, ILS sistemi hassas şekilde kullanılarak emniyetli bir iniş yapılabilmektedir.
2018	Beechcraft C90 King Air	Mumbai Jagruj Nagar bölgesine pilotun durumsal farkındalığını kaybetmesi sebebiyle düştü.	Durumsal farkındalık için Head-Up üzerinde durum çizgileri aşağı veya yukarı yönlü olarak görülmekte, otopilot sistemleri herhangi bir oryantasyon kaybında kullanılarak düz uçuşu sağlayabilmektedir.
2019	Havilland Canada DHC-3	İlgili uçak Alaska George Inlet bölgesinde DHC-2 tipinde bir uçakla çarpışmıştır.	TCAS sistemleri ile rota üzerinde bir hava aracı varsa pilotlar uyarılmakta, radarlar tarafından uçaklar anlık olarak yer ünitelerinden takip edilebilmektedir.
2020	Boeing 737-800	İran-Kiev arası uçuş yapan Ukrayna'ya ait uçak İran tarafından vuruldu. 176 kişi hayatını kaybetti.	RWR sistemleri ile kilit atılan yerden havaya sistemler görülebilmekte, DASS sisteminin bir parçası olan chaff ve flare gibi yardımcıları atılan füzelerden kurtulma şansı oluşmaktadır.

Tablodaki örnekler de gösteriyor ki, akıllı teknolojilerin eksikliği hem uçakların hem de pilot ve yolcuların kaybıyla sonuçlanmıştır. Bu noktada, akıllı teknolojiler sayesinde uçak, hava koşulları ve hava trafik gibi konularda kaza oranları düşmekte ancak insan faktörü ciddiye alınmalıdır (Boeing, 2020).

## 6. Tartışma ve bulgular

Gelişen teknoloji ile zamana bağlı olarak kazalarda insan faktörünün etkisi halen geçerliliğini korumakta ve sistemlerin akıllı hale getirilmesi ile sistemsel hatalar azalırken insan kaynaklı hataların arttığı görülmektedir (Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations, 2020). Tablo 1'de incelenen sivil ve askeri uçak kazaları akıllı teknolojilerin katkısı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde akıllı teknolojiler

ile birçok kazanın önüne geçilebileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kazalar incelenmiş ve mekanik ve insan kaynaklı sebepler göz ardı edildiğinde, akıllı teknolojilerden TCAS/PGCAS ile uçakların havada birbirini görmeden çarpışma ihtimali veya rotada bir dağa çarpma ortadan kalkabileceği, ATIS/AWOS/Radar gibi sistemlerle uçuş rotası veya gidilecek meydanın hava şartlarının önceden fark edilebileceği, Anti-Icing sistemiyle buzlanmaların önlenilebileceği, ILS gibi aletli alçalma sistemleri ile de yaklaşma esnasında ağaca veya piste çarpma ihtimalinin de azalacağı değerlendirilmiştir.

1920 ile 1970 yılları arasındaki sivil uçak kazaları incelenmiş ve can veya uçak kaybı yaşanan toplam 410 kazanın yaşandığı raporlanmıştır. Bu kazalar akıllı teknolojiler açısından irdelendiğinde; havada bir dağa veya

başka bir uçağa çarpmaya bağlı kazalar toplam kazaların %9,5'ini, meteorolojik şartlara bağlı kazalar %8,5'ini, yaklaşma ve iniş esnasında oluşan kazalar ise %12'sini oluşturduğu görülmüştür. Bahsedilen akıllı teknolojilerin eksikliği sebebiyle kazaların olma ihtimali göz önüne alındığında, akıllı teknoloji eksikliği sebebiyle oluşan kazaların toplam kazaların %30'unu oluşturduğu görülmüştür. İnsan faktörü göz ardı edilerek bahsedilen akıllı teknolojiler ile bu kazaların olmama ihtimali varsayıldığında o yıllarda kaza oranlarında %30'luk bir azalma olması ve hepsinden önemlisi yüzlerce can kaybının önüne geçilebileceği değerlendirilmektedir (Timeline of Aircraft Accidents,2020).

## 7. Öneriler

Pilotların yoğun uçuş ortamlarında farkındalık ve karar verme kabiliyeti, uçuculuk konusunda daha gelişmiş içgüdülere sahip olsalar da azalabilmektedir. Bu durum insan ve uçak kaybına sebep olan kazaların oluşmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple, hatanın en aza indirilmesi amacıyla uçaklara çeşitli sensör ve sistemler entegre edilmiştir. Bu sistemler arasında, düşman uçağını ve yerden havaya atılan füze sistemlerini gösterebilen RWR, atılan füzeyi ikaz eden MWS, yere veya karşıdaki bir engele çarpmayı engelleyen PGCAS ve TCAS, ses ile komut sağlayan Voice Command System sayılabilmektedir. Bu teknolojiler vasıtasıyla daha güvenli ve daha efektif bir uçuş imkânı sağlanmış olmaktadır.

Günümüzde sahip olunan teknolojik bilgi seviyesine göre silahların niceliği değil niteliği önem arz etmektedir. Karmaşık ve ileri teknolojiler ile yapay zekâ kullanımına başlayan gelişmiş ülkeler son dönemde daha kritik bir pozisyon almışlardır. Bu teknolojileri kullanan ülkeler, savunma ihtiyacının karşılanmasında verimli ve düşük maliyetli çözümler yardımıyla tek hava platformu ile birçok görevi tek başına yapabilecek teknolojik donanımına sahip olabilmektedirler. Ortaya çıkan yeni teknolojiler ve bu teknolojilerin yapay zekâ ile entegrasyonu başarılı uygulamaların oluşmasını sağlayacaktır. Bu gelişmeler ve değişimler hayatımızın her alanını baştan sona etkileyecek ve kolaylaştıracaktır. Bugün savunma sanayinde, yapay zekâ alanında ilerlemek çağı yakalayabilmek ve küresel ekonomide söz sahibi olabilmek son derece önem taşımaktadır. Artık kablosuz ağlar

yardımla F-16 uçakları uzaktan kontrol edilebilmekte, insansız hava araçlarına yapay zekâ modellemesi ile hedef tespiti, teşhisi ve imhası yapılabilmekte, havada karşılaştığı problemlere kendi başına çözümler üretebilmektedir.

Japonya, Çin, Avustralya ve ABD askeri havacılıkta yönünü stealth teknolojisine sahip, yapay zekâ kullanan İnsansız Hava Araçlarına (İHA) çevirmiştir. Bu araçlar A-400 M gibi taşıyıcı platformlardan istenilen noktadan atılabilecek ve uzaktan kontrol edilebilecektir. Hem yerden hem de sistem komutanı olarak görev yapacak insanlı bir uçaktan İHA'lar yönlendirilebilecektir. Yapay zekâyâ sahip olan bu İHA'ların eğitimleri 2019 yılının mart ayında başlatılmış olup bu makinaların öğrenmeleri asla durmayacaktır. 2023 yılında aktif göreve başlaması planlanan XB-58'ler, öğrendikleri ve görüntüledikleri tüm bilgileri anlık olarak data linkler vasıtasıyla kara, deniz ve havadaki tüm platformlara iletebileceklerdir. Bu kapsamda ABD F-15-E (X)'leri ile F-35'lerini sisteme entegre etme çalışmalarına başlamıştır. Şu an yarı-otonom olarak görev yapabilme kabiliyeti olan XB-58'lerin yakın zamanda tam otonom hale gelebilmesi için çalışmalar yürütülmektedir.

Yapay zekâ teknolojisi ve İHA konsepti ile savaş stratejileri tamamen değişecektir. Türkiye için ise bu ölçüde milli İHA ve SİHA konseptinin akıllı hale getirilip data linkler vasıtasıyla müşterek bilgi akışı içerisinde hareket edebilmeleri önem taşımaktadır. Bu kapsamda savunma sanayi Türkiye'nin bulunduğu jeopolitik konum sebebiyle çok daha önemli bir hal almaktadır. Çünkü caydırıcılık temelde sahip olunan ekonomik güç ve savunma sanayinin gücü ile doğru orantılıdır. Aynı zamanda bu iki kavram da birbiri ile orantılı gözükmemektedir. Uluslararası arenadaki güçlü devletlere bakıldığında güçlü savunma sanayisi olan devletlerin aynı zamanda da güçlü birer ekonomiye sahip oldukları ortadadır. Bu çerçevede Türkiye'nin savunma havacılığı yol haritasında; savunma stratejilerini bir üst seviyeye çıkarabilecek yapı ve teknolojileri yerli ve milli imkanlarla üretmek, bu teknolojileri üretebilecek insan gücü ve tesislere destek vermek ve bu konuda yeni yetişen nesli bilinçli bir şekilde milli üretime ve onun uzantılarına teşvik etmek yer almaktadır. İşte dünyadaki gelişmiş ülkelerin sahip olduğu bu veya buna benzer yapay zekâ teknolojilerini

sahip olmak için belirli bir vizyon ile çalışmak Türkiye'nin geleceği açısından çok önemlidir. Bu sebeple savunma sanayi ve yapay zekânın eksenini oluşturan başta matematik, matematiksel modelleme, fizik, uzay, bilgisayar ve yapay zekâ algoritmaları yazabilecekleri programlama alanında olmak üzere her alanda yetişmiş insan gücüne ihtiyaç bulunmaktadır.

### Kaynaklar

**Agard.** (1982). Advanced Avionics and the Military Aircraft Man-Machine Interface. Advisory Group for Aerospace Research and Development: *AGARD conference proceedings*, NATO No. 329

**Airman's Information Manual.** (1994). *US FAA*. Erişim: 28 Nisan 2020, [https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/media/AIM\\_Basic\\_dtd\\_10-12-17.pdf](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/media/AIM_Basic_dtd_10-12-17.pdf)

**Baran, T.** (2018). Türkiye'de Savunma Sanayi Sektörünün İncelenmesi ve Savunma Sanayi Sektörü Harcamalarının Ekonomi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Sayı 4, Cilt 2, sy. 58-81

**Billingsley, G., Kucher, J. K., Jacobson, S. W.** (2001). Head-Up Display Symbolology for Ground Collision Avoidance. *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 11, Iss. 1, pp. 33-51

**Brown, S.** (2014). Phobos: The design and implementation of embedded software for a low cost radar warning receiver. PhD Thesis. University of Glasgow

**Chung, S. H., Ma, H. L., Hansen, M., Choi, T. M.** (2020). Data science and analytics in aviation, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 134, 1-7.

**Çetin, S.** (2015). Türk Savunma Sanayi Gelişimi İçin Hızlandırılmış Teknoloji İstihbarat Yöntemi:Trız, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Dou, X. (2020). Big data and smart aviation information management system, *Cogent Business & Management*, 7 (1), 1-14.

**ECP 1885R1.** (1998). *Scribd*. Erişim: 10 Mayıs 2020, <https://www.scribd.com/doc/2326267/F-16-MLU-Manual-Part-1#download>

**Güneş, A., Çevik İ.** (2017). Kabin Memuru Yönetim Sistemi Mobil Uygulaması, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, Cilt 1, No 2, sy 1-4.

**Güngör, M., Tekin, M. A., Yılmaz, R.** (2009). WİMAX: Diğer Geniş bant Telsiz Erişim (GTE) Teknolojileri ile Karşılaştırılması, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, Ankara.

**Introduction to TCAS II, Version 7.1.** (2011). *US FAA*. (2011). Erişim: 28 Nisan 2020, [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/TCAS%20II%20V7.1%20Intro%20booklet.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/TCAS%20II%20V7.1%20Intro%20booklet.pdf)

**İçen, E.** (2018). Küresel ve Bölgesel Konumlama Sistemleri, Teknolojileri ve Uygulamaları, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi, Ankara.

**İstatistiklerle Hava Taşımacılığı Kazaları.** (t.y.). *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Uçak – Havacılık – Uzay Mühendisliği Meslek Dalı Ana Komisyonu*, Cilt: 48 Sayı: 566. Erişim: 12 Nisan 2020, [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/8997733ec258a9f\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/8997733ec258a9f_ek.pdf)

**Kaya, İ. S.** (2016). Chicago Sözleşmelerinin Uluslararası Hukuk Açısından Değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi* Cilt:7 Sayı:2, sy. 187-200.

**Korul, V., Küçükönel, H.** (2003). Türk Sivil Havacılık Sisteminin Yapısal Analizi, *Ege Akademik Bakış Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, sy 24-38.

**Makoto, H. A., Juliette, B.** (2019). A Conceptual Framework for Breakthrough Technologies, in *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*, Delft, The Netherlands,

**M1 The Pilot's Guide to new capabilities& cockpit enhancements F333657-90-C-2233**

**Nairat, R.** (2015). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Filistin-Ramallah'ta Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Polis Akademisi Güvenlik Bilimler Enstitüsü, Ankara.

**Salman, M.** (2009). Füzeler Alıcılarında Hedef Tespiti İçin Bilgisayarla Görme Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

**SGHM.** (2020). *SGHM*. Erişim: 15 Mayıs 2020, <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce>.

**Sharma, K., Srinivas, G.** (2020). Flying smart: Smart materials used in aviation industry, *Materials Today: Proceedings* 27, 244–250

**Stratejik Vizyon Belgesi.** (2014). *TASAM Millî Savunma ve Güvenlik Enstitüsü*. Erişim: 10 Mayıs 2020, [https://tasam.org/Files/Icerik/File/Milli\\_Savunma\\_ve\\_G%C3%BCvenlikEns tit%C3%BCs%C3%BC.pdf\\_873c50e3-6e66-4515-91d6-3c7207597777.pdf](https://tasam.org/Files/Icerik/File/Milli_Savunma_ve_G%C3%BCvenlikEns tit%C3%BCs%C3%BC.pdf_873c50e3-6e66-4515-91d6-3c7207597777.pdf)

**Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations.** (t.y.). *Boeing*. Erişim: 10 Mayıs 2020, [https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about\\_bca/pdf/statsum.pdf](https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf)

**Şen, M.** (2020). Havacılıkta Kullanılan Akıllı Teknolojilerin Performans Değerlendirmesi ve Gelecek Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Balıkesir.

**Tikhonov, A. I., Sazonov, A. A., Novikov, S. V.** (2019). Digital Aviation Industry in Russia, *Russian Engineering Research*, 39(4), 349–353.

**Timeline of Aircraft Accidents.** (t.y.). *Wikipedia*. Erişim: 10 Mayıs 2020, [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_accidents\\_and\\_incidents\\_involving\\_commercial\\_aircraft](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accidents_and_incidents_involving_commercial_aircraft)

**T.O. GR1F16CJ1, Flight Manual Haf Series Aircraft F16 C/D Blocks 50 and 52+ Lockheed Martin Corporation.** (2003). *Publicintelligence*. Erişim: 22 Nisan 2020, <https://info.publicintelligence.net/haf-f16.pdf>

**Tufan, H.** (2014). Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye İçin Bir Akıllı Teknolojiler Mimarisi Önerisi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ankara.

**Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Eki Eylem Planı.** (2014). *T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*. Erişim: 05 Mayıs 2020, <http://www.sp.gov.tr>

[/upload/xSPTemelBelge/files/rJ6g4+Ulusal\\_AkilliUlasim\\_Sistemleri\\_Strateji\\_Belgesi\\_2014-2023\\_ve\\_Eki\\_Eylem\\_Plani\\_2014-2016\\_.pdf](/upload/xSPTemelBelge/files/rJ6g4+Ulusal_AkilliUlasim_Sistemleri_Strateji_Belgesi_2014-2023_ve_Eki_Eylem_Plani_2014-2016_.pdf)

**Voice Command System.** (t.y.). Youtube. Erişim: 17 Mayıs 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=Jsi6ukXg9as>

**2920 Sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu.** (1983). *T.C. Resmî Gazete*, 18196, 14 Ekim 1983

**3238 Sayılı Savunma Sanayi ile İlgili Bazı Düzenlemeler Hakkında Kanun.** (1985). *T.C. Resmî Gazete*, 18927, 07 Kasım 1985

*Araştırma makalesi*

## **Coğrafi bilgi sistemleri kapsamında akıllı ulaşım sistemlerinde asimetrik gezgin satıcı problemine R programlama dili TSP, MAPSAPI ve LEAFLET paketleri ile çözüm yaklaşımı**

Ufuk Çelik<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Yönetim Bilişim Sistemleri, Ömer Seyfettin Uygulamalı Bilimler Fakültesi,  
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

\* Correspondence: [ucelik@bandirma.edu.tr](mailto:ucelik@bandirma.edu.tr)

**Özet:** Gezgin satıcı problemi, kombinatoriyal optimizasyon kapsamında öncelikli olarak ulaşım sektöründe sıklıkla çalışılan önemli bir araştırma alanıdır. Belirli bir liste dâhilindeki her koordinatı bir kez ziyaret edip başlangıca geri dönen en kısa turu bulmak amaçlanır. Özellikle rota planlamada görülen asimetrik gezgin satıcı problemindeki farklılık ise koordinat çiftleri arasındaki mesafenin veya yolculuk süresinin eşit olmamasıdır. Gerçek hayatta özellikle büyük şehirlerde görülen tek yönlü yollar sebebiyle iki koordinat arasındaki mesafenin gidiş ve geliş farklı olması veya trafik sıkışıklığına bağlı olarak gidiş ve geliş arasında farklı sürelerin geçmesi maliyet ve zaman problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada otomatik rota planlamasında dikkate alınması gereken asimetrik gezgin satıcı problemi için R programlama dilinde geliştirilen bazı paketler kullanılmıştır. Problem çözümü için "TSP: Travelling Salesperson Problem" paketi, coğrafi bilgi sistemlerinde başvuru yön bulma, süre ve mesafe matrisleri oluşturmak ile koordinatları belirlemek için "mapsapi: 'sf'-Compatible Interface to 'Google Maps' APIs" Google Haritaları ara yüz paketi ve görselleştirme için ise "leaflet" paketi kullanılarak interaktif bir Google haritası oluşturulmuştur. Probleme örneklem olarak Bandırma ilçesinde rastgele 10 adet koordinat alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tekrarlayan en yakın komşuluk (repetitive-nn) algoritması en kısa tur hesaplamasını gerçekleştirmiştir. Hesaplamalar tur mesafesi ve ayrıca tur süresi bazında yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** coğrafi bilgi sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri, asimetrik gezgin satıcı problemi, en yakın komşuluk algoritması, R programlama dili

## **A solution approach to the asymmetric travelling salesperson problem in intelligent transportation systems within the scope of geographical information systems with R programming language TSP, MAPSAPI and LEAFLET packages**

**Abstract:** The traveling salesperson problem is an important area of research that is frequently studied in the transportation sector, primarily within the scope of combinatorial optimization. It is aimed to visit each coordinate within a certain list once and find the shortest tour that returns to the beginning. The difference in the asymmetric traveling salesperson problem, especially seen in route planning, is that the distance or travel time between the coordinate pairs is not equal. Due to the one-way roads in real life, especially in big cities, the distance between the two coordinates is different in departure and arrival, or due to traffic congestion, different times between departure and arrival cause cost and time problems. In this study, some packages developed in R programming language are used for the asymmetric traveling salesperson problem that should be taken into account in automatic route planning. "TSP: Traveling Salesperson Problem" package for the problem, "mapsapi: 'sf'-Compatible Interface to 'Google Maps' APIs" for creating direction finding, time and distance matrices used in geographic information systems and determining coordinates. An interactive Google map was created using the "leaflet" package for visualization. In the problem, randomly 10 coordinates were taken as the sample from Bandırma district. According to the results obtained, the repetitive-nn algorithm performed the shortest lap calculation. Calculations are made on the basis of lap distance the lap duration.

**Keywords:** Geographic information systems, intelligent transportation systems, asymmetric travelling salesperson problem, nearest neighbor algorithm, R programming language

\* Corresponding author. Tel.: +0-266-7170117-4018 ; fax: +0-266-717-0117

E-mail address: [ucelik@bandirma.edu.tr](mailto:ucelik@bandirma.edu.tr)

ORCID: 0000-0003-3063-6272 (in hierarchical order)

Received 20 October 2020; accepted 16 November 2020

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.



## 1. Giriş

Kombinatoriyal optimizasyon araştırması olan gezgin satıcı probleminin amacı bir liste dâhilinde verilen şehirleri yalnızca bir sefer ziyaret ederek en kısa yoldan turu tamamlamaktır. İlk olarak 1800’lerde Hamilton Döngüsü adı verilen bir oyunda matematiksel formülü tanımlanmıştır (Biggs et al., 1986). İlk uygulaması ise bir okul servisi için rota planlamasıdır (Lawler et al., 1985). 1950’lerde popüler bir araştırma konusu haline gelen gezgin satıcı problemi için başlangıçta tamsayı doğrusal program çalışmalar yapılırken 1960’larda asimptotik formüller ile daha basit çözümler üretilmiştir (Beardwood et al., 1959). Daha sonraları az yer kaplayan ağaç (minimum spanning tree) ve NP-tam ile NP-zorluk gibi çözümler üretilmiştir (Karp, 1972; Klarreich, 2013). 1980’lerde branch ve bound algoritması ile çok fazla sayıda şehir için problem çözümü sağlanmıştır (Padberg & Rinaldi, 1989). 1990’larda gezgin satıcı problemi performans testleri için örnek veri kütüphanesi kurulmuştur (Reinelt, 1991).

Günümüzde gezgin satıcı problemi için makine öğrenmesi algoritmaları optimum sonuçlar üretmektedir. Özellikle sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalar ile yapılan çalışmalar dikkat çekicidir (Rosenkrantz et al., 2009). Gerçek vaka örneklerine bakıldığında ise daha çok rota planlaması için çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Örneğin süt dağıtımı için en uygun rota planlaması (Urquhart & Viera, 2002), servis araçları için coğrafi bilgi sistemi destekli uygulama (Jayawant et al., 2016), siyasi partilerin miting gezileri planlaması (Ertuğrul & Özçil, 2016), yerel seyahat rotası için mobil uygulama (İlkuçar & Çetinkaya, 2018) gibi örnekler bunlardan bazılarıdır. Özellikle katı atık toplama için rota planlaması hakkında yapılan çalışmalar dikkat çekicidir (Chalkias & Lasaridi, 2009; Karadimas et al., 2007, 2008).

Klasik gezgin satıcı probleminde iki koordinat arasındaki mesafe aynı iken özellikle rota planlamada görülen asimetric gezgin satıcı probleminde şehir çiftleri arasındaki mesafenin veya yolculuk süresinin gidiş ve gelişte eşit olmamasıdır. Daha çok büyük şehirlerde görülen tek yönlü yollar sebebiyle iki koordinat arasındaki mesafenin gidiş ve gelişte farklı olması veya trafik sıkışıklığına bağlı olarak gidiş ve geliş arasında farklı sürelerin geçmesi maliyet ve zaman problemlerini ortaya

çıkarmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalara bakıldığında sezgisel algoritmaların kullanıldığı görülmektedir. Bir çalışmada TSPLIB kütüphanesi verileri ile meta-sezgisel algoritmalar balina, parçacık sürü ve gri kurt optimizasyonu algoritmalarının performansı incelenmiştir (Ahmed & Kahramanlı, 2018). Bulanık mantık ve karınca kolonisi ile melez bir yaklaşımda asimetric gezgin satıcı problemine bir çözüm aranmıştır (Aksaraylı & Pala, 2018). Problem için seyrek yönlü grafikler yöntemiyle iki belirleyici algoritma sunulmuştur (Kowalik & Majewski, 2020). Diğer bir çözümde ise evrimsel strateji algoritması denenmiştir (Karabulut, 2016). Tabu araması ve kanguru algoritması ile yapılan çalışmalarda diğer sezgisel yöntemlerdendir (Basu et al., 2017; Erdem & Keskinürk, 2011).

Coğrafi bilgi sistemleri kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda özellikle Google haritalar ile yapılan çalışmalar örneklendirilebilir (Chalkias & Lasaridi, 2009; Curtin et al., 2014; Jayawant et al., 2016; Jitt-Aer, 2018; Prasetyo et al., 2018; Santoso & Sanuri, 2019).

Her ne kadar istatistiksel programlama dili olsa da geniş kullanım alanı ile yaygınlaşan R programlama coğrafi bilgi sistemleri içinde çözümler sunmaktadır. Bu bağlamda özellikle gezgin satıcı problemi için geliştirilen TSP paketi hem simetric hem de asimetric gezgin satıcı problemi için çözüm sunarken aynı zamanda Google haritalar ile oluşturulan mesafe matrisi verilerini ve TSPLIB kütüphanesi verilerini de analiz edebilmektedir.

Bu çalışmada otomatik rota planlamasında dikkate alınması gereken asimetric gezgin satıcı problemi için R programlama dilinde geliştirilen bazı paketler kullanılmıştır. Asimetric gezgin satıcı problemi için “TSP: Travelling Salesperson Problem” paketi, coğrafi bilgi sistemlerinde başvuru yön bulma, süre ve mesafe matrisleri oluşturmak ile koordinatları belirlemek için “mapsapi: 'sf- Compatible Interface to 'Google Maps' APIs” Google haritaları ara yüz paketi ve görselleştirme için ise “leaflet” paketi kullanılarak interaktif bir Google haritası oluşturulmuştur. Google haritalar üzerinden alınan bilgiler günün farklı saatlerine göre değişiklikler göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre hem süre hem de mesafe türünden en iyi rotayı, tekrarlayan en yakın

komşuluk algoritması en iyi rota planlamasını gerçekleştirmiştir.

## 2. Veriler

Bu çalışmada asimetrik gezgin satıcı problemini örneklendirmek için Balıkesir ili Bandırma ilçesinden seçilen 10 adet farklı koordinatın Google haritalar ile adreslerinden enlem ve boylam koordinatları tespit edilmiş ve Tablo 1 ile gösterilen Excel verileri R dilinde bir “dataframe” olarak alınmıştır.

**Tablo 1. Örnek alınan koordinatlar**

Adres	Lon (enlem)	Lat (boylam)
A	40.35361117501268	27.969538994415778
B	40.3521353824361	27.968761153876184
C	40.35313696263715	27.970686979763872
D	40.352405197341945	27.971936889044738
E	40.35277967261562	27.973011466278013
F	40.35313696263715	27.97435624134376
G	40.35137090100705	27.97228557618318
H	40.35167751224675	27.9702524619452
I	40.351516445975285	27.967915269214643
J	40.35362589857307	27.97191176068755

Koordinatların seçiminde asimetrik gezgin satıcı problemi için özellikle tek yönlü yollar ve döner kavşaklar gibi yerler seçilmeye dikkat edilmiştir.

R programlama dilinde kodlar RStudio yazılımı ile geliştirilmiştir (Ihaka & Gentleman, 1996). Problemin çözümü için temel olarak R dili CRAN paketlerinden “TSP: Travelling Salesperson Problem” paketi kullanılmıştır (Hahsler & Hornik, 2007). Google harita ile entegrasyon için “mapsapi” paketinden yararlanılmıştır (Dorman, 2020). “mapsapi” paketi ile elde edilen koordinat, yön, mesafe gibi verilerin görselleştirilmesi için “leaflet” paketi kullanılmıştır (Cheng et al., 2019).

## 3. Metot

Bu çalışmada çözüm için üç farklı aşama bulunmaktadır. Öncelikle uzaklık matrisi oluşturulur. Arkasından matris verilerine göre gezgin satıcı algoritması ile en iyi rota bulunur. Son olarak rota görselleştirilir.

### 3.1. Koordinat verilerinden uzaklık matrisi oluşturulması

Tablo 1’de gösterilen Excel tablosundan alınan veriler R dilinde ‘dataframe’ şekline dönüştürülür. Bu dataframe verileri “mapsapi” kütüphanesi kullanılarak Google Haritalar entegrasyonu ile sürücü “driving” moduna göre her bir koordinatın birbirine olan uzaklıkları

“distance\_m” parametresine göre metre cinsinden Şekil 1 ile gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	225	690	718	720	876	782	461	289	1097
B	493	0	427	494	495	651	683	199	190	872
C	337	561	0	262	264	420	403	494	626	716
D	591	424	254	0	229	386	168	309	461	654
E	761	985	677	616	0	156	756	847	1050	425
F	906	1131	822	761	1151	0	1112	993	1196	571
G	627	442	382	175	265	421	0	226	479	690
H	558	288	228	211	355	511	257	0	326	780
I	671	178	514	496	673	829	606	285	0	1050
J	336	560	252	191	192	348	331	422	625	0

**Şekil 1. Metre cinsinden uzaklık matrisi**

Saat 09:00 itibariyle yapılan analize göre koordinatlar arası trafikte geçiş süreleri Google Harita bağlantısı ile ‘duration\_in\_traffic\_s’ parametresine göre saniye cinsinden elde edilen ‘dataframe’ Şekil 2 ile gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	37	189	164	158	210	184	104	45	286
B	140	0	162	126	121	172	176	77	37	263
C	95	133	0	80	75	127	124	167	141	223
D	168	127	83	0	77	129	58	99	144	254
E	268	285	263	233	0	51	280	321	296	177
F	301	341	322	292	287	0	297	379	347	236
G	173	156	134	54	81	133	0	77	173	259
H	195	106	85	72	126	178	94	0	124	283
I	203	63	189	177	184	236	184	104	18	295
J	91	129	86	56	54	106	103	143	137	0

**Şekil 2. Süre (sn) matrisi (saat 09:00)**

Görüldüğü üzere iki koordinat arasındaki mesafe ve süreler gidiş ve geliş göre farklı olup asimetriktir.

### 3.2. Gezgin satıcı problemi çözümü

Şekil 2’de görüldüğü üzere gezgin satıcı probleminde  $n$  adet şehir (A’dan J’ye) arasındaki mesafeler  $d$  isimli matriste  $d(i,j)$  ve  $i, j = 1 \dots n$  tanımı ile diyagonal elemanlar  $d(i,j)=0$  şeklinde saklanıyorsa bir tur, döngüsel permütasyon ile  $\pi \{1,2, \dots, n\}$  elemanları ile  $\pi(i)$  dizisi bir şehirden  $i$  şehrine takip etmesi olarak tanımlanabilir. Gezgin satıcı problemi burada permütasyon ( $\pi$ ) değerinin minimumu yani tur uzunluğunu bulmaktır.

$$\sum_{i=1}^n d(i, \pi(i)) \quad (1)$$

Simetrik mesafe matrisinde  $d(i,j) = d(j,i)$  iken asimetrikte eşit değildir. Doğrusal programlama problemi olarak farklı bir denklem ile gösterilse;

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

sonuç değerinin minimize edilmesi amaçlanır. Çözüm matrisi  $X=x_{i,j}$  alt turların bir çözüm matrisini temsil eder. 0 veya 1 olabilen  $x_{i,j}=1$  ise çözüm bir alt tur içindedir.

TSP paketinde tur uzunluğunu minimum yapmak için kullanılan algoritmalar tekrarlayan en yakın komşuluk algoritması ile en yakın, en uzak, en ucuz ve keyfi (nearest, farthest, cheapest and arbitrary) şeklinde birkaç farklı ekleme (insertion) algoritmalarıdır (Hahsler & Hornik, 2007).

En yakın komşuluk algoritması bir liste içindeki hedef koordinatlar arasından rastgele seçilen bir koordinat ile tura başlar (Altman, 1992). Ardından algoritma her zaman turdaki elde edilen son koordinata, henüz ziyaret edilmemiş en yakın koordinatı ekler. Bütün koordinatlar tamamlandınca algoritma sonlanır. TSP

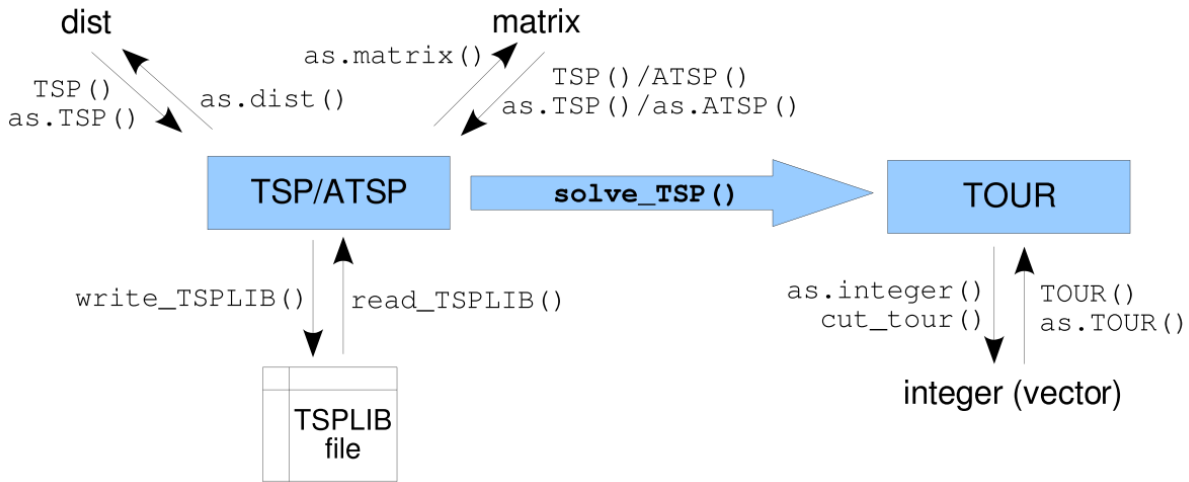
paketinde ayrıca tekrarlayan en yakın komşuluk (repetitive-*nn*) algoritması bulunmaktadır. Bu yöntemde algoritma her bir koordinatı başlangıç olarak ele alır ve tekrarlayarak en iyi turu bulur.

Tüm ekleme (insertion) algoritmaları rastgele bir şehirden oluşan bir turla başlar ve ardından her adımda henüz tura çıkmamış bir şehri seçer. Bu şehir, iki farklı şehir  $i$  ve  $j$  arasındaki mevcut tura, ekleme maliyeti (yani turun uzunluğundaki artış) fonksiyonu;

$$d(i, k) + d(k, j) - d(i, j) \quad (3)$$

en aza indirgenecek şekilde eklenir.

Pakette bulunan ekleme algoritmaları turun içinden seçilen  $k$  şehri için sırasıyla en yakın, en uzak, en ucuz ve rastgele olacak şekilde kullanılabilir.



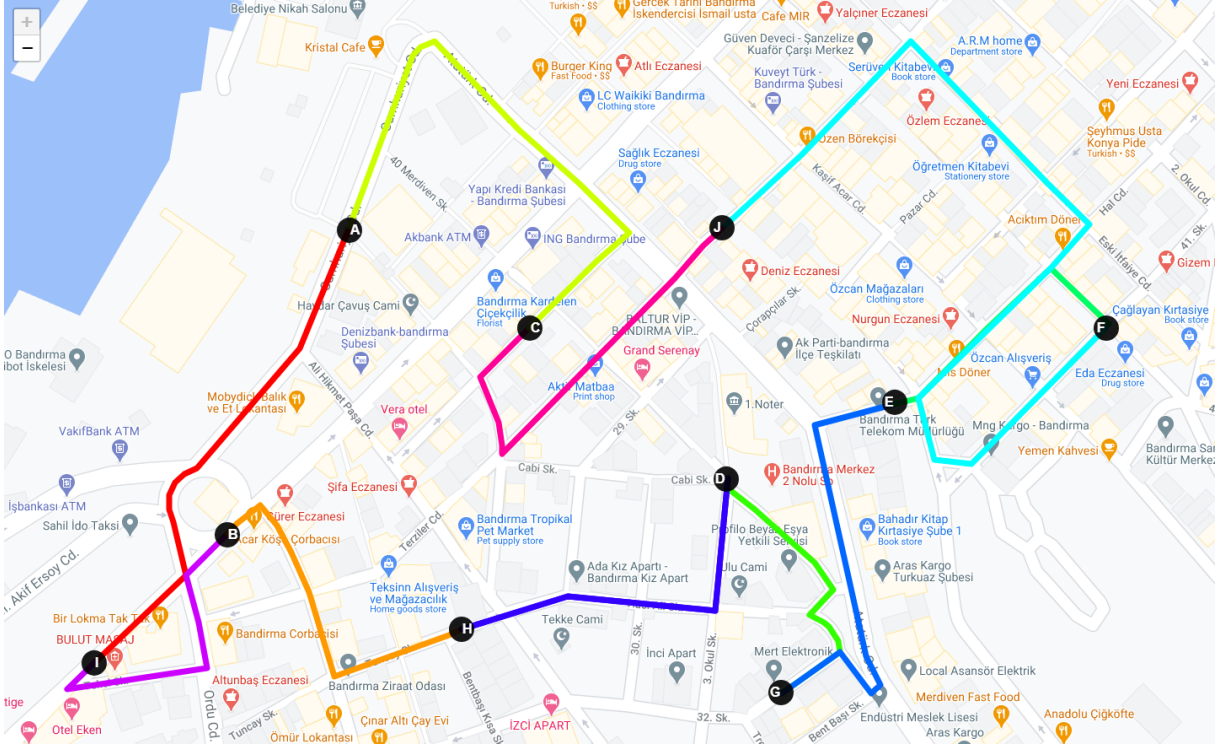
**Şekil 3.** TSP paketinde kullanılan fonksiyonlar (Hahsler & Hornik, 2007)

TSP paketi içinde bulunan fonksiyonlar arasındaki ilişki Şekil 3 ile gösterilmiştir. Şekil 1 ile gösterilen uzaklık matrisinden elde edilen veriler Şekil 3 ile gösterilen TSP paketinde 'as.dist' fonksiyonu ile alınır ve asimetrik olarak yeniden formüle (as.ATSP) edilir. 'solve\_TSP' fonksiyonu ile tur uzunlukları her bir algoritma için hesaplanır ve en kısa tur (as.TOUR) bulunur. Elde edilen en iyi tur için 'mapsapi' kütüphanesinden Google Haritalar kullanılarak bulunan yönler 'leaflet'

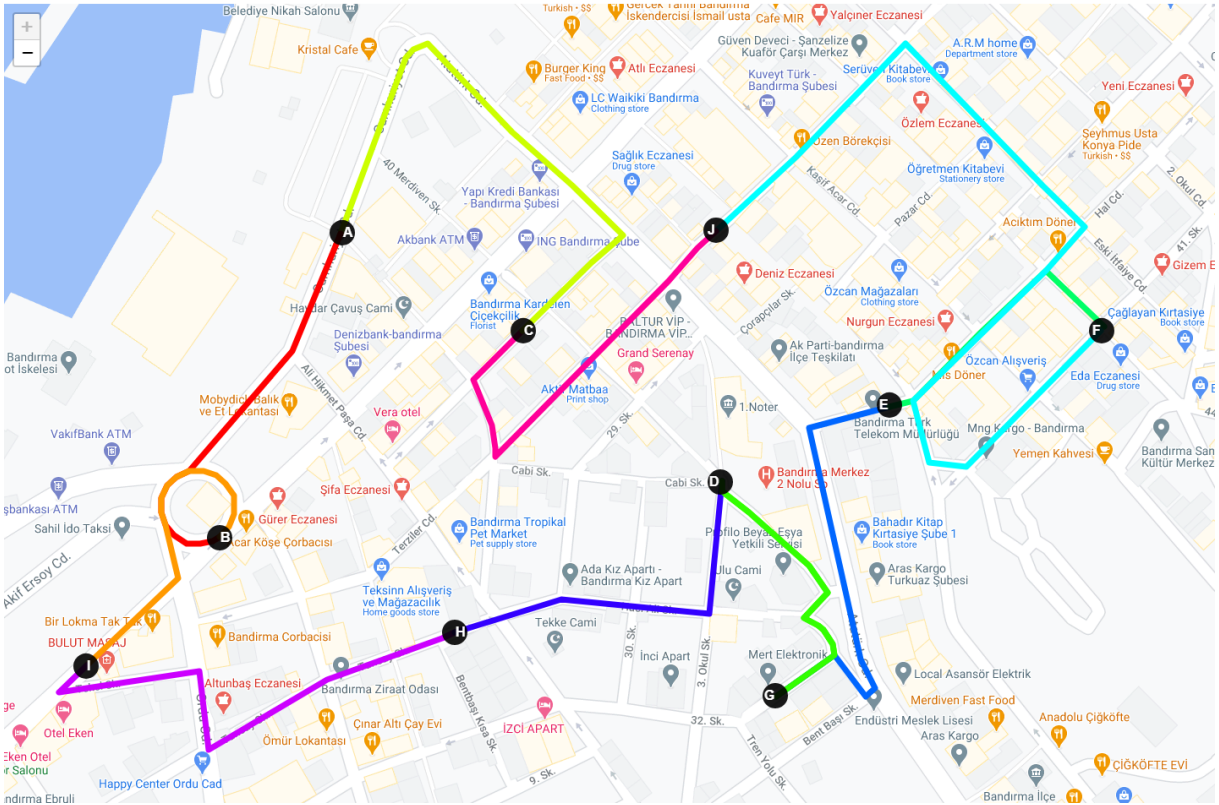
kütüphanesi ile interaktif Google haritası olarak ekranda gösterilir.

### 3.3. Verilerin görselleştirilmesi

Bu aşamada elde edilen yön verileri ile "leaflet" kütüphanesi sayesinde Google Haritalar üzerinden mesafeye göre hesaplanan rota Şekil 4 ile gösterilmiştir. Şekil 5'te ise süreye göre çıkartılan rota gösterilmiştir. 'leaflet' kütüphanesi büyültme ve küçültme gibi özelliklerle interaktif haritalar oluşturur.



Şekil 4. Mesafeye göre hesaplanan rota görselleştirilmesi



Şekil 5. Süreye göre hesaplanan rota görselleştirilmesi (saat 14:00)

Haritada koordinatlar siyah bir daire ile koordinat adları ise beyaz renkle görselleştirilmiştir. 'leaflet' kütüphanesi javascript tabanlı bir kodlamasına sahiptir. 'leaflet' kütüphanesi mapsapi kütüphanesinden

gelen verileri kullanarak Google Haritalar ile entegre bir şekilde interaktif harita özelliklerini barındırmaktadır. Harita üzerinden fare ile gezinti yapılarak detaylı bilgiler alınabilir. Ayrıca büyültme veya küçültme yapılabilir.

#### 4. Bulgular

Bu çalışmada coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan bir çok ticari yazılımın aksine açık kaynak kodlu bir programlama dili olan R dilinde geliştirilmiş “TSP: Travelling Salesperson Problem” paketi kullanılmıştır. Bu paket aynı zamanda asimetric gezgin satıcı problemi içinde destek sağlamaktadır. Yapılan analizde hem süre hem de mesafe türünden en iyi rotayı, tekrarlayan en yakın komşuluk “repetitive-*nn*” algoritması tespit etmiştir.

Mesafeye göre gerçekleştirilen analizde en iyi rota için toplam tur uzunluğu 2626 metre olarak bulunmuştur. Denenen tüm metotlar içinde tekrarlayan en yakın komşuluk algoritması (repetitive-*nn*) aşağıda verilen en iyi rotayı bulmuştur.

En iyi rota = I-B-H-D-G-E-F-J-C-A-I

Saat 09:00 itibariyle süreye göre hesaplanan rota planlanmasında trafikte geçen bir turun toplam süresi 857 saniye olarak bulunmuştur. Denenen algoritmalar arasından tekrarlayan en yakın komşuluk metodu aşağıda gösterilen en iyi rotayı bulmuştur.

En iyi rota = A-B-I-H-D-G-E-F-J-C-A

Süreye göre yapılan hesaplamada Google Harita üzerinden alınan bilgiler algoritmanın çalıştığı zamana göre hesaplanmaktadır. Bu sebeple Tablo 2 ile sonuçları gösterilen günün farklı saatlerinde yapılan analiz sonuçlarında trafiğe göre değişiklikler saptanmaktadır.

**Tablo 2.** Süreye göre hesaplanan rota planlaması sonuçları

Saat	Süre	Rota
09:00	857	B-I-H-D-G-E-F-J-C-A-B
10:00	850	G-D-C-E-F-J-A-B-I-H-G
14:00	889	A-B-I-H-D-G-E-F-J-C-A
23:00	852	D-G-E-F-J-A-B-I-H-C-D

Elbette gündüz ve gece trafiği arasında veya hava durumuna göre rota süresinde farklılıklar olacaktır. Hatta rota üzerinde meydana gelen bir gecikme olması durumunda rota tamamen değişecektir. Gecikme bilgileri de Google üzerinden aktarıldığı için sürelerde değişim olacaktır. Dolayısıyla rota değişecektir.

Coğrafi bilgi sistemleri kapsamında Google Harita servisleri çok önemli avantajlar

sağlamaktadır. Süreye göre hesaplanan rota planlamasında Google, trafik verilerini anlık olarak değerlendirdiği için daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Gündüz veya gece arasında rota süreleri değişmekte, hava durumu veya kaza gibi beklenmedik olaylarda rota planlaması farklılaşmaktadır.

#### 5. Sonuç

Bu çalışmada 10 farklı koordinat arasında hesaplanan rota planlamasında tekrarlayan en yakın komşuluk algoritması ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Çalışmada R dilinde hazırlanan “TSP: Travelling Salesperson Problem” paketi kullanılmıştır.

Özellikle büyük şehirlerde tek yönlü veya çıkmaz yollar gibi yerlere göre hesaplanması gereken rotalarda ortaya çıkan asimetric uzaklık matrislerinin gezgin satıcı problemi ile çözümünde bu çalışmada kullanılan R programlama dili iyi bir alternatif olmaktadır.

R programlama dili paketleri sayesinde sadece biri istatistik dili olmaktan çıkıp veri madenciliğinden coğrafi bilgi sistemlerine birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılır olmuştur. Araştırmacılar için iyi bir geliştirme platformunu ücretsiz bir şekilde sunması ise diğer bir avantajdır.

Asimetric gezgin satıcı problemlerinin çözümünde sezgisel metotlar gibi karmaşık yöntemlerin aksine en yakın komşuluk algoritması kullanılması birçok araştırmacı için kolaylık sağlamaktadır. İlerideki çalışmalarda R programlama dili ile geliştirilen paketler ile çözümler geliştirmek daha da tercih edilir olacaktır.

Bu çalışmada yöntemin geçerliliğini göstermek adına az sayıda (10) adet farklı koordinatlar seçilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda farklı gezgin satıcı problemi örnekleri üzerine daha fazla sayıda koordinatlarla çalışmak özgün değeri yüksek farklı çalışmalar olacaktır.

#### Kaynaklar

Ahmed, O. M. A., & Kahramanlı, H. (2018). Meta-Heuristic Solution Approaches for Traveling Salesperson Problem. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 6(3), 21–26. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijamec/issue/39103/458948>

- Aksaraylı, M., & Pala, O.** (2018). A Proposed Approach For Solving Asymmetric Travelling Salesman Problem by Fuzzy Ant Colony Optimization Algorithm. *Journal of Transportation and Logistics*, 3(1), 25–34. <https://doi.org/10.26650/JTL.2018.03.01.03>
- Altman, N. S.** (1992). An Introduction to Kernel and Nearest-Neighbor Nonparametric Regression. *The American Statistician*, 46(3), 175–185. <https://doi.org/10.1080/00031305.1992.10475879>
- Basu, S., Sharma, M., & Ghosh, P. S.** (2017). Efficient preprocessing methods for tabu search: an application on asymmetric travelling salesman problem. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 55(2), 134–158. <https://doi.org/10.1080/03155986.2017.1279897>
- Beardwood, J., Halton, J. H., & Hammersley, J. M.** (1959). The shortest path through many points. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 55(4), 299–327. <https://doi.org/10.1017/S0305004100034095>
- Biggs, N., Lloyd, E. K., & Wilson, R. J.** (1986). *Graph Theory, 1736-1936*. Clarendon Press. <https://books.google.com.tr/books?id=XqYTk0sXmpoC>
- Chalkias, C., & Lasaridi, K.** (2009). A GIS based model for the optimisation of municipal solid waste collection: The case study of Nikea, Athens, Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5(10), 640–650.
- Cheng, J., Karambelkar, B., & Xie, Y.** (2019). *leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript "Leaflet"* (R package version 2.0.3). R-CRAN. <https://cran.r-project.org/package=leaflet>
- Curtin, K. M., Voicu, G., Rice, M. T., & Stefanidis, A.** (2014). A Comparative Analysis of Traveling Salesman Solutions from Geographic Information Systems. *Transactions in GIS*, 18(2), 286–301. <https://doi.org/10.1111/tgis.12045>
- Dorman, M.** (2020). *mapsapi: 'sf'-Compatible Interface to "Google Maps" APIs* (R package version 0.4.7). <https://cran.r-project.org/package=mapsapi>
- Erdem, Y., & Keskindürk, T.** (2011). Kangaroo Algorithm and Travelling Salesman Problem Application. *Stanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(19), 51–63.
- Ertuğrul, İ., & Özçil, A.** (2016). Siyasi Parti Mitinglerinin Gezgin Satıcı Problemi Yaklaşımı ile Analizi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 223–238. <http://www.siyasetekonomiyonetim.org/index.php/senyad/article/view/485>
- Hahsler, M., & Hornik, K.** (2007). TSP - Infrastructure for the Traveling Salesperson Problem. *Journal of Statistical Software*, 23(2), 1–21. <https://doi.org/10.18637/jss.v023.i02>
- Ihaka, R., & Gentleman, R.** (1996). R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3), 299–314.
- İlkuçar, M., & Çetinkaya, A.** (2018). Mobil Telefon ve Google Harita Destekli Yerel Seyahat Rotası Optimizasyonu: Burdur Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 64–74. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.356320>
- Jayawant, Y. A., Joshi, N., & Vyawahare, S.** (2016). Service Scheduling Using an Agent Based Model with GIS Integration. *INCOSE International Symposium*, 26(s1), 193–203. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2016.00324.x>
- Jitt-Aer, K.** (2018). *The integration of Geographic Information Systems and Capacitated Vehicle Routing Problem for humanitarian logistics : a case study of preparedness for a tsunami in Phuket, Thailand*. University of Portsmouth.
- Karabulut, K.** (2016). An Evolutionary Strategy Algorithm for the Asymmetric Travelling Salesman Problem / Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi İçin Bir Evrimsel Strateji Algoritması. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 561–568. <https://doi.org/https://10.18466/cbayarfbe.280728>
- Karadimas, N. V., Doukas, N., Kolokathi, M., & Defteraïou, G.** (2008). Routing optimization heuristics algorithms for urban solid waste transportation management. *WSEAS Transactions on Computers*, 7(12), 2022–2031.
- Karadimas, N. V., Papatzelou, K., & Loumos, V. G.** (2007). Optimal solid waste collection routes identified by the ant colony system algorithm. *Waste Management & Research*, 25(2), 139–147. <https://doi.org/10.1177/0734242X07071312>
- Karp, R. M.** (1972). Reducibility among Combinatorial Problems. In R. E. Miller, J. W. Thatcher, & J. D. Bohlinger (Eds.), *Complexity of Computer Computations* (pp. 85–103). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2001-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2001-2_9)

**Klarreich, E.** (2013). *Computer Scientists Find New Shortcuts for Infamous Traveling Salesman Problem*. WIRED.

<https://www.wired.com/2013/01/traveling-salesman-problem/>

**Kowalik, Ł., & Majewski, K.** (2020). *The Asymmetric Travelling Salesman Problem in Sparse Digraphs*. 1–26. <http://arxiv.org/abs/2007.12120>

**Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Kan, A. H. G. R., & Shmoys, D. B.** (1985). *The Travelling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization* (1st ed.). John Wiley & Sons Ltd. <https://books.google.com.tr/books?id=qbFIMwEACAAJ>

**Padberg, M., & Rinaldi, G.** (1989). A Branch-and-Cut Approach to a Traveling Salesman Problem with Side Constraints. *Management Science*, 35(11), 1393–1412. <http://www.jstor.org/stable/2632284>

**Prasetyo, S. E., Utomo, A. B., & Hudallah, N.** (2018). Implementation of Google Maps API 3 with Haversine Algorithm in the Development of Geographic Information System Boarding House Finder. *Proceedings of the 7th Engineering International Conference on Education, Concept and Application on Green Technology, Eic 2018*,

227–233.

<https://doi.org/10.5220/0009008902270233>

**Reinelt, G.** (1991). TSPLIB—A Traveling Salesman Problem Library. *ORSA Journal on Computing*, 3(4), 376–384. <https://doi.org/10.1287/ijoc.3.4.376>

**Rosenkrantz, D. J., Stearns, R. E., & Lewis, P. M.** (2009). An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. In *Fundamental Problems in Computing* (Vol. 6, Issue 3, pp. 45–69). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9688-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9688-4_3)

**Santoso, H., & Sanuri, R.** (2019). Implementasi Algoritma Genetika dan Google Maps API Dalam Penyelesaian Traveling Salesman Problem with Time Window (TSP-TW) Pada Penjadwalan Rute Perjalanan Divisi Pemasaran STMIK El Rahma. *Teknika*, 8(2), 110–118. <https://doi.org/10.34148/teknika.v8i2.187>

**Urquhart, M. E., & Viera, O.** (2002). A Vehicle Routing System Supporting Milk Collection. *OPSEARCH*, 39(1), 46–54. <https://doi.org/10.1007/BF03398669>

Derleme makale

## Elektrikli araçlar: mekanik güç aktarma yapıları, elektrik güç sistemleri ve şarj yaklaşımları

M. Erhan Balcı<sup>1,2</sup>, Fuat Kılıç<sup>3</sup>, Oktay Karakaya<sup>1,4\*</sup>, İrem Dağlı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ar-Ge Birimi, İŞBİR Elektrik Sanayii A.Ş., Balıkesir, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

<sup>3</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

<sup>4</sup>Elektrik ve Enerji Bölümü, Balıkesir Bigadiç Meslek Yüksek, Balıkesir, Türkiye

\*Correspondence: [karakaya@balikesir.edu.tr](mailto:karakaya@balikesir.edu.tr)

**Özet:** Küresel ölçekte nüfus artışı ve insanların artan hareketlilik ihtiyaçları sonucunda, gün geçtikçe ulaşım araçları daha önemli bir gereksinim haline gelmekte ve buna bağlı olarak trafiğe çıkan araç sayısı hızla artmaya devam etmektedir. Böylece, benzin ve dizel yakıtlı geleneksel içten yanmalı motorlara sahip araçların kullanımı, hem çevre kirliliğine sebep olmaları hem de doğadaki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı sürdürülebilir olmaktan çıkmaktadır. Bu durum karşısında, birçok gelişmiş ülke, elektrikli araç tasarımı ve üretimi üzerine çalışmaları desteklemektedir. Ayrıca, bu ülkeler elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması için vergisel avantajlar ve zorlayıcı önlemler üzerine mevzuat düzenlemeleri yapmaktadır. Diğer taraftan, araştırmacıların elektrikli araç tasarım çalışmalarına ilgisi artmakta ve konu üzerine literatür sürekli bir gelişim göstermektedir. Bu makalede, elektrikli araçlarda kullanılan, mekanik güç aktarma yapıları, elektrik motorları, motor sürücü devreleri, bataryalar, batarya yönetim sistemleri ve şarj sistemleri üzerine kapsamlı bir literatür taraması sunulmuş, ayrıca bu bileşenlerde gerçekleşen son teknolojik gelişmeler tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli araçlar, elektrik motorları, motor sürücü devreleri, bataryalar, şarj sistemleri.

**Abstract:** Due to the population surge on a global scale and increased mobility needs of people, transportation vehicles has become an even important requirement day by day, and the number of vehicles in traffic continues to increase rapidly. Thus, the use of conventional internal-combustion-engine vehicles with gasoline and diesel fuel is not be sustainable due to both their contribution to environmental pollution and limited fuel reserves in nature. Against this situation, many developed countries support the works on electric vehicle design and production, and also prepare regulations on tax subsidies and stricter regulations to expand the use of the electric vehicles. On the other hand, the researchers' interest on the electrical vehicle design studies has been in increase, and the related literature shows continuous growth. In this paper, a comprehensive literature survey on the mechanical powertrain structures, electric motors, motor driver circuits, batteries, battery management systems and charging systems used in electrical vehicles are presented, and the recent technological developments on these components are also discussed.

**Key words:** Electric vehicles, electric motors, motor drive circuits, batteries, charging systems.

### Kısaltmalar

BEA: Bataryalı Elektrikli Araç

EA: Elektrikli Araç

EM: Elektrik Motoru

İYM: İçten Yanmalı Motor

İYMA: İçten Yanmalı Motorlu Araç

MEA: Melez Elektrikli Araç

TEA: Tamamen Elektrikli Araç

\* Corresponding author. Tel.: +0-266-614-6911; fax: +0-266-614-6913.

E-mail address: [karakaya@balikesir.edu.tr](mailto:karakaya@balikesir.edu.tr)

ORCID: 0000-0001-8418-8917, 0000-0003-2502-3789, 0000-0003-3871-1724\*, 0000-0002-5660-0553

Received 18 September 2020; accepted 20 November 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.



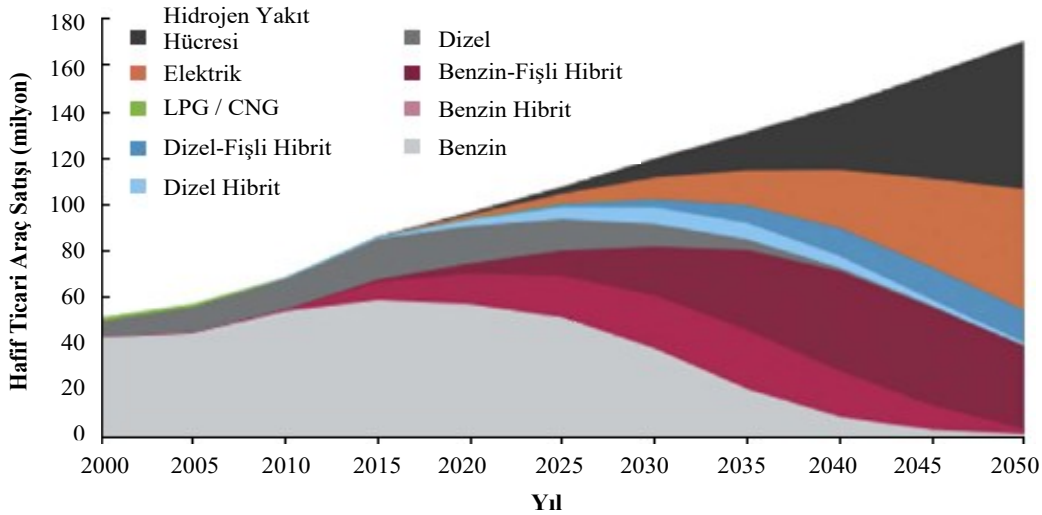
## 1. Giriş

Geleneksel, benzin veya dizel yakıt tüketen, içten yanmalı motorlu araçların (İYMA'ların) sayısındaki artış; küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarında artışa ve hava kirliliğine yol açmaktadır (Qiao ve diğ., 2019). Ayrıca, ulaşımda fosil yakıtlara bağımlılık, rezerv bakımından zengin olan ülkelerde dahi, ekonominin yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara hassasiyet göstermesine sebep olmaktadır (Khan ve Kar, 2009).

Bu sorunlara çözüm olarak; özellikle gelişmiş ülkelerde, Elektrikli Araçların (EA) geliştirilmesi, üretimi ve kullanımının yaygınlaşmasına yönelik çalışmalar hayata geçirilmektedir (Bubeck ve diğ., 2016; Li ve diğ., 2019; Palmer ve diğ., 2018). Bu çalışmalar doğrultusunda, Almanya'da 2020 yılından itibaren 1 milyon EA'nın trafikte olması hedeflenmiş (Bubeck ve diğ., 2016), İngiltere ve Fransa'da ise 2040 yılından itibaren İYMA satışının sınırlandırılması planlanmıştır (Li ve diğ., 2019). Alternatif enerji kaynakları temelli yeni nesil araçların kullanımının yaygınlaşmasını teşvik edici sübvansiyon ve özel vergi politikaları üzerine hazırlıklar, İngiltere, ABD, Japonya ve Çin başta olmak üzere birçok ülkede yürütülmektedir (Palmer ve diğ., 2018).

Diğer taraftan, Uluslararası Enerji Ajansı, enerji perspektifleri 2008 organizasyonunda, Mavi Harita (Blue Map) senaryosu olarak isimlendirilen ve 2005-2050 yılları arasında CO<sub>2</sub> emisyonunun yarıya indirilmesini hedefleyen bir rapor yayımlamıştır (Tanaka, 2008; Andwari ve diğ., 2017). Rapor, çeşitli sektörlerin ve paydaşların, bahsedilen hedef doğrultusunda yapması gerekenler ve rolleri üzerine öneriler sunmuştur. Ayrıca, aynı raporda Şekil 1'de verilen Mavi Harita senaryosuyla (Andwari ve diğ., 2017), teknoloji türlerine göre yıllık hafif ticari araç satış eğilimi hakkında bir öngörü yapılmıştır. Bu öngörüye göre; 2050 yılında küresel ölçekte, hafif ticari EA satışının her türden toplam araç satışının %50'si olacağı ve bunun neticesinde CO<sub>2</sub> emisyonunun %30 azalacağı beklentileri ortaya konmuştur.

Yukarıda kısaca bahsedilen eğilime paralel olarak, EA'lar üzerine ülkemizde de çalışmalar hızlanmış ve Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu tarafından ilk yerli-milli EA'nın prototipleri üretilmiştir (Demir, 2020).



Şekil 1. Mavi harita senaryosunda teknoloji türüne göre yıllık hafif ticari araç satışları. [Şekil 1, (Andwari ve diğ., 2017)'den alınmıştır.]



**Şekil 2.** (a) TOGG TEA ve (b) Mitsubishi MEA.  
[Şekil 2, (TOGG, 2019) ve (Mitsubishi, 2017)'den alınmıştır.]

Bununla birlikte, ülkemizde EA'lar üzerine üniversite-sanayi iş birliğinde yürütülen çalışmaların yaygınlaşması, böylece, ülke olarak Dünya EA pazarında daha fazla söz sahibi olabilmemiz için çok hızlı gelişmekte olan ilgili literatürün takibi önemli bir gerekliliktir.

Bu çalışmada, EA araçlar üzerine son yıllarda yayımlanan çalışmaları içeren kapsamlı bir literatür taraması yapılmış, ilgili teknolojideki son gelişmeler, aktarma yapıları, elektrik motorları, motor sürücü devreleri, bataryalar, batarya yönetim sistemleri ve şarj sistemleri gibi önemli sistem bileşenlerine odaklanılarak incelenmiştir. Elde edilen çıktılar detaylı bir şekilde raporlanmıştır.

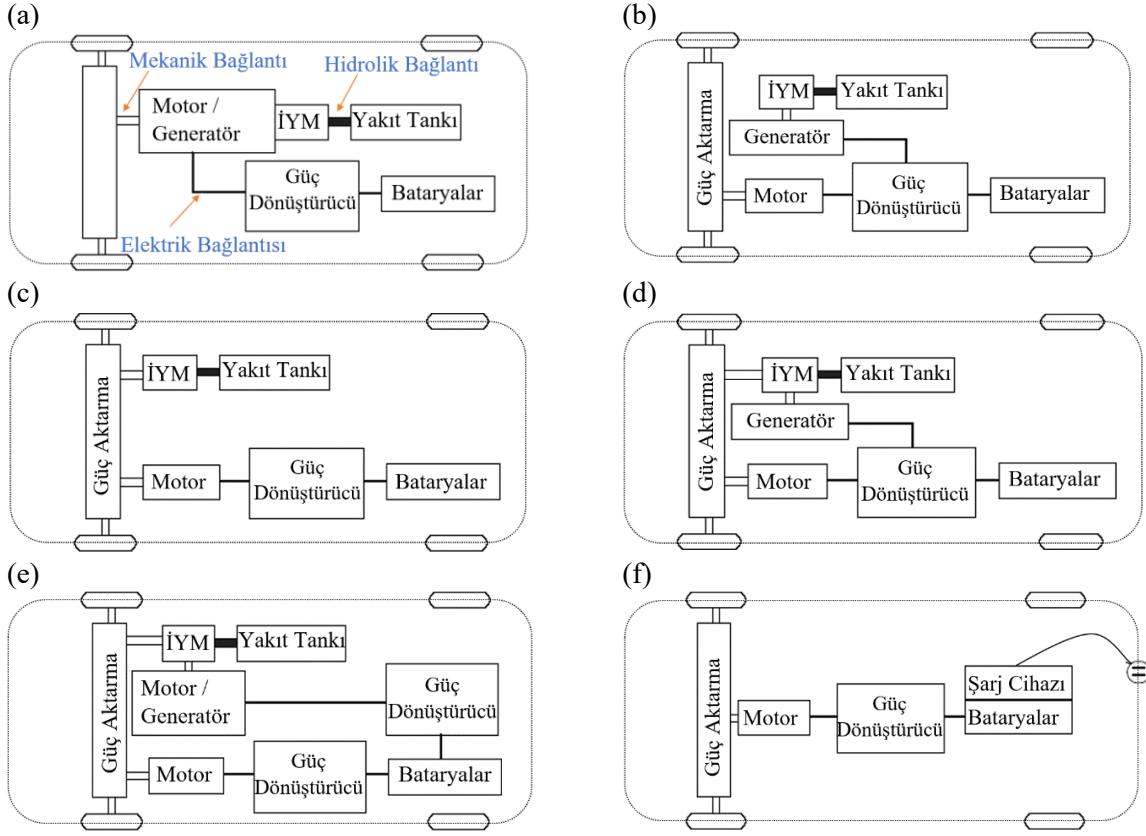
## 2. Elektrikli araç (EA) sınıfları

EA'lar; (i) geleneksel İçten Yanmalı Motor (İYM) ile beraber Elektrik Motorunun (EM) tahrikiyle hareket eden bir başka ifadeyle kısmen (melez) elektrikli araçlar ve (ii) sadece EM tahrikiyle hareket eden tamamen elektrikli araçlar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilirler (Tie ve Tan, 2013; Kumar ve Jain, 2014; Yong ve diğ., 2015; Singh ve diğ., 2019; Li ve diğ., 2019). Şekil 2'de Tamamen Elektrikli Araç (TEA) ve Melez Elektrikli Araç (MEA) örneklerine ilişkin fotoğraflar (TOGG, 2019; Mitsubishi, 2017) sunulmuştur. MEA'lar, ayrıca, hafif MEA ve tam MEA olarak iki alt sınıfa sahiptirler (Tie ve Tan, 2013). Literatürdeki tam MEA topolojileri ise; seri, paralel, seri-paralel ve kompleks topolojiler olarak ifade edilebilir (Tie ve Tan, 2013; Kumar ve Jain, 2014; Singh ve diğ., 2019). Günümüzde, TEA'larda, batarya, hidrojen enerjisi, süperkapasitör, volan ve hidrolik akü olarak sıralayabileceğimiz çe-

şitli enerji depolama elemanları uygulanabilmektedir. Enerji üretiminde, yakıt pilleri, fotovoltaik hücreler, termoelektrik generatörler ve motorların rejeneratif frenlemesi yöntemleri karşımıza çıkmaktadır (Tie ve Tan, 2013; Li ve diğ., 2019). Ancak, ticarileşmiş TEA'larda genel olarak enerji depolama elemanı batarya olup enerji üretimi ise EM'nin rejeneratif frenleme durumuyla gerçekleştirilmektedir (Volkswagen Academy, 2013). Dolayısıyla, bu çalışmada TEA'ların sadece bataryalı tipleri (BEA) dikkate alınmıştır. BEA ve MEA topolojilerini izah eden şematikler (Tie ve Tan, 2013), Şekil 3'de verilmiştir.

BEA'lar, hareket tahriki için bataryanın beslediği EM bulunan araçlardır. Bu araçların benzin ve dizel yakıt tüketimleri olmaz ve İYM'li araçlarla (İYMA'larla) karşılaştırıldığında önemli derecede sessiz çalışırlar (Kumar ve Jain, 2014). BEA'ların yapılarında yer alan ana elemanlar; mekanik güç aktarma sistemi, EM, EM sürücü devresi, batarya grubu, araç üzeri şarj devresi ve batarya grubunu izleyen-kontrol eden enerji yönetim sistemidir (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015; Hannan ve diğ., 2018). BEA'ların, İYMA'lara göre bir diğer önemli avantajı da EM'lerin İYM'lerden daha yüksek enerji verimliliğine sahip olmalarıdır (Li ve diğ., 2019).

Elektrik makinaları literatüründe rejeneratif frenleme olarak isimlendirilen, frenleme sırasında EM'nin generatör olarak çalıştırılması yeteneği, BEA'ların frenleme sürecinde kaybettikleri kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülerek batarya grubunun şarj edilmesine imkan verir (Kumar ve Jain, 2014; Yong ve diğ., 2015).



**Şekil 3.** (a) hafif MEA, (b) seri MEA, (c) paralel MEA, (d) seri-paralel MEA, (e) kompleks MEA ve (f) BEA topolojilerinin şematikleri.

[Şekil 3, (Tie ve Tan, 2013)'den alınmıştır.]

Bu yetenek özellikle, BEA'ların enerji verimliliği yönünden İYMA'lara göre daha üstün olmasına yol açmaktadır. BEA'ların İYMA'larla mukayese edildiğinde ön plana çıkan en önemli dezavantajı ise; uzun menziller ve büyük araçlar için gerekli olan kapasiteye sahip batarya gruplarının maliyetinin yüksek ve şarj süresinin uzun olmasıdır (Kumar ve Jain, 2014; Yong ve diğ., 2015). TEA'ların yukarıda özetlenen dezavantajları sebebiyle, MEA'lar İYMA ile TEA arasında geçiş sürecinde köprü görevi görmüş ve MEA'lara yönelik çalışmalar ön plana çıkmıştır (Singh ve diğ., 2019). MEA'larda bulunan başlıca elemanlar; mekanik güç aktarma sistemi, İYM, EM, EM sürücü devresi, batarya grubu ve batarya grubunu izleyen-kontrol eden enerji yönetim sistemidir (Singh ve diğ., 2019; Hannan ve diğ., 2018). Daha önce belirtildiği gibi MEA'ların ilk tipi olan hafif MEA topolojisinde, EM ve İYM aynı şaft üzerine bağlı olup EM aracın çalıştırılması, boşta çalışma ve yüksek eğimli yol sürüşlerinde İYM'ye destek amacıyla kullanılmakta-

dır. Dolayısıyla, hafif MEA'larda, emsal boyuttaki EA topolojilerine göre daha küçük güç değerinde EM'ler kullanılır. Buna bağlı olarak, hafif MEA topolojisinde batarya ve sürücü devresi de küçük boyutludur. Bu topolojide, diğer EA'larda olduğu gibi EM, rejeneratif frenlemeyle bataryaları şarj edebilme yeteneğine sahiptir (Benajes ve diğ., 2019).

Genişletilmiş menzilli MEA olarak da isimlendirilen seri MEA'lar; diğer tam MEA topolojilerine göre en basit yapıya sahiptir. Seri topolojide aracın hareketi için gerekli olan tahrik gücü EM tarafından üretilir. İYM, bataryaların şarj edilmesiyle görevli generatörün tahrik edilmesinde kullanılır (Yong ve diğ., 2015). Bu görev paylaşımı sonucu, İYM en yüksek verim değerine karşılık gelen optimal hızda çalışacak boyut ve özelliklerde tasarlanabilir (Shen ve diğ., 2011). Generatör gücüne ve yakıt kapasitesine bağlı olarak batarya boyutu azaltılabilir (Tie ve Tan, 2013). Tahrikte sadece EM kullanılması, çok dişli şanzıman ihtiyacını ortadan kaldırır (Singh ve diğ., 2019). Bununla birlikte, bu topolojinin dezavantajlarından biri, EM'ye

ilaveten bir generatöre ihtiyaç duyulmasıdır. Seri MEA'nın bir diğer dezavantajı ise; İYM tarafından üretilen mekanik enerjinin generatöre aktarımı ve generatörde üretilen elektrikle de EM'nin beslenmesi döngüsünün, kayıpları arttırması ve verimi düşürmesidir (Singh ve diğ., 2019). Rejeneratif frenleme haricinde de batarya şarjına imkan veren yapısı sebebiyle, seri MEA'lar daha çok sık dur-kalk'ların yaşandığı şehir içi trafikte tercih edilmektedir (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015).

Paralel MEA'larda hem İYM hem de EM mekanik güç aktarma organlarına bağlıdır. Böylece hareket için gerekli olan tahrik gücü, İYM ve EM'nin birlikte veya birinin çalışmasıyla sağlanabilir (Singh ve diğ., 2019; Shen ve diğ., 2011). İYM ve EM'nin paralel çalışabilme durumuna bağlı olarak, bu topolojinin emsal güç ve fiziksel özelliklere sahip araç uygulamalarında, seri MEA'ya kıyasla verimi daha yüksektir (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015). Yine aynı şartlar için paralel MEA, daha küçük boyutta EM ve bataryaya ihtiyaç duyar (Yong ve diğ., 2015). Paralel MEA'lar, İYM ve EM'nin farklı sürüş şartlarında birbirini destekleyebilme yeteneğinden dolayı, şehir içi yanı sıra otoyol trafiği için de istenen bir MEA tipidir. Ancak, bu topoloji, seri topolojiye göre daha karmaşık yapıya sahip ve maliyetlidir (Tie ve Tan, 2013).

Seri-paralel MEA'larda, seri ve paralel topolojilerin bir araya getirilmiş halidir. Dolayısıyla, bu topoloji, seri ve paralel topolojilerin avantajlarını alırken, dezavantajlarını ortadan kaldırır. Seri-paralel MEA'lar, temel yapıları paralel topoloji üzerine kurulu olduğu için seri topolojideki kıyasla daha küçük boyutta EM'ye sahiptirler. Ayrıca, seri topolojinin rejeneratif frenleme haricinde batarya şarjına imkan veren yapısı sebebiyle, paralel topolojinin şehir içi dur-kalk çalışma şartlarındaki dezavantajı ortadan kaldırılmıştır. Böylece, son yıllarda birçok MEA üreticisi tarafından seri-paralel topoloji, tasarımlarda tercih edilmiştir (Sabri ve diğ., 2016).

Karmaşık MEA'lar, seri-paralel MEA'lar ile çok benzer yapıya sahiptirler (Yong ve diğ., 2015; Chau ve Wong, 2002). Aradaki fark, seri-paralel topolojideki generatorün, karmaşık topolojide ekstra bir sürücü devresi üzerinden bataryalara bağlanmış olmasıdır. Bu değişiklik, seri-paralel MEA'lardaki generatörün, karmaşık MEA'larda sürüş sırasında ikinci bir EM

haline gelmesine ve rejeneratif frenlemede generatör olarak çalışarak bataryayı şarj etmesine imkan verir. Böylece karmaşık topolojide tahrik hareketi için iki EM ve bir İYM kullanılmış olur.

Burada şu belirtilmelidir ki; MEA'ların sürüş menzilin ve yakıt ekonomisinin daha iyileştirilmesi amacıyla, araçta bulunan batarya grubunun dışarıdan bir elektrik kaynağından şarj edilebilir tipleri mevcuttur. Bunlar, literatürde ve elektrikli araç piyasasında fişli MEA olarak isimlendirilmiştir. TEA'lara göre daha iyi dinamik cevap ve daha uzun menzil avantajlarına sahip MEA'ların, TEA'larla karşılaştırıldığında dezavantajları ise yapım maliyetlerinin daha yüksek olması ve yapılarında bulunan enerji kaynaklarının (yakıt deposu ve batarya) optimal yönetimi için karmaşık algoritmalar gerektirmeleridir (Yong ve diğ., 2015; Chau ve Wong, 2002; Tie ve Tan, 2013).

### 3. Mekanik güç aktarma yapıları

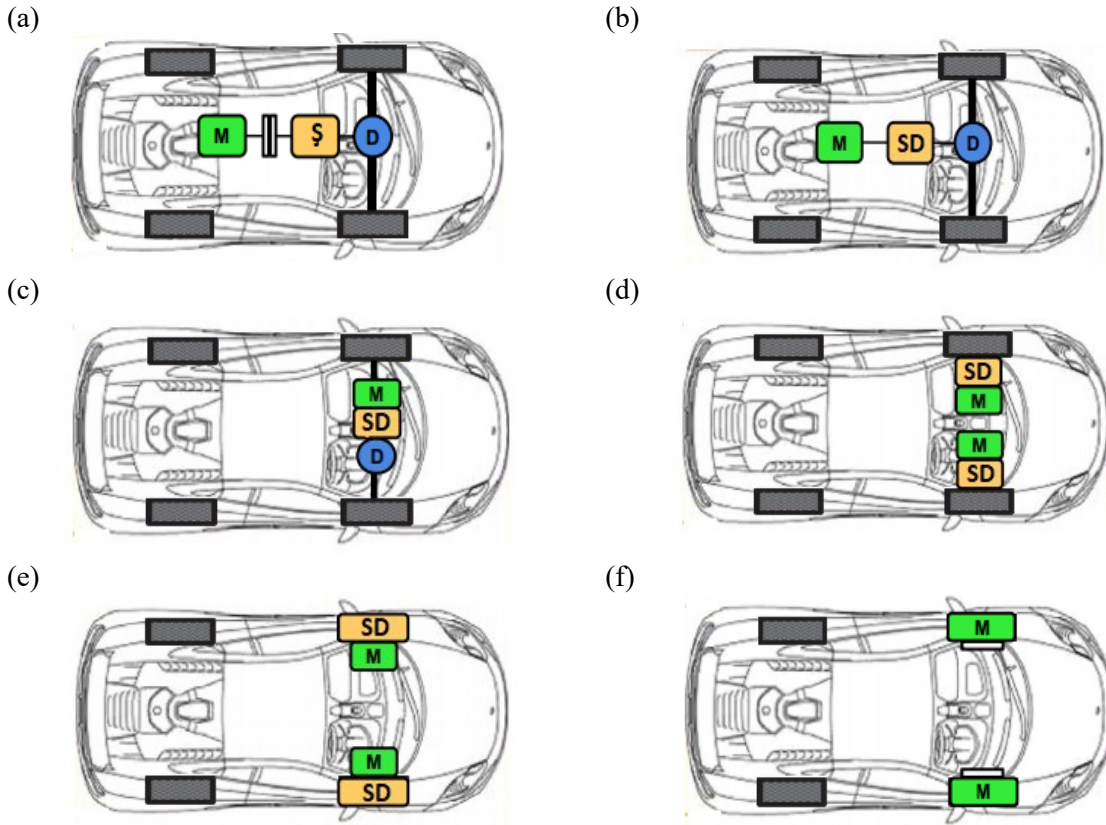
EA'larda uygulanan, literatürde yaygın olarak bilinen mekanik güç aktarma tipleri tek motorlu ve iki motorlu araç aktarma tipleri olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir. Tek motorlu araç aktarma tipleri; geleneksel, şanzımsız (arka motor-ön tekerlek) ve şanzımsız (ön motor-ön tekerlek) olmak üzere üç sınıfa ayrılır. İki motorlu araç aktarma tiplerinin de şanzımsız, tekerlek içi sabit dişlili ve tekerlek içi sabit dişlisiz olmak üzere üç alt sınıfı vardır (Tie ve Tan, 2013; Park ve diğ., 2015). Bu mekanik güç aktarma tiplerine ilişkin şematikler (Park ve diğ., 2015), Şekil 4 (a)-(e)'de sunulmuştur. Şekil 4 (a)'da şematığı verilen, geleneksel aktarma tipi, İYMA'larda kullanılan geleneksel mekanik güç aktarma sistemidir. Bu aktarma tipinde şanzıman, debriyaj ve diferansiyel mevcuttur. Dolayısıyla, geleneksel aktarma yapısında, İYM yerine EM yerleştirilerek pratik bir şekilde EA tasarımında kullanılabilir. Bu aktarma tipi, ticari EA'larda en çok tercih edilen aktarma yapısıdır. Geleneksel tip-ten, şanzıman ve debriyaj kaldırıldığı takdirde, şematikleri sırasıyla Şekil 4 (b) ve (c)'de verilen, motoru arkada yerleştirilmiş-ön tekerlek tahrikli şanzımsız ve motoru önde yerleştirilmiş-ön tekerlek tahrikli şanzımsız tipler gerçekleştirilebilir.

Bu iki tipte de, diferansiyel varlığını korur. Bunlar arasındaki fark, ilk tipte arkadaki motordan diferansiyele tahrik gücü sabit dişli ve shaft üzerinden aktarılırken, ikinci tipte tahrik

gücünün aktarımında ara eleman olarak şaft ortadan kalkmıştır (Park ve diğ., 2015).

İYMA'larda olduğu gibi, tek motorlu EA aktarım tiplerinde de diferansiyel elemanı, tekerleklerin farklı hızlarda dönmesine ve böylece aracın savrulmadan viraj dönüşüne imkan tanır. İki motorlu EA aktarma tiplerinde ise tekerleklerin hız ayarı EM sürücü devreleriyle gerçekleştirilir. Dolayısıyla, şematikleri sırasıyla Şekil 4 (d), (e) ve (f)'de verilen şanzımsız, tekerlek içi motorlu-sabit dişlili ve tekerlek içi motorlu-sabit dişlisiz iki motorlu araç aktarma tiplerinde diferansiyel bulunmaz. Bunlardan, şanzımsız tipte motor tekerlek dışındadır ve

sabit dişli üzerinden tahrik gücü tekerleklere aktarılır. Tekerlek içi motorlu-sabit dişlili tipte, motor tekerlek içindedir ancak tahrik gücü tekerleklere yine sabit dişli üzerinden aktarılır. Tekerlek içi motorlu-sabit dişlisiz tipte, tekerleklere tahrik gücü tekerlek içine yerleştirilmiş motorlardan doğrudan verilir (Park ve diğ., 2015). Şekil 4 (a)'dan (f)'ye doğru, aktarım sistemlerinin, tahrik gücünün iletimi sırasında meydana gelen kayıpları azaltacak biçimde daha kompakt hale geldiği görülmektedir. Diğer taraftan, aynı değişim, EM'nin daha yüksek tork değerlerine sahip olmasını gerekli hale getirmektedir (Tie ve Tan, 2013).



M: Elektrik Motoru, D: Diferansiyel, Ş: Şanzıman, SD: Sabit Dişli

**Şekil 4.** Aktarma tiplerine ait şematikler: tek motorlu EA'lar için (a) geleneksel tip, (b) şanzımsız (arka motor-ön tekerlek), (c) şanzımsız (ön motor-ön tekerlek) ve iki motorlu EA'lar için (d) şanzımsız, (e) tekerlek içi motorlu-sabit dişlili ve (f) tekerlek içi motorlu-sabit dişlisiz.

[Şekil 4, (Park ve diğ., 2015)'den alınmıştır.]

#### 4. Elektrik motor teknolojisi

Bu bölümde, EA'larda kullanılan EM'lerin tipleri ve bunların kontrolünde kullanılan sürücü devreleri hakkında bilgi verilecektir.

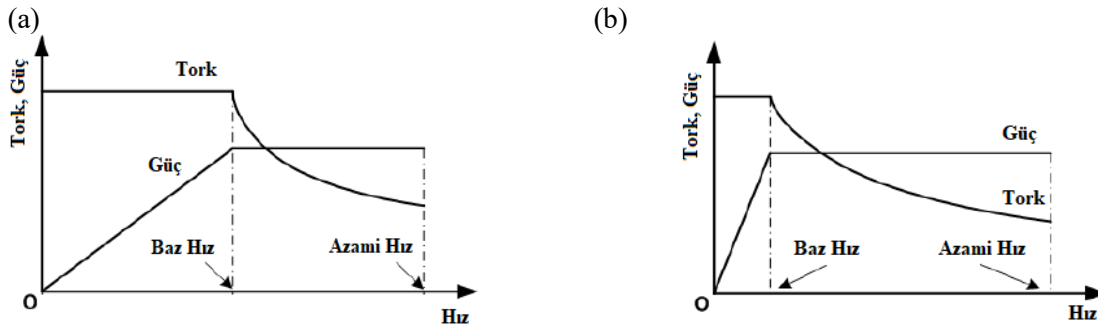
##### 4.1. Motor tipleri

EA'larda kullanılan EM'lerin çeşitli yol koşullarında, sıklıkla durması ve kalkması bir başka deyişle yüksek ivmelenme ve yavaşlama kabiliyetine sahip olması gerekir. Ancak, endüstriyel uygulamalarda EM'ler genellikle belirli koşullar altında anma hızlarında çalışmak üzere işletilirler. Bu sebeple, EA'lardaki EM'lerden beklenti endüstriyel uygulamalardaki beklentiye göre farklıdır. EA uygulamalarında EM'ler; kalkış için yüksek tork değeri, tepe tırmanışlarında düşük hızda çalışabilme, ani hızlanma durumları için yüksek güç yoğunluğu, yüksek hızlarda yüksek güç üretebilme, geniş hız aralıkları için yüksek verim, sabit güç bölgesinde geniş bir hız aralığında çalışabilme (Şekil 5 (Xue ve diğ., 2008)'e bakınız), rejeneratif frenleme ve ani tork cevabı gösterebilme yeteneklerine sahip olmalıdır. Bunlara ilaveten, yüksek kontrol edilebilirlik, hafif ve sağlam olma, arızaya dayanıklılık, düşük maliyet, düşük gürültü seviyesi ve minimum tork dalgalanması, EA uygulamalarında EM'lerin tasarımı için dikkate alınan diğer performans parametreleridir (Kumar ve Jain, 2014; Xue ve diğ., 2008; Riba ve diğ., 2016).

Bütün bu kriterler doğrultusunda, EM seçimi EA tasarımında anahtar faktörlerden biridir. Literatürde yapılan çalışmalardan, ilk EA uygulamalarından itibaren tercih edilen EM'lerin; Fır-

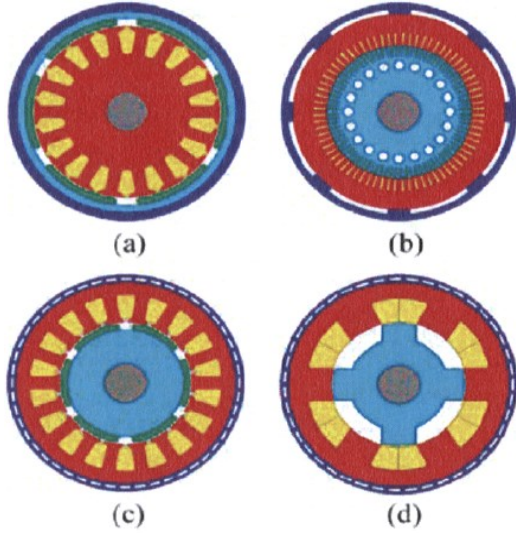
çalı Doğru Akım (FDA), Asenkron (AS), Kalıcı Mıknatıslı (KM) ve Anahtarlamalı Relüktans (AR) motorları olduğu ifade edilebilir (Kumar ve Jain 2014; Xue ve diğ., 2008; Hashemnia ve Asaei, 2008; Rind ve diğ., 2017; Patil ve Dhamal, 2019). Bu motorların yapılarını gösteren şematikler (Hashemnia ve Asaei, 2008), Şekil 6'da verilmiştir.

**FDA motor:** Yüksek yol alma torkları ve hız kontrollerinin basitliği sebebiyle FDA motorlar geleneksel olarak EA uygulamalarında kullanılan EM tipidir. FDA motorların tork-hız karakteristiği EA'ların tahriki için gerekli olan tork-hız karakteristiğine çok yakındır (Kumar ve Jain 2014; Xue ve diğ., 2008; Patil ve Dhamal, 2019). Ayrıca, özellikle yabancı uyarımlı FDA'lar, birbirinden bağımsız tork ve manyetik akı karakteristiklerinden dolayı yüksek hızlarda seyirin bir gerekliliği olan alan zayıflatma çalışma durumu için doğal olarak uygundur (Kumar ve Jain, 2014). Ancak, büyük ve ağır yapıları, düşük güç yoğunlukları, düşük verimleri ile komütatör-fırça elemanlarına sahip olmaları, bu motor tipinin hafif, yüksek hızlı, yüksek verimli, az bakım gerektiren ve sağlam olması istenen EA'larda kullanımı için dezavantajlarıdır (Kumar ve Jain, 2014; Xue ve diğ., 2008; Rind ve diğ., 2017; Patil ve Dhamal, 2019). Bunlara ilaveten, güç elektroniğinde meydana gelen ilerlemeler, EA'larda bu motor tipi yerine komütatörsüz/fırçasız, dolayısıyla daha az bakım gerektiren, daha sağlam ve komutasyona bağlı kayıpları olmayan (daha yüksek verimli) AS, KM ve AR motorların kullanımını hızlandırmıştır (Kumar ve Jain, 2014).



Şekil 5. (a) Endüstriyel uygulamalardaki EM'lerin tipik tork/güç-hız karakteristiği ve (b) EA uygulamalarında EM'lerden beklenen tork/güç-hız karakteristiği.

[Şekil 5, (Xue ve diğ., 2008)'den alınmıştır.]



**Şekil 6.** (a) FDA, (b) AS, (c) KM ve (d) AR motor yapıları.

[Şekil 6, (Hashemnia ve Asaei, 2008)'den alınmıştır.]

**AS motor:** AS motorların, basit yapıları, yüksek güvenilirlikleri, sağlamlıkları, geniş hız aralıkları, düşük bakım ihtiyaçları, düşük tork dalgalanmaları, düşük maliyetleri ve zor koşullarda çalışabilme yetenekleri, EA'larda tercih edilmelerine sebep olan önemli avantajlarıdır (Kumar ve Jain, 2014; Xue ve diğ., 2008; Riba ve diğ., 2016; Hashemnia ve Asaei, 2008). Alan yönlendirmeli kontrol ile AS motorlarda, tork ve manyetik akı karakteristikleri birbirinden bağımsız şekilde kontrol edilerek, FDA motorların EA uygulamalarında gösterdiği yüksek performans yakalanabilir. Ayrıca, bu motorların, alan zayıflatma yöntemiyle sabit güç bölgesindeki hızları anma hızlarının 4-5 katına kadar yükseltilebilir, böylece EA uygulamaları için en önemli gerekliliklerden biri sağlanmış olur. Bununla birlikte, şu ifade edilmelidir ki; AS motorların yüksek hızlarda çalışma koşullarında sabit güç aralığı, devrilme momenti (tork) değeriyle sınırlıdır (Kumar ve Jain, 2014; Xue ve diğ., 2008; Riba ve diğ., 2016). Uygun evirici (sürücü) devresi seçimiyle besleme gerilimi ve frekansı ayarlanarak azami yol alma torku düşük akım seviyelerinde elde edilebilir (Kumar ve Jain, 2014; Riba ve diğ., 2016). Diğer taraftan, rotor kayıplarından dolayı KM ve AR motorlara göre verimi düşüktür, aynı güç değeri için KM motorlara göre daha ağırdır, ayrıca FDA motorlara göre sürücü devreleri daha yüksek maliyetlidir. AS motorların düşük güç faktörüne sahip olması bir diğer dezavantajdır (Kumar ve Jain, 2014).

**KM motor:** Son yıllarda, EA üreticileri tarafından tasarımlarda KM motorlar öncelikle dikkate alınmaya başlanmıştır. KM motorlar besleme gerilimi ve akımı dalga şekillerine göre Kalıcı Mıknatıslı Doğru Akım (KMDA) ve Kalıcı Mıknatıslı Senkron (KMS) motorlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu motorlar için sırasıyla; fırçasız doğru akım ve fırçasız alternatif akım motoru isimleri de literatürde kullanılmaktadır. İki motorun yapıları aynı olmakla birlikte KMDA dikdörtgen veya trapezoidal dalga formunda gerilimle beslenirken, KMSM sinüzoidal dalga formunda gerilimle beslenir (Kumar ve Jain, 2014; Riba ve diğ., 2016). KM motorlar genellikle radyal akılı tipte tasarlanmaktadır, ancak tekerlek içi uygulamalarda eksenel akılı tipte tasarımların kullanımı tercih edilmektedir (Riba ve diğ., 2016). KM motorlar diğer motor tipleriyle kıyaslandığında, kalıcı mıknatıslarla uyartımdan kaynaklanan; daha düşük ağırlık ve hacimde daha yüksek güç üretebilme, yüksek verim, kompakt yapı, güvenilir olma, düşük bakım ihtiyacı ve düşük soğutma gereksinimi avantajlarına sahiplerdir (Kumar ve Jain, 2014; Riba ve diğ., 2016). Bu avantajlarına karşın, kalıcı mıknatısla uyartımın getirdiği bazı dezavantajları vardır. Bunlar, düşük alan zayıflatma yeteneklerine bağlı olarak kısa sabit güç aralıklarının olması ve yüksek maliyetleridir. Kalıcı mıknatısların mekanik dayanımları, motorda yüksek tork değerlerinin üretilmesini sınırlayan bir diğer faktördür (Kumar ve Jain, 2014; Riba ve diğ., 2016; Rind ve diğ., 2017). Ayrıca, yüksek sıcaklık ve endüvi reaksiyonu sonucu mıknatısların demanyetize olması mümkündür (Hashemnia ve Asaei, 2008; Rind ve diğ., 2017). Diğer taraftan, yüksek hızlarda geri elektromanyetik kuvvetin kontrolünün gerekliliği, sürücü devrelerinin anma güçlerinin dolayısıyla boyut ve maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır (Kumar ve Jain, 2014).

Hız aralıklarının anma hızlarının 3-4 katına yükseltilmesi ve bu yüksek hızlarda yüksek verimle çalışmaları mümkündür. Ancak, bu yetenekler sürücü devrelerinde uygulanacak yöntemeye bağlıdır (Kumar ve Jain, 2014).

**AR motor:** AR motorlar, rotorlarında uyartım sargısı ve mıknatıs bulundurmamaları sebebiyle, yüksek hızlarda ve yüksek sıcaklıklarda çalışmak için uygundur (Kumar ve Jain, 2014; Rind ve diğ., 2017). EA uygulamalarıyla örtüşen geniş sabit güç aralığı ve tork-hız karakteristiği, arızaları yüksek derecede tolere etme kapasitesi, düşük rotor eylemsizliği, çok çabuk

ivmelenme, yüksek güvenilirlik ve sağlamlık özellikleri vardır (Kumar ve Jain, 2014; Xue ve diğ., 2008; Riba ve diğ., 2016). Uygun kontrol yöntemleri uygulanarak, sabit güç bölgesi anma hızının 7 katına kadar genişletilebilir (Kumar ve Jain, 2014; Riba ve diğ., 2016; Rind ve diğ., 2017). Ancak, yüksek tork dalgalanmaları, akustik gürültü ve özel sürücü topolojisi gerektirmesi, AR motorların olumsuz yönleridir (Kumar ve Jain, 2014; Hashemnia ve Asaei, 2008). Bununla birlikte, AR motorların, EA'larda kullanımında, tork dalgalanması ve akustik gürültü sorunlarının çözümü için makine tasarım yaklaşımları ve sürücü kontrol

yöntemleri üzerine çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur (Gan ve diğ., 2018). AR motorların maliyeti, KM motor maliyetine göre düşük ve AS motor maliyetine göre yüksektir (Kumar ve Jain, 2014).

Buraya kadar detaylı bir şekilde incelenen EM'lerin, performanslarını karşılaştırmak için çeşitli parametreler bakımından en kötünden en iyiye doğru 1 ile 5 arasındaki puanlamaları (Kumar ve Jain, 2014), Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** FDA, AS, KM ve AR motorların karşılaştırması.

[Tablo 1, (Kumar ve Jain, 2014)'den alınmıştır.]

Karakteristik	Kömütatörlü Motorlar		Kömütatörsüz Motorlar	
	Fırçalı Doğru Akım (FDA) Motoru	Asenkron (AS) Motor	Kalıcı Mıknatıslı (KM) Motor	Anahtarlamalı Relüktans (AR) Motor
Kontrol edilebilirlik	5	5	4	3
Boyut ve ağırlık	3	4	4.5	4
Sağlamlık	3.5	5	4	4.5
Güvenilirlik	3	5	4	4.5
Güç yoğunluğu	3	4	5	3.5
Verimlilik	3	4	5	4.5
Hız aralığı	2.5	4	5	5
Dayanım ömrü	3.5	5	4	4.5
Tork yoğunluğu	3	3.5	5	4
Teknik uygunluk	5	4.5	4	3.5
Maliyet	3.5	5	3	4
Aşırı yüklenme kabiliyeti	3	4	4.5	4
Tork dalgalanması/gürültü	3.5	4.5	4	3
Üretilebilirlik	3	5	3	4
Potansiyel gelişme	2.5	3	4.5	5



#### 4.2. Motor sürücü devreleri

EA'larda kullanılan sürücü sistemlerinin temel gereksinimleri;

- Motor ve generatör işletmesi için çift yönlü güç akışı,
- Boyut ve ağırlıkların azaltılması için yüksek verimlilik ve yüksek güç yoğunluğu,
- Yüksek kapasite (sürekli, aşırı gerilim, aşırı yük durumlarında),
- Titreşim, şok ve aşırı ısı artışı durumlarına dayanıklılık,
- Modüler tasarım ve güvenilirlik,
- Düşük maliyet ve düşük Elektromanyetik Girişim (EMG),

şeklinde sıralanabilir (Dabala ve diğ.,2019).

EA'lardaki motor sürücü eviricisi ve ona bağlı sistemler, Güç Yönetimi Entegre Devreleri (GYED), Mikrodenetleyici Ünitesi (MDÜ), yüksek güçlü IGBT veya SiC (Silikon-Carbide) güç modülleri ve ısı sensörleri, yüksek gerilimli batarya, doğru akım (DA) barası kondansatörü, sinyal algılama blokları ile koruma ve izleme devrelerinden meydana gelir. Evirici devresinde yarı iletken anahtarlar, en kritik bileşenlerdir. Bu anahtarlar, bir MDÜ ve eviricinin bir bacağına oluşturan üst taraf ve alt taraf anahtarlarını süren kapı sürücü devreleri ile kontrol edilir. Anahtarların sürülmesinde kullanılan Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) işaretlerinin üretilmesinde, genellikle Uzay Vektör DGM (UVDGM) tekniği kullanılır. Motor çalışmada, gerilim, akım ve konum işaretleri algılanır ve evirici modülasyon işaretlerinin güncellenmesi için mikrodenetleyiciye geri beslenir. Mikrodenetleyicide, iki faz akımı ve konum işaretleri işlenerek, Alan Yönlendirmeli Kontrol (AYK) tekniği ile makinanın kontrolü gerçekleştirilir (Dearien, 2019; Drobnik ve Jain, 2013).

Son yıllardaki, EA motor sürücü teknolojisindeki ilerleme, yarı iletken anahtar, bileşenlerin modüler şekilde entegrasyonu ve soğutma konularındaki gelişim neticesinde meydana gelmiştir. Özellikle, geniş band aralıklarına sahip olan SiC ve GaN (Galyum-Nitride) malzeme temelli anahtarların geliştirilmesi sürücülerin performans ve kapasite artışına doğrudan etki eden bir faktör olmuştur. Bu anahtarlar;

- Yüksek gerilim bloklama kapasitesi,
- Daha hızlı anahtarlama,
- Yüksek ısı aralığında çalışma,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Boyutların azaltılması,
- Manyetik yayılım üstünlüğü,

özelliklerine sahiptirler (Shajarati ve diğ., 2018; Mitsubishi Electric).

Son araştırmalarda, 100 kW gücünde 2 seviyeli evirici uygulaması için 80 kHz anahtarlama frekansında sürülen SiC MOSFET modüllerinin 10 kHz anahtarlama frekansında sürülen Si IGBT modüllere kıyasla yalnızca 1/4 oranında anahtarlama kaybına sahip olduğu görülmüştür (Zhang ve diğ., 2018; Kim ve diğ., 2016).

EA'larda, gerilim kaynaklı evirici (GKE), akım kaynaklı evirici (AKE) ve Z Kaynaklı evirici (ZKE) devreleri motor sürücü olarak yaygın bir şekilde kullanılan evirici tipleridir (Patil ve Kalkhambkar, 2017; Krishna ve Suresh, 2016; Verma ve Gupta, 2016).

**Gerilim kaynaklı eviriciler (GKE):** Şekil 7'de GKE 2 seviyeli (2S) ve 3 seviyeli (3S) topolojileri görülmektedir (Ye ve diğ., 2012; Choudhury, ve diğ., 2014). GKE 3S topolojisi DA bara geriliminin ayrık iki kondansatöre bölüştürülerek kondansatörler üzerindeki gerilimin azaltılması bakımından GKE 2S topolojisine kıyasla avantajlıdır. Aynı DA bara geriliminde, yarı iletken anahtarlarda daha küçük gerilim düşümü olması ve yüksek çalışma frekansları için anahtarlama kayıplarının azalması 3S eviricilerin 2S eviricilere göre diğer avantajlardır (Choudhury, ve diğ., 2014).

GKE'ler, DA barasına yerleştirilen kondansatör bankasından veya senkron arttıran tip DA-DA çeviriciden beslenirler. Bu eviriciler, EA'larda ağırlıklı olarak tercih edilmektedir. Bunun sebebi yapılarının basit olması ve maliyetlerinin düşük olmasıdır (Patil ve Kalkhambkar, 2017). Diğer taraftan, evirici çıkış faz-faz arası gerilimi, DA bara geriliminden büyük olamaz. Bundan dolayı, GKE'ler düşürücü tip evirici sınıfına girerler (Krishna ve Suresh, 2016; Verma ve Gupta, 2016). Bu kısıt göz önüne alınarak, DA barasının gerilimini yükseltmek için baranın önüne yükseltici tip DA-DA çeviricisi entegre edilen uygulamalar literatürde mevcuttur (Franke ve diğ., 2008). DA barasında büyük kapasiteli kondansatör bankalarının kullanımı,

darbe akımlarının daha iyi filtrelenmesi ve gerilim kararlılığının sağlanması bakımından önemlidir (Franke ve diğ., 2008).

Eviricinin her bacağına üst ve alt kısmındaki yarı iletken anahtarlar, kısa devreden kaçınmak için aynı anda anahtarlanamaz. Her iki anahtarlama elemanının devreye girme zamanları arasında ölü zaman olarak nitelenen zaman farkı bulunur. Ancak, ölü zaman motor çıkış akımı ve torkunda dalgalanma oluşturur. Bu durum etkisini özellikle alçak devirlerde gösterir (Patil ve Kalkhambkar, 2017; Ye ve diğ., 2012).

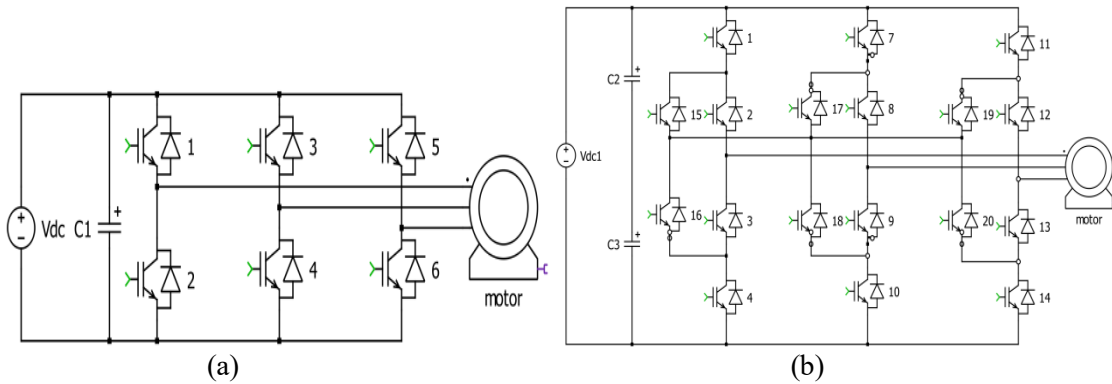
Şekil 8’de görülen AKE’lerde çıkış gerilimi DA geriliminden daha büyük olduğu için yükseltici tip evirici sınıfında yer alırlar (Un-Noor ve diğ., 2017; Wu ve Su, 2008). Bu tip eviricilerde, DA bara kondansatörü kullanılmaz, bunun yerine çok daha küçük kapasiteye sahip AA filtre kondansatörleri kullanılır. DA bara kondansatörlerine sahip olmayan AKE’lerde, enerji depolama bileşeni olarak DA barası tarafında bir bobin yer alır. EA uygulamalarında, AKE’ler, (i) yarı iletken anahtarlarda anti paralel diyotlara ihtiyaç duymazlar, (ii) kısa devre koruma kapasitesi sağlarlar ve (iii) çıkışındaki kondansatörler sayesinde sinüzoidale çok yakın gerilim verirler (Wu ve Su, 2008). Bu tip eviricilerde akım akışı tek yönlüdür ve diyotlar IGBT’lere seri olarak bağlanır. Yukarıda sayılan avantajlarına rağmen, AKE’ler GKE’lerden daha düşük verime sahiptirler. Ayrıca rejeneratif frenlemede anındaki enerjisi geri kazanmak

için ilave DA-DA çeviriciye ihtiyaç duyarlar (Ye ve diğ., 2012).

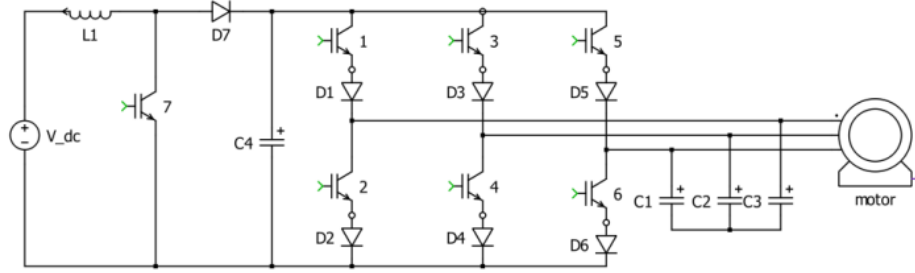
Şekil 9’da görülen ZKE’ler, GKE ve AKE eviricilerin avantajlarını bir araya getirmeyi amaçlayan evirici topolojisidir (Zhu ve Yu, 2010). Bu evirici yükseltici ve alçaltıcı çalışma modlarına sahiptir. İlk çalışma modunda, eviricinin her bacağındaki üst anahtar ve alt anahtarların kontrollü bir şekilde aynı anda kapanması veya kısa devre durumunun meydana gelmesi sağlanarak, çıkış geriliminin yükseltilmesi amaçlanır. İkinci çalışma modunda ise klasik evirici çalışması işlemiyle çıkış gerilimi düşürülür. ZKE’lerin verimleri, AKE ve GKE’lere göre daha düşüktür. ZKE’deki aktif anahtar sayısı yükseltici tip çevirici ve GKE eviriciden daha düşük olmasına karşın pasif eleman (bobin, kondansatör) sayısı daha fazla olduğu için maliyeti daha yüksektir.

Motor gücünün yüksek olduğu uygulamalarda, eviriciler paralel veya kaskad bağlantılı olarak kullanılabilirler. Şekil 10’da görülen bu evirici yapıları literatürde çift evirici adıyla anılmaktadırlar (Wiechmann ve diğ., 2008).

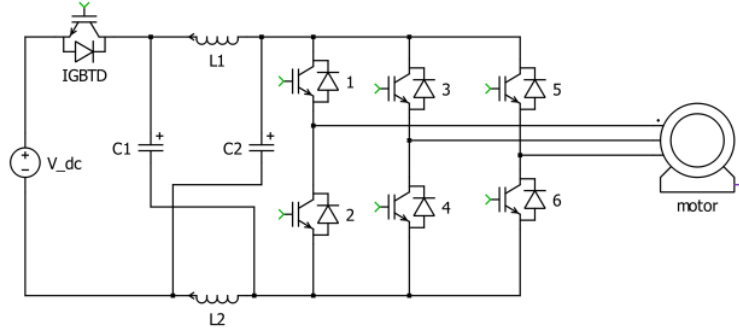
Bir diğer topoloji yapısı ise motor çalışma ve yerleşik batarya şarjını olanaklı hale getiren entegre evirici/doğrultucu topolojisidir (Mande ve diğ., 2020; Chen ve Ge, 2018). Bu yapıya ilişkin detaylı bilgi şarj devre topolojileri kısmında sunulacaktır.



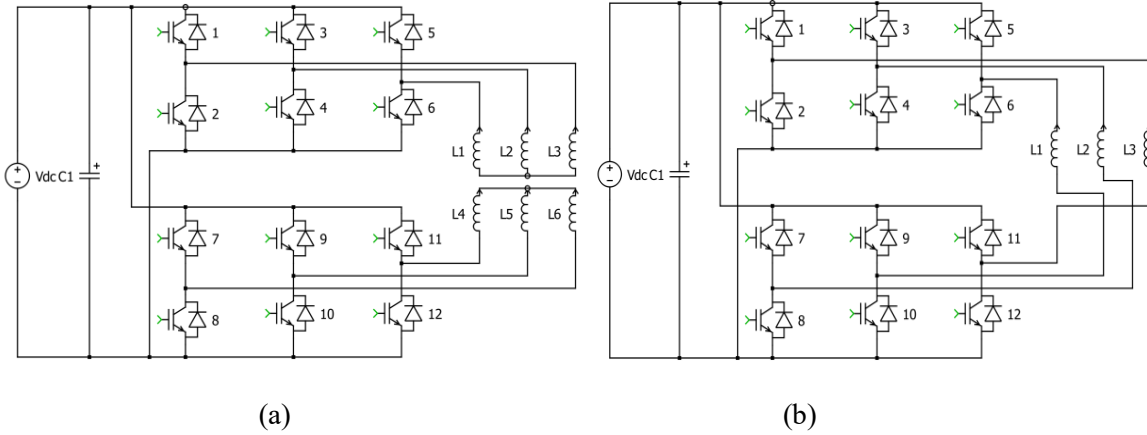
Şekil 7. Gerilim kaynaklı evirici devreleri: (a) 2 seviyeli evirici ve (b) 3 Seviyeli diyot nötr kenetleme evirici.



Şekil 8. Akım kaynaklı evirici devresi.



Şekil 9. Z kaynaklı (empedans kaynaklı) evirici devresi.



Şekil 10. Çift evirici devreleri: (a) paralel bağlantı ve (b) kaskad bağlantı.

## 5. Batarya teknolojisi

Bataryalar, EA'ların sürüş menzilinun uzunluğu ve şarj süresiyle doğrudan ilişkili sistem elemanlarıdır. Bundan dolayı, batarya teknolojisindeki ilerleme, EA'ların gelişimi ve yaygınlaşması üzerinde büyük etkiye sahiptir (Andwari ve diğ., 2019; Sun ve diğ., 2019). EA uygulamalarında, bataryalardan genel beklenti; yüksek enerji yoğunluğu, yüksek güç yoğunluğu, düşük maliyet, yüksek güvenilirlik ve uzun ömürdür (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015). Bu beklentilere ulaşmak için yapılan araştırma çalışmaları neticesinde, çeşitli batarya tipleri pazara girmiştir. Günümüzde, EA'larda yaygın olarak kullanılan batarya tipleri; kurşun-asit, nikel temelli ve lityum temelli

bataryalardır (Sun ve diğ., 2019). Aşağıda, sırasıyla bu üç batarya ve diğer yeni nesil batarya tipleri tanımlanmıştır.

### 5.1. Kurşun-Asit bataryalar

En eski ve halen kullanılan şarj edilebilir batarya tipi olan kurşun-asit batarya (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015), 1850'li yılların sonunda Fransız fizikçi Gaston Plante tarafından bulunmuştur (Sun ve diğ., 2019; Cho ve diğ., 2015). Kurşun-asit bataryalarda, negatif yüklü elektrotta kurşun, pozitif yüklü elektrotta kurşun dioksit ( $PbO_2$ ) ve elektrolit olarak sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılmaktadır (Sun ve diğ., 2019; Cho ve diğ., 2015).

Kurşun-asit bataryaların, sulu ve valf ayarlı olmak üzere iki tipi vardır (Sun ve diğ., 2019; Misra ve diğ., 1994). Sulu tip kurşun-asit bataryalar, en ucuz batarya tipidir (Sun ve diğ., 2019). Valf ayarlı kurşun asit bataryalarda, elektrolit, cam elyaf veya jel malzemeye emdirilmiştir. Bu bataryalarda, elektrolitin durağan olması ve havadan yalıtılmış olması sebeplerinden, elektrolit seviyesinin düzenli kontrolü gerekmez. Dolayısıyla, literatürde, valf ayarlı kurşun-asit batarya, bakım gerektirmeyen batarya olarak da anılır (Sun ve diğ., 2019; David ve Thomas (2001).

Kurşun-asit bataryaların, üretimleri ve geri dönüşümleri sırasında çevreye olumsuz etkileri vardır (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015; Sun ve diğ., 2019). Ancak, günümüzde, kurşun-asit bataryaların toplanma ve yeniden kazanım oranları, özellikle Avrupa Birliği ve ABD’de %99’un üzerine çıkmıştır (Sun ve diğ., 2019).

### 5.2. Nikel temelli bataryalar

Bu tip bataryalar, pozitif elektrotta nikel hidroksit, negatif elektrotta farklı materyaller ve elektrolit olarak potasyum hidroksit içerirler. Nikel temelli bataryaların, negatif elektrotundaki materyale göre; nikel metal hidroksit (Ni-MH), nikel-demir (Ni-Fe), nikel-kadmiyum (Ni-Cd), nikel-çinko (Ni-Zn) ve nikel-hidrojen (Ni-H<sub>2</sub>) çeşitleri vardır (Sun ve diğ., 2019; Shukla ve diğ., 2001). Bu çeşitler arasında, Ni-MH bataryalar 1990 yılından beri EA’larda kullanılmaktadır (Sun ve diğ., 2019).

### 5.3. Lityum temelli bataryalar

Bu tip bataryalar ilk olarak 1991 yılında Sony firması tarafından ticarileştirilmiştir (Hannan ve diğ., 2018; Sun ve diğ., 2019). Lityum temelli veya lityum iyon bataryalarda pozitif elektrot olarak lityum metal oksitler, katot olarak karbon ve elektrolit olarak da lityum tuzu ve organik çözücüler bulunur (Hannan ve diğ., 2018). Pozitif elektrotta kullanılan metal oksit cinsine göre; lityum kobalt oksit (LiCoO<sub>2</sub>), lityum mangan oksit (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), lityum demir fosfat (LiFePO<sub>4</sub>), lityum nikel mangan kobalt oksit (LiNiMnCoO<sub>2</sub>), lityum nikel alüminyum kobalt oksit (LiNiCoAlO<sub>2</sub>) ve lityum titanat (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) çeşitleri vardır (Hannan ve diğ., 2018; Sun ve diğ., 2019). Bunlar arasında, Li-FePO<sub>4</sub> bataryalar, diğer lityum-iyon bataryalara nazaran daha yüksek deşarj akımı ve daha düşük maliyete sahiptirler (Sun ve diğ., 2019).

### 5.4. ZEBRA (Sodyum Nikel Klorid) bataryalar

Sodyum Nikel Klorid bataryalar, Ni-MH bataryalarla aynı zamanda EA’lara uygulanmaya başlanmıştır (Yong ve diğ., 2015). Bu batarya tipinin, bir diğer adı da Türkçe de “sıfır emisyon batarya araştırma aktivitesi” manasına gelen, İngilizce “Zero Emission Battery Research Activity” kelimelerinin baş harflerinin kısaltması olan ZEBRA’dır (Sun ve diğ., 2019). ZEBRA batarya hücresinin ana bileşenleri, erimiş sodyum anot, bir seramik beta-alüminyum oksit katı hal elektroliti ve reaktifin NiCl<sub>2</sub> olduğu gözenekli bir katottur. Katot ayrıca yeterli iyonik iletkenlik elde etmek için sıvı NaAlCl<sub>4</sub> içerir (Aksoy ve Soytaş, 2019).

### 5.5. Laboratuvar sürecindeki gelecek nesil bataryalar

Mevcut durumda ticarileşmemiş ve laboratuvar geliştirme fazında olan yüksek performanslı bazı batarya çeşitleri arasında, lityum-sülfür (Li-S), çinko-hava (Zn-Hava) ve lityum-hava (Li-Hava) sayılabilir (Tie ve Tan, 2013; Yong ve diğ., 2015).

Li-S batarya diğer lityum tabanlı bataryalara kıyasla yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup en önemli avantajı pahalı olmayan sülfür sebebiyle maliyetinin düşük olmasıdır. Ancak, bu tip bataryanın yüksek kendi kendine deşarj oranı ve kısa ömrü vardır. Li-S bataryaya benzer şekilde, Zn-Hava batarya da yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir, ancak kısa ömür ve düşük güç yoğunluğu olumsuz yanlarıdır. Li-Hava bataryanın teorik olarak 1700 Wh/kg civarındaki güç yoğunluğu, İYM’lerin ulaştığı güç yoğunluğu değerlerine oldukça yakındır (Yong ve diğ., 2015).

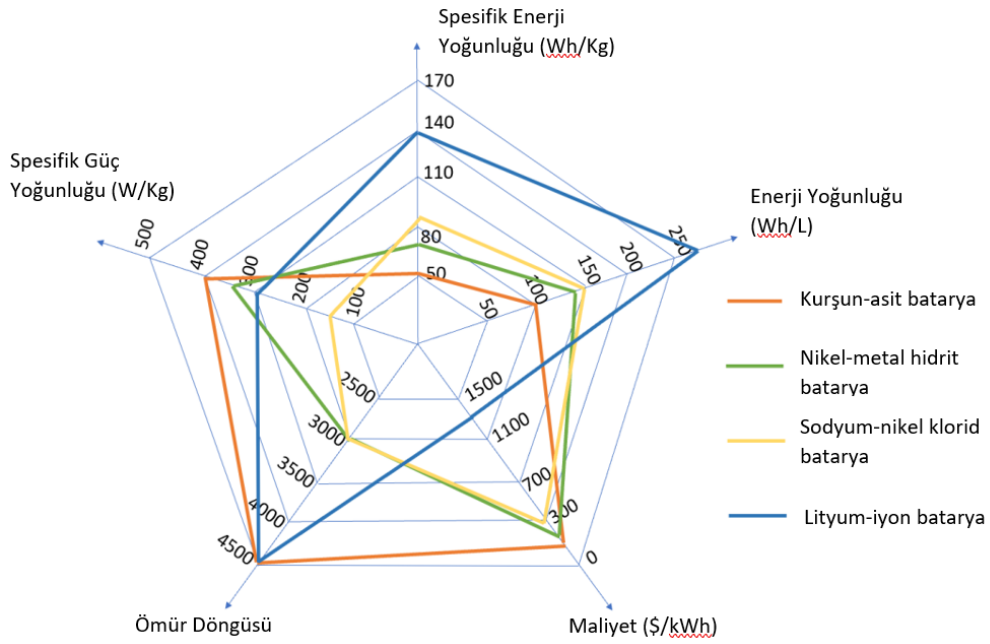
### 5.6. Bataryaların performans karşılaştırması

Pratikte kullanımda olan kurşun-asit, nikel-metal hidrit, sodyum-nikel klorid (ZEBRA) ve lityum-iyon bataryaların spesifik enerji yoğunluğu, spesifik güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu, ömür döngüsü ve maliyet bakımından karşılaştırılmasına ilişkin grafik (Sun ve diğ., 2019), Şekil 11’de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere, en iyi ve en kötü performans gösteren seçenekler; spesifik enerji yoğunluğu ile enerji yoğunluğu bakımından lityum iyon ve kurşun-asit bataryalar, spesifik güç yoğunluğu

**Tablo 2.** Kurşun-asit, nikel tabanlı, lityum tabanlı ve ZEBRA bataryalara ait nominal gerilim, kendi kendine deşarj oranı, hafıza etkisi ve işletme sıcaklığı parametreleri.

[Tablo 2, (Yong ve diğ., 2015)'den alınmıştır.]

Batarya Türü	Anma Gerilimi (V)	Kendi Kendine Deşarj Oranı (%)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Kurşun Asit (Pb-acid)	2.0	<5	Yok	-15 ~ +50
Nikel Kadmiyum (NiCd)	1.2	10	Var	-20 ~ +50
Nikel Metal Hidrit (Ni-MH)	1.2	20	Nadir	-20 ~ +60
ZEBRA	2.6	<5	Yok	+245 ~ +350
Lityum İyon (Li-ion)	3.6	<5	Yok	-20 ~ +60
Lityum Demir Fosfat (LiFePO <sub>4</sub> )	3.2	<5	Yok	-45 ~ +70

**Şekil 11.** Kurşun-asit, nikel-metal hidrit, sodyum-nikel klorid ve lityum-iyon bataryaların spesifik enerji yoğunluğu, spesifik güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu, ömür döngüsü ve maliyet bakımından karşılaştırılması.

[Şekil 11, (Sun ve diğ., 2019)'den alınmıştır.]

bakımından kurşun-asit ve sodyum-nikel klorid bataryalar, ömür döngüsü bakımından lityum-iyon/kurşun asit ve nikel-metal hidrit/sodyum-nikel klorid bataryalar, maliyet bakımından kurşun-asit ve lityum-iyon bataryalardır.

Tablo 2'de kurşun-asit, nikel tabanlı, lityum tabanlı ve ZEBRA bataryalara ait nominal gerilim, kendi kendine deşarj oranı, hafıza etkisi ve işletme sıcaklığı parametreleri (Yong ve diğ.,

2015) verilmiştir. Bu tablodan, nikel tabanlı bataryaların yüksek seviyede kendi kendine deşarj oranı ve hafıza etkisi dezavantajlarının olduğu, ayrıca hücre çıkış gerilimlerinin diğer bataryalara göre daha düşük olduğu ifade edilebilir. Yine aynı tablo ZEBRA tipi bataryanın diğerlerine kıyasla çok yüksek çalışma sıcaklığı aralığına sahip olduğunu ve en yüksek hücre geriliminin lityum tabanlı bataryalar tarafından sağlandığını göstermektedir.

## 6. Batarya yönetim sistemleri

Güvenilir çalışma, sürüş mesafesinin iyileştirilmesi, araç güç yönetim stratejisinin optimize edilmesi, batarya ömrünün uzatılması ve işletme maliyetinin düşürülmesi için efektif bir Batarya Yönetim Sisteminin (BYS) uygulanması gereklidir. BYS'nin görevleri, batarya içindeki enerjinin güvenilir ve optimal şekilde kullanımı ile araç enerji yönetim sistemi için doğru batarya durum bilgisini sağlamaktır. Ayrıca, bu birim anormal çalışma durumlarında batarya sistemine gerekli müdahaleyi yapacak şekilde tasarlanır (Xiong ve diğ., 2017). Bu amaçlar doğrultusunda BYS'lerde; batarya gerilim-akım-sıcaklık takibi, batarya şarj ve sağlık durumlarının tespiti, ısınma durumu yönetimi, batarya emniyet ve koruma yönetimi ile bataryaların şarj/deşarj dengeleme yönetimi işlemleri yürütülür (Rahimi-Eichi ve diğ., 2013). Bir BYS'nin çalışma prensibini gösteren genel blok diyagramı (Xiong ve diğ., 2017), Şekil 12'de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere, bir BYS çok sayıda sensör, aktüatör, kontrolör ve sinyal bağlantı yolu barındırır (Xiong ve diğ., 2017; Lu ve diğ., 2013).

BYS de yeralan örnekleme devresinin ana görevi; kontrol devresinden gelen tetikleme sinyallerine göre batarya paketinden bara gerilimi, akım, hücre gerilimi ve sıcaklık parametrelerini ölçmektir. Kontrol devresinin görevi ise; batarya performans durumlarını, gerilim, akım ve

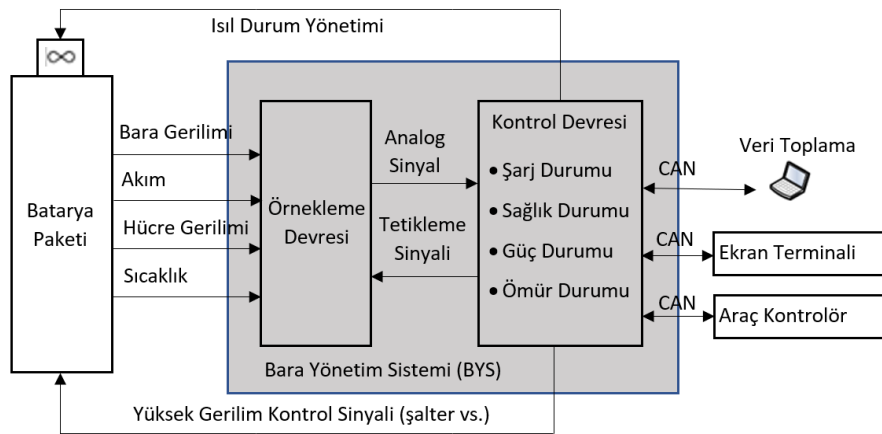
sıcaklık ölçümlerine ilişkin analog sinyallerden, ileri algoritmalar kullanma yoluyla tahmin etmektir. Bu durum tahminleri, araç enerji yönetimi ve güç dağıtımı için kilit karar parametreleri olarak araç kontrolörüne iletilir (Xiong ve diğ., 2017).

### 6.1. Batarya şarj ve sağlık durumu tespit yöntemleri

Literatürde, Batarya Şarj Durumu (BŞD), bataryanın geri kalan şarj değerinin tam dolu durumdaki şarj değerine yüzde oranı olarak ifade edilen indisle ölçülmektedir. Buna göre; BŞD oranı, bataryanın tamamen dolu ve tamamen boş halleri için sırasıyla %100 ve %0'dır (Lu ve diğ., 2013).

BŞD'nin tespitinde kullanılan yöntemler; (i) arama tablosu yöntemleri, (ii) Coulomb sayma veya amper-saat integral yöntemi, (iii) model temelli tahmin yöntemleri ve (iv) veri işleme temelli tahmin yöntemleri olmak üzere dört ana başlık altında incelenebilir (Xiong ve diğ., 2017; Lin ve diğ., 2016).

Arama tablosu yöntemlerinde, hücrenin gerilim veya empedansı ölçülür. BŞD ile bu parametreler arasındaki ilişkiden şarj durumu tespit edilir. Bu yöntemlerin uygulanmalarında, ölçüm almadan önce bataryaların dinlendirilmesi gerektiğinden, bunların araç çalışırken gerçek zamanlı kullanımları mümkün değildir (Xiong ve diğ., 2017; Rahimi-Eichi ve diğ., 2013).



Şekil 12. BYS'nin çalışma prensibini gösteren blok diyagramı.

[Şekil 12, (Xiong ve diğ., 2017)'den alınmıştır.]

Amper-saat integral yöntemi, ölçüm periyodu boyunca batarya terminal akımının integrali alınarak pratik bir şekilde uygulanabilen bir yaklaşımdır. Ancak, aynı yöntem, doğruluğu BŞD'nin başlangıç değerinin hassasiyetinden önemli derecede etkilenmesi ve akım ölçüm hatalarının integral alma işlemiyle katlanarak sonuca etki etmesi sebeplerinden düşük güvenilirliktedir (Xiong ve diğ., 2017).

Model temelli tahmin yöntemlerinde, elektrokimyasal ve elektriksel eşdeğer devre olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir modellerle beraber filtreleme ve kontrol algoritmaları kullanılmıştır. Bu yöntemler, iyi derecede tahmin performansı gösteren ve gerçek zamanlı uygulanabilen yaklaşımlardır (Xiong ve diğ., 2017; Rahimi-Eichi ve diğ., 2013; Lin ve diğ., 2016).

Veri işleme temelli tahmin yöntemleri ise; bataryayı bir kara kutu gibi kabul ederek ölçüm verileri üzerinden makine öğrenme algoritmalarıyla BŞD'yi tahmin eden, dolayısıyla tahmin için bir modele ihtiyaç duymayan yaklaşımlardır. Tahmin hassasiyeti bakımından en iyi performansa sahiplerdir. Fakat öğrenme için büyük miktarda veri gerektirmeleri ve hesaplama karmaşıklıkları dezavantajlarıdır (Lin ve diğ., 2016). Buraya kadar verilen kısa özetten, model temelli tahmin algoritmalarının, tahmin hassasiyeti ve gerçek zamanlı uygulama pratikliği yönleri birlikte değerlendirildiğinde, diğerlerine göre ön plana çıktığı ifade edilebilir.

Batarya Sağlık Durumu (BSD) için literatürde üzerinde fikir birliğine varılmış bir tanım olmakla beraber, bataryanın güncel kapasitesinin anma kapasitesine yüzde oranı şeklinde ifade edilen indis BSD ölçümü için literatürde genellikle kullanılmaktadır. Buna göre; BSD oranı, batarya hiç kullanılmamış durumda iken %100 değerinde kabul edilir. (Lu ve diğ., 2013). BSD ve BŞD tahmini için kullanılan yöntemler aynı temellere dayalıdır (Rezvanizani ve diğ., 2014).

## 6.2. Batarya şarj dengeleme yaklaşımları

Batarya hücrelerinin şarj/deşarj süreçleri sırasında aynı gerilim seviyesinde tutulması manasına gelen batarya dengeleme işleminde kullanılan yöntemler; pasif ve aktif dengeleme yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir (Andwari ve diğ., 2017; Rahimi-Eichi ve diğ., 2013). Pasif yöntemler; sabit direnç

(Lindemark, 1991) ve ayarlı direnç içeren (Zhang ve diğ., 2011) yöntemler, aktif yöntemler ise; kondansatör (Pascual ve diğ., 1997), bobin (Phung ve diğ., 2014), transformatör (Shin ve diğ., 2010) ve güç elektroniği dönüştürücü (Maharjan ve diğ., 2012) içeren yöntemlerdir.

Pasif yöntemlerde, gerilim seviyesi yüksek olan batarya hücreleri, paralel bağlı bir direnç üzerinden deşarj edilir. Böylece tüm hücrelerin aynı gerilim seviyesi veya şarj durumuna gelmesi sağlanır. Pasif yöntemler, aktif yöntemlere göre uygulama bakımından çok daha pratiktirler. Ancak, dengeleme sırasında, batarya hücresinin sahip olduğu enerji direnç üzerinden harcandığı için bu yöntemlerde sistem verimi düşüktür ve direncin ısınması neticesinde soğutma ihtiyacı ortaya çıkar. Aktif yöntemlerde, gerilim seviyesi yüksek olan batarya hücresinin sahip olduğu fazla enerjinin bir direnç üzerinden deşarj edilmesi yerine, gerilim seviyesi düşük batarya hücrelerine aktarılması sağlanır. Dolayısıyla, enerji kaybı olmadan verimli bir şekilde dengeleme işlemi gerçekleştirilmiş olur (Rahimi-Eichi ve diğ., 2013).

## 7. Şarj teknolojisi

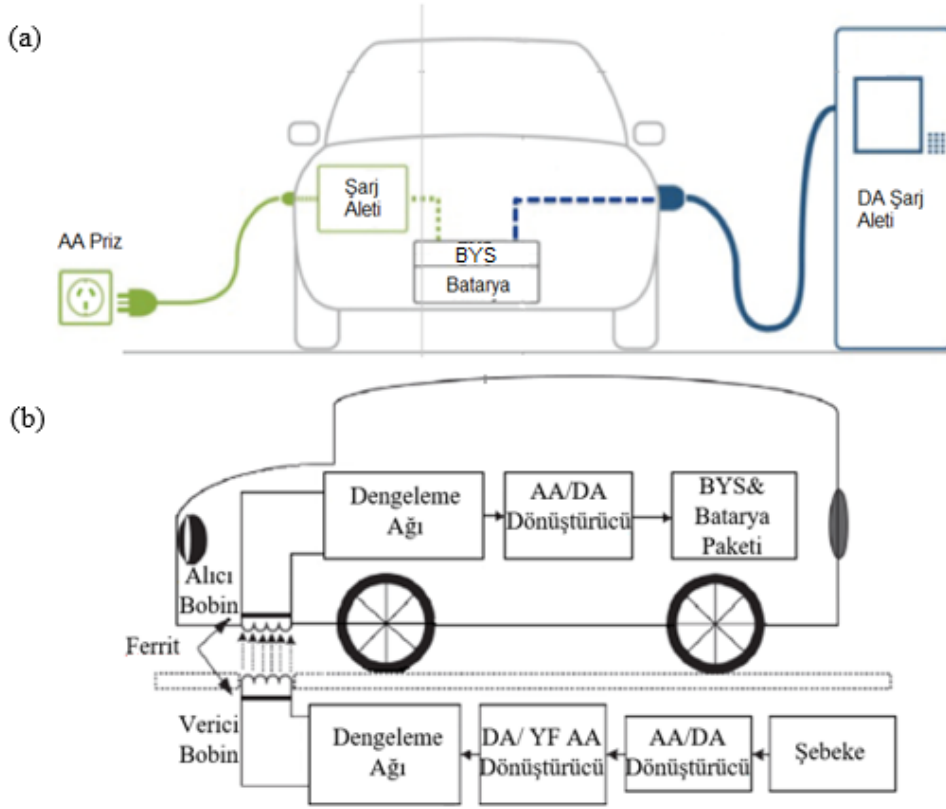
Bu kısımda sırasıyla; enerji aktarma şekline göre şarj tipleri, şarj yaklaşımları, standartlarda tanımlı şarj seviyeleri/modları ve araç üzeri şarj aletlerinde kullanılan devre topolojileri sunulmuştur.

### 7.1. Enerji aktarım şekline göre şarj tipleri

Şarj tipleri; iletim yoluyla ve kablosuz şarj olarak iki ana sınıfa ayrılabilir (Sun ve diğ., 2019). İletim yoluyla ve kablosuz şarj tiplerinin çalışma prensiplerini izah eden şematikler (AC-vsDC, 2018, Panchal ve diğ., 2018), Şekil 13'ten görülmektedir.

#### 7.1.1. İletim yoluyla şarj

İletim yoluyla şarj; kaynaktan bataryaya enerji aktarımının bir iletken üzerinden doğrudan gerçekleştirildiği şarj yöntemidir. İletim yoluyla şarj basit ve verimlidir. Bu tip şarjda, şarj aleti (devresi) araç üzerinde veya araç dışında olabilir. Şarj cihazı araç üzerinde olanlar genellikle yavaş hızda şarja müsaittir. Bunlarda, 1 faz veya 3 faz alternatif akım elektrik enerjisi EA içindeki şarj aletine, bağlantı elemanları üzerinden aktarılır.



**Şekil 13.** (a) iletim yoluyla şarj ve (b) kablosuz şarj.

[Şekil 13 (a) ve Şekil 13 (b), sırasıyla (ACvsDC, 2018) ve (Panchal ve diğ., 2018)'den alınmıştır.]

EA içindeki şarj aleti, alternatif akımı istenilen değerde doğru akıma çevirerek bataryaya verir. Araç dışı şarj aletleri ise; şarj istasyonlarında bulunabilir ve hızlı şarj yapabilecek yetenekte tasarlanırlar. Bunlarda, genellikle 3 faz alternatif akımdan şarj devresiyle elde edilen doğru akım EA içindeki bataryaya bağlantı elemanları üzerinden verilir (Shareef ve diğ., 2016; Khalid ve diğ., 2019).

### 7.1.2. Kablosuz şarj

Literatürde yaygın olarak bilinen kablosuz şarj tipleri; geleneksel indüktif, kapasitif ve rezonans indüktif şarj olarak ifade edilebilir. Geleneksel ve rezonans indüktif tiplerinde, verici bobini şarj aleti tarafında, alıcı bobini EA üzerinde olan bir yapı kullanılarak, manyetik kuplaj yoluyla enerjinin transferi sağlanır. Bunlarda, şarj aleti ile EA arasında, iletken üzerinden bağlantı yerine manyetik kuplaj yoluyla bağlantı olduğu için her iki taraf elektriksel olarak izoledir. Alıcı ve verici bobinlerin düşük ağırlıkta olması ve küçük hacim kaplaması için Yüksek Frekansta (YF) enerji iletimi gerekli-

dir. Bu sebeple, şarj aleti tarafında şebeke frekansındaki elektrik enerjisi, güç dönüştürücü devresi marifetiyle kHz mertebesinde yüksek frekanslarda elektrik enerjisine dönüştürülerek, verici bobinine aktarılır (Panchal ve diğ., 2018).

Verici bobin tarafında endüklenen yüksek frekanslı elektromanyetik kuvvet ise EA üzerinde yeralan doğrultucu devresiyle doğrultularak bataryaya aktarılır. Bu tip şarj, iletim yoluyla şarja kıyasla yüksek kayıplı ve düşük verimlidir. Bununla birlikte, daha verimli enerji aktarımı için rezonans indüktif tipte alıcı ve verici bobinler aynı frekansta rezonans halinde çalıştırılırlar. Kablosuz şarj yönteminin kapasitif tipinde, indüktif temelli tiplerdeki alıcı ve verici bobinleri yerine alıcı ve verici kapasitörler kullanılır. İndüktif temelli tipler ile karşılaştırıldığında şarj enerjisinin transferi daha yüksek frekans aralıklarında gerçekleştirilir. Ancak, alıcı ve verici arasındaki mesafe indüktif temelli tiplere göre daha kısa olup aktarılabilen güç değeri ve verimi daha düşüktür. Kapasitif tipin avantajları ise daha küçük boyuta ve daha düşük maliyete sahip olmasıdır (Panchal ve diğ.,



2018). Buraya kadar sunulanlara ilaveten, kablosuz şarj sistemlerinin, şarjın EA'nın hareket halinde veya dururken gerçekleşmesine göre; sabit, yarı dinamik ve dinamik şarj sistemleri olmak üzere üçe ayrıldığını belirtmek gerekir (Sun ve diğ., 2019; Khalid ve diğ., 2019; Jang ve diğ., 2016). Sabit sistemler park halinde, yarı-dinamik sistemler trafikte dur-kalk hareketlerinde ve dinamik sistemler yolda hareket halindeyken kablosuz şarja imkan veren sistemlerdir.

2012 yılında Kore İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü kampüsünde kullanılmaya başlanan OLEV isimli kampüs içi otobüs, dinamik sistemlere örnek olarak verilebilir (Sun ve diğ., 2019; Jang ve diğ., 2016). Şekil 14'den bu otobüsün gittiği yol ve yola gömülü kablosuz şarj vericisine ait fotoğraflar (Jang ve diğ., 2016) görülmektedir.

## 7.2. Şarj yaklaşımları

Şarj yaklaşımları; genel olarak, Sabit Akım (SA), Sabit Gerilim (SG), Sabit Akım-Sabit Gerilim (SA-SG), Sabit Güç (SGü), damlama ve darbe şarj olarak sıralanabilir (Sun ve diğ., 2019).

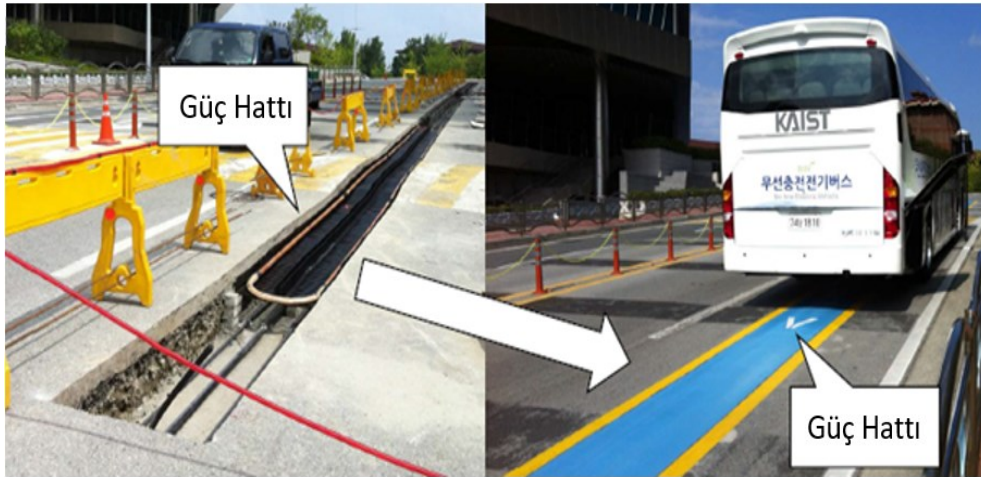
Batarya şarj uygulamalarında genellikle, bataryaya zarar vermeden kısa sürede şarj için şarj aleti ve bataryanın sınır değerlerini aşmadan, azami şarj akımına izin verilir. Buna göre, şarj sürecinde, büyük şarj ve sızıntı şarjı olmak

üzere iki evre gözlemlenebilir. Bataryaya enerji transferinin önemli kısmı, büyük şarj evresinde büyük şarj akımıyla gerçekleştirilir. Daha sonra, sızıntı şarjı evresinde, şarj işlemi küçük akımlarla sonlanır (Masserant ve Stuart, 1997).

SA yaklaşımında, tüm şarj sürecinde şarj akımı sabit tutulur. Bunun için; şarj sırasında bataryaların şarj seviyesi yükseldikçe iç dirençlerinin artması sebebiyle, akım sabit kalacak şekilde şarj aletinin çıkış gerilim seviyesi artırılır (Sun ve diğ., 2019; Shareef ve diğ., 2016).

Bu yaklaşımda, şarj akımının çok yüksek seçilmesi bataryaya zarar verir, çok küçük seçilmesi ise şarj süresini gereksiz şekilde uzatır, dolayısıyla şarj akımının değerinin belirlenmesi çok önemlidir (Hua ve Lin, 2000). Damla şarj yaklaşımı, SA yaklaşımının bir versiyonudur. Bu şarj yaklaşımında, bataryaların kendi kendine deşarj durumu, çok küçük bir şarj akımı verilerek kompanze edilir (Sun ve diğ., 2019).

SG yaklaşımında, başlangıçta batarya şarj seviyesinin düşük olmasına bağlı olarak, düşük batarya iç direncinden dolayı, şarj aletinden batarya yüksek genlikli şarj akımı çekilebilir. Bataryaya zarar verebilecek yüksek genlikli şarj akımına sebep olmamak için şarj gerilimi değerinin seçimi çok önemlidir. Bu yaklaşımda, batarya şarj seviyesi arttıkça iç direnci büyüyeceğinden, şarj işleminin sonuna doğru şarj akımı azalır (Hua ve Lin, 2000).



Şekil 14. OLEV isimli otobüsün gittiği yol ve yola gömülü kablosuz şarj vericisi.

[Şekil 14, (Jang ve diğ., 2016)'dan alınmıştır.]

İki kademeli şarj olarak da literatürde isimlendirilen, SA-SG yaklaşımında, bataryaya öncelikle SA ve devamında SG evrelerini içeren şarj işlemi uygulanır (Sun ve diğ., 2019; Shareef ve diğ., 2016; Hua ve Lin, 2000). SGü yaklaşımında ise; bataryaya şarj sırasında aktarılan güç sabit tutulur (Sun ve diğ., 2019).

Darbe şarj yaklaşımında, bataryaya verilen akım darbeleriyle hızlı şarj yapılması amaçlanır. İki akım darbesi arasında batarya elektrotları etrafındaki gazın dağılması için batarya dinlendirilir. Bu yaklaşımın, elektrot etrafındaki gazı azaltmak için dinlenme aralıklarında çok kısa süreli negatif deşarj akım darbelerinin uygulandığı şekli de literatürde mevcuttur (Sun ve diğ., 2019).

### 7.3. Standartlarda tanımlı şarj seviyeleri/modları

EA'ların şarjı üzerine farklı ülkeler ve organizasyonların çeşitli standartları mevcuttur. Bu standartlardan önde gelenleri olarak; Otomotiv Mühendisleri Derneği'nin Standardı (SAE Standardı, ABD), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun Standardı (IEC Standardı, İsviçre) ve Japon Elektrikli Araç Derneği'nin Standardı (JEV Standardı veya JEVS) sayılabilir (Yong ve diğ., 2015).

SAE J1772 standardına göre pratikte, alternatif akım seviye 1, alternatif akım seviye 2, doğru akım seviye 1 ve doğru akım seviye 2 şarj seviyeleri uygulanmaktadır. Alternatif Akım Seviye 1 için alçak gerilim tesislerindeki tek fazlı prizler dikkate alınarak, araç üzerinde bulunan şarj aletine verilecek gerilim-akım seviyeleri 120 V<sub>ac</sub> ve 12-16 A olarak belirlenmiştir. Bu seviyede kaynağa bağlanmaya uygun araç üzeri bir şarj aletiyle, şarj aletinin güç değerine bağlı olmakla birlikte, %20 dolu bir bataryanın tam doluluk oranına ulaşabilmesi için geçen süre, 17 saati bulabilmektedir. Alternatif Akım Seviye 2 için sadece araç şarjına tahsis edilmiş tek veya üç fazlı alternatif akım besleme alt yapıları dikkate alınarak, araç üzerinde bulunan şarj aletine verilecek gerilim seviyesi ve akım üst sınırı 240 V<sub>ac</sub> ve 80 A tanımlanmıştır. Bu seviyede kaynağa bağlanmaya uygun araç üzeri bir şarj aletiyle, şarj aletinin güç değerine bağlı olmakla birlikte, %20 dolu bir bataryanın tam doluluk oranına ulaşması için, 1.2 ile 7 saat arası bir süre gereklidir. Ayrıca, şarj istasyonlarında kurulu araç dışı şarj aletlerinden araç üzerindeki bataryaya verilecek doğru akım elektriğin; gerilim aralığı ve akım üst sınırı olarak; doğru

akım seviye 1 için 200-450 V<sub>dc</sub> ve 80 A, doğru akım seviye 2 için 200-450 V<sub>dc</sub> ve 200 A değerleri tanımlanmıştır. İlk doğru akım seviyesinde, %20 dolu bir bataryanın tam doluluk oranına ulaşması için geçen süre 1.2 saati, ikincisinde ise %20 dolu bir bataryanın %80 doluluk oranına ulaşması için geçen süre 20 dakikayı bulabilmektedir (Yong ve diğ., 2015; Sun ve diğ., 2019).

Burada şu belirtilmelidir ki, literatürde, SAE J1772 standardında tanımlı bu seviyeler; doğru akım seviye 1 ve 2 birleştirilerek, alternatif akım seviye 1, alternatif akım seviye 2 ve doğru akım seviye 3 olarak da anılmaktadır (Falvo ve diğ., 2014).

CHAdEMO ismiyle de bilinen G105 standardı ise sadece doğru akım hızlı şarj üzerine olup bu standartta şarj istasyonlarında kurulu araç dışı şarj aletlerinden, araç üzerindeki bataryaya verilecek doğru akım elektriğin; gerilim seviyesi ve akım üst sınırı olarak 500 V<sub>dc</sub> ve 125 A tanımlanmıştır. Bu standarda göre, optimal doğru akım şarj koşulları olan 500 V<sub>dc</sub> ve 100 A gerilim-akım uygulandığı takdirde, bir batarya %80 doluluk oranına 30 dakika içinde şarj edilebilmektedir (Yong ve diğ., 2015).

IEC 62196 standardı ise dört farklı şarj modu tanımlamıştır. Mod 1, ekstra koruma ve haberleşme bulundurmeyen normal priz-fiş bağlantı elemanları üzerinden, tek faz ve üç faz için sırasıyla 250 V<sub>ac</sub> ve 480 V<sub>ac</sub> gerilim üst sınırları ile 16 A akım üst sınır değeriyle yavaş hızda şarj için tanımlanmıştır. Mod 2'de, Mod 1'deki gerilim sınır değerleri korunmuş, ancak akım üst sınırı 32 A değerine yükseltilmiştir. Mod 2'nin Mod 1'den bir diğer farkı, priz tarafında toprak hattı yoksa enerjiyi kesen bir haberleşme adaptörünün kablo üzerinde bulunmasını şart koşmasıdır. Fakat enerjinin sağlandığı priz tarafında herhangi bir kontrol pini bulunmasına gerek yoktur. Mod 3, üç fazlı 480 V<sub>ac</sub> gerilim üst sınırı ve 250 A akım üst sınır değeriyle şarja imkan verir. Bu modda kablonun hem şarj kaynağı hem de araç tarafında kontrol ve sinyal pinleri vardır. Araç yoksa araca bağlanacak socket cansızdır yani enerji yoktur. Mod 3, ilk iki moda kıyasla daha hızlı ve güvenli şarj sağlar. İlk üç modda, aracın üzerindeki şarj aletinin girişine alternatif akım verilir. Mod 4 hızlı doğru akım şarjı tanımlar. Bu modda, kaynak tarafındaki şarj aletinden araca 200-600 V<sub>dc</sub> gerilim aralığında ve 400 A akım üst sınırına kadar doğru akım elektrik enerjisi verilebilir

(Schwarzer ve Ghorbani, 2015). Ortalama veya tipik bir elektrikli aracın bataryasının tam şarj olmasının, mod 1 ve 2 için yaklaşık olarak 6-8 saat, mod 3 için 1-2 saat ve mod 4 için 5-30 dakika zaman alabildiği literatürde raporlanmıştır (Montoya ve diğ., 2016).

#### 7.4. Şarj aleti devre topolojileri

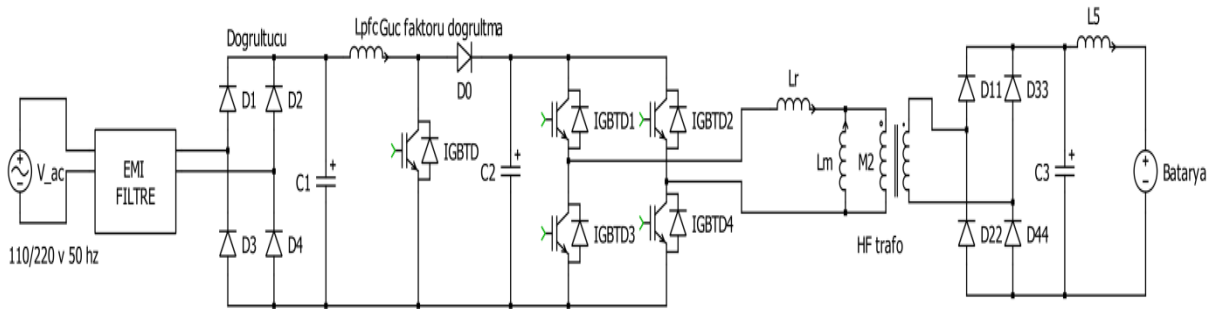
Prize takılan elektrikli araçlarda şarj sistemleri, tek yönlü ve çift yönlü güç akışına izin veren topolojiler olarak ikiye ayrılabilirler (Fasugba ve Krein, 2011; Du ve Lukic, 2011). Çift yönlü şarj devreleri, batarya enerjisinin şebekeye aktarılmasına, dolayısıyla aracın dağıtık üretim birimi olarak kullanımına imkan verirler.

**Tek yönlü şarj devreleri:** Genellikle, güç faktörü düzeltmeli bir AA-DA dönüştürücü ve yüksek frekanslı trafo izolasyonlu bir DA-DA dönüştürücü içeren iki kısımdan oluşurlar. Bu yapı, düşük frekanslı (giriş hattı frekansının iki katı frekansta) dalgalanma enerjisini azaltmak için büyük hacimli elektrolitik kondansatörlü bir ara DA bara gerektirir, böylece batarya tarafında daha düzgün bir DA çıkışı elde edilir (Gautam ve diğ., 2012). Bu tip şarj sistemlerinin bir dezavantajı, maliyeti arttıran büyük boyutlu DA bara kondansatörü içermeleridir (Prasad ve diğ., 2015). Şekil 15’ de tek yönlü rezonans devreli şarj sistemi görülmektedir (Prasad ve diğ., 2015).

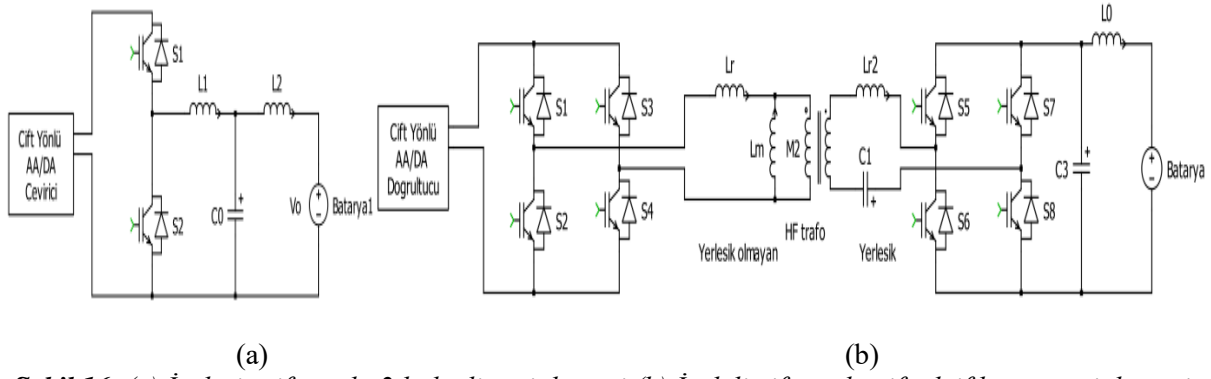
**Çift yönlü şarj devreleri:** Çift yönlü şarj sistemleri, şebekeden araca, ayrıca araçtan eve,

harici yüke veya en yaygın olarak şebekeye giden güç akışı kontrolünü sağlar (Khaligh ve D’Antonio, 2019). Şebekeyle araç arasında güç akışını kontrol eden aktif çift yönlü AA-DA çevirici ile batarya akımını kontrol eden çift yönlü DA-DA çevirici olmak üzere iki devre parçasından oluşurlar. Koruma bakımından, izoleli ve izolesiz olmak üzere iki tipi vardır. Sistem, şarj modunda çalışırken aktif ve reaktif gücü kontrol etmek için istenilen faz açısında sinüsoidal akımla sürülürler. Deşarj modunda benzer olarak sinüzoidal şekilde akımı ters yönde akıttırılır (Yılmaz and Krein, 2013). Şekil 16’da çift yönlü şarj devresi örnekleri görülmektedir (Khaligh ve D’Antonio, 2019).

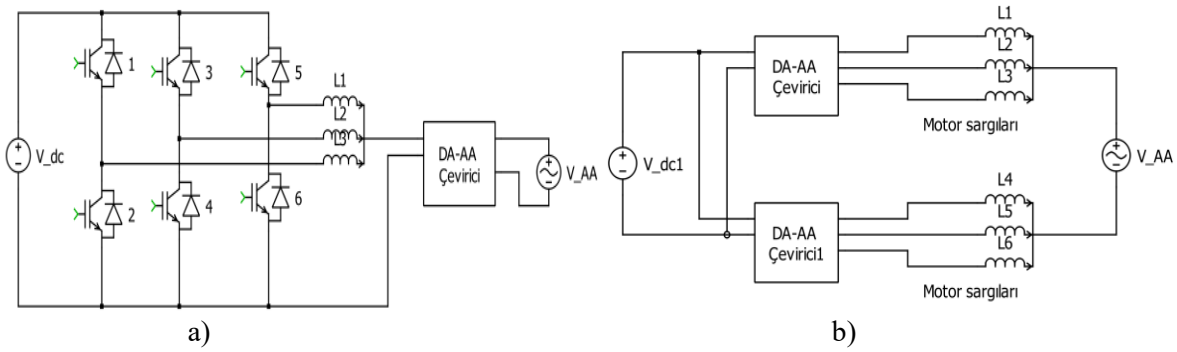
**Entegre batarya şarj sistemleri:** Literatürde, araç şarj sistemlerinin ağırlığını, hacmini ve maliyetini azaltmak için motor sürücüler ile entegre edilmiş araç üzeri şarj sistemleri geliştirilmiştir (Mande ve diğ., 2020; Chen ve Ge, 2018; Yılmaz ve Krein, 2013; Yılmaz ve Krein, 2012; Subotic ve Levi, 2015). Bu sistemlere ilişkin devre şematiği Şekil 17’de sunulmuştur (Mande ve diğ., 2020). Bu sistemlerde, motor sargıları, filtre ve izolasyon transformatörü gibi kullanılırken, motor sürücü devresi çift yönlü AA-DA çevirici görevi görür. Ağırlık, hacim ve maliyet azaltmalarına karşın, kontrol karmaşıklıkları en büyük dezavantajlarıdır.



Şekil 15. Yerleşik Tek yönlü tam köprü şarj devresi.



**Şekil 16.** (a) İzolesiz çift yönlü 2 bölgeli şarj devresi (b) İzoleli çift yönlü çift aktif köprü şarj devresi.



**Şekil 17.** Entegre evirici/doğrultucu topolojileri a) Eviricinin DA/DA Çevirici olarak kullanılması b) Evirici AA/DA çevirici olarak kullanılması.

## 8. Sonuç ve tartışma

Bu makalede, elektrikli araçlar üzerine kapsamlı bir literatür taraması sonucunda ulaşılan, aktarma yapısı, elektrik motor, motor sürücü devresi, batarya, batarya yönetim sistemi ve şarj sistemi teknolojileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu inceleme neticesinde;

- Mekanik güç aktarım sistemlerinin, gelişim sürecinde, tahrik gücünün iletiminde meydana gelen kayıpların azaltılması amacıyla daha kompakt hale geldiği, ancak bu değişimin, elektrik motorlarının daha yüksek tork değerlerine sahip olmasını gerektirdiği,
- Düşük ağırlık ve hacimde yüksek güç üretebilme, yüksek verim, kompakt yapı ve düşük soğutma ihtiyacı nitelikleriyle kalıcı mıknatıslı motorların güncel elektrikli araç uygulamalarında ön plana çıktığı, diğer taraftan anahtarlamalı relüktans motorların elektrikli araç uygulamalarıyla örtüşen geniş sabit güç aralığı ve tork-hız karakteristiği, arızaları yüksek derecede tolere etme kapasitesi, düşük

rotor eylemsizliği ve sağlamlık nitelikleriyle gün geçtikçe popülerliğini arttırmakta olduğu,

- Motor sürücü sistemlerinde, genellikle gerilim kaynaklı evirici topolojisinin tercih edildiği, ancak entegre evirici/doğrultucu topolojisinin motor çalışma ve yerleşik batarya şarjını olanaklı hale getirdiği, bu yapı sayesinde, araç üzeri batarya şarj sistemlerinin boyutlarının ve ağırlıklarının önemli derecede azaldığı,
- Ticarileşmiş batarya teknolojileri arasında, lityum temelli olanların enerji yoğunluğu, hücre gerilimi ve ömür bakımından diğerlerine kıyasla önemli derecede üstün olması sebebiyle elektrikli araç uygulamalarında genellikle tercih edildiği, ancak bu batarya tipinin maliyetinin yüksek olduğu, dolayısıyla maliyeti düşük ve performansı yüksek lityum-sülfür, çinko-hava ve lityum-hava gibi batarya tipleri üzerine laboratuvar aşamasında çalışmaların var olduğu,
- Enerji aktarım şekline göre şarj tekniklerinin iletim yoluyla ve kablosuz şarj ol-

mak üzere iki ana sınıfa ayrıldığı, kablolu şarj sistemlerinin hareket halinde dinamik şarja imkan vermesi bakımından elektrikli toplu taşıma araçları için önemli bir seçenek haline geldiği, iletim yoluyla şarjda ise araç dışı seçenek olarak DA hızlı şarj sistemleri üzerine bir eğilimin olduğu, araç üzeri seçeneklerde motor sürücü devreleriyle entegre şarj devrelerinin maliyet, ağırlık ve hacim bakımından ön plana çıktığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

## Kaynaklar

**ACvsDC**, AC vs. DC charging, (2018). <<https://charge.net.nz/faq/what-is-the-difference-between-ac-and-dc-charging/acvsdc/>>, erişim tarihi: 15.11.2020.

**Aksoy, H. & Soytaş, S.H.** (2019). Enerji ve ulaşım sektörleri dönüşümünde batarya teknolojilerinin rolü: eğilimler, fırsatlar ve yenilikçi uygulamalar. *Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi*.

**Andwari, A. M., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R. & Esfahanian, V.** (2017). A review of battery electric vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430.

**Benajes, J., García, A., Monsalve-Serrano, J. & Martínez-Boggio, S.** (2019). Optimization of the parallel and mild hybrid vehicle platforms operating under conventional and advanced combustion modes. *Energy Conversion and Management*, 190, 73-90.

**Bubeck, S., Tomaschek, J. & Fahl, U.** (2016). Perspectives of electric mobility: Total cost of ownership of electric vehicles in Germany. *Transport Policy*, 50, 63-77.

**Chau, K. T. & Wong, Y. S.** (2002). Overview of power management in hybrid electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, 43(15), 1953-1968.

**Chen, L. & Ge, B.** (2018, June). High power traction inverter design and comparison for electric vehicles. *2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Long Beach, CA, USA.

**Cho, J., Jeong, S. & Kim, Y.** (2015). Commercial and research battery technologies for electrical energy storage applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 48, 84-101.

**Choudhury, A., Pillay, P., & Williamson, S. S.** (2014). Comparative analysis between two-level and three-level dc/ac electric vehicle traction inverters using a novel dc-link voltage balancing algorithm, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2(3), 529-540.

**Dabala, K. & Kazmierkowski, M. P.** (2019) Converter-fed electric vehicle (car) drives -A critical review, *Przeglad Elektrotechniczny*, 95(9):1-12.

**David, L. & Thomas, B. R.** (2001). Handbook of batteries 3rd Edition. New York: McGraw-Hill.

**Dearien, A.** (2019). HEV/EV traction inverter design guide using isolated IGBT and SiC gate drivers. *Texas Instruments Application Report*.

**Demir, A.** (2020). Türkiye'nin otomobilinin GZFT analizi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 24-46.

**Drobnik, J. & Jain, P.** (2013). Electric and hybrid vehicle power electronics efficiency, testing and reliability. *World Electric Vehicle Journal*, 6(3), 719-730.

**Du, Y., Lukic, S., Jacobson, B. & Huang, A.** (2011, September). Review of high power isolated bi-directional DC-DC converters for PHEV/EV DC charging infrastructure. *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Phoenix, AZ, USA.

**Falvo, M. C., Sbordone, D., Bayram, I. S. & Devetsikiotis, M.** (2014, June). EV charging stations and modes: International standards. *2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, Ischia, Italy.

**Fasugba, M. A. & Krein, P. T.** (2011, September). Gaining vehicle-to-grid benefits with unidirectional electric and plug-in hybrid vehicle chargers. *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Chicago, IL, USA.

**Gan, C., Wu, J., Sun, Q., Kong, W., Li, H. & Hu, Y.** (2018). A review on machine topologies and control techniques for low-noise switched reluctance motors in electric vehicle applications. *IEEE Access*, 6, 31430-31443.

**Gautam, D. S., Musavi, F., Edington, M., Eberle, W. & Dunford, W. G.** (2012). An automotive onboard 3.3-kW battery charger for

PHEV application. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(8), 3466-3474.

**Gupta, U., Yadav D. K. & Panchauli D.** (2019, October). Field oriented control of PMSM during regenerative braking, *2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, Bangaluru, India, India.

**Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y. & Ker, P. J.** (2018). State-of-the-art and energy management system of lithium-ion batteries in electric vehicle applications: Issues and recommendations. *IEEE Access*, 6, 19362-19378.

**Hashemnia, N. & Asaei, B.** (2008, September). Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. *2008 18th International Conference on Electrical Machines*, Vilamoura, Portugal.

**Hua, C. C. & Lin, M. Y.** (2000, December). A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles. *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Cholula, Puebla, Mexico.

**Jang, Y. J., Jeong, S. & Lee, M. S.** (2016). Initial energy logistics cost analysis for stationary, quasi-dynamic, and dynamic wireless charging public transportation systems. *Energies*, 9(7), 483.

**Khalid, M. R., Alam, M. S., Sarwar, A. & Asghar, M. J.** (2019). A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid. *Etransportation*, 1, 100006.

**Khaligh, A. & D'Antonio, M.** (2019). Global trends in high-power on-board chargers for electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(4), 3306-3324.

**Khan, M. & Kar, N. C.** (2009). Hybrid electric vehicles for sustainable transportation: A Canadian perspective. *World Electric Vehicle Journal*, 3(3), 551-562.

**Kim, H., Chen, H., Zhu, J., Maksimović, D. & Erickson, R.** (2016, November). Impact of 1.2 kV SiC-MOSFET EV traction inverter on urban driving. *2016 IEEE 4th Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications (WiPDA)*, Fayetteville, AR, USA.

**Krishna, R. A. & Suresh, L. P.** (2016, March). A brief review on multi level inverter topologies. *2016 International Conference on Circuit,*

*Power and Computing Technologies (IC-CPCT)*, Nagercoil, India.

**Kumar, L. & Jain, S.** (2014). Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 924-940.

**Li, C., Negnevitsky, M., Wang, X., Yue, W. L. & Zou, X.** (2019). Multi-criteria analysis of policies for implementing clean energy vehicles in China. *Energy Policy*, 129, 826-840.

**Li, Z., Khajepour, A. & Song, J.** (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. *Energy*, 182, 824-839.

**Lin, C., Mu, H., Xiong, R. & Shen, W.** (2016). A novel multi-model probability battery state of charge estimation approach for electric vehicles using H-infinity algorithm. *Applied Energy*, 166, 76-83.

**Lindemark, B.** (1991, November). Individual cell voltage equalizers (ICE) for reliable battery performance. *Thirteenth International Telecommunications Energy Conference-INT-TELEC 91*, Kyoto, Japan, Japan.

**Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J. & Ouyang, M.** (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, 272-288.

**Maharjan, L., Yamagishi, T. & Akagi, H.** (2010). Active-power control of individual converter cells for a battery energy storage system based on a multilevel cascade PWM converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(3), 1099-1107.

**Mande, D., Trovão, J. P. & Ta, M. C.** (2020). Comprehensive review on main topologies of impedance source inverter used in electric vehicle applications. *World Electric Vehicle Journal*, 11(2), 37.

**Masserant, B. J. & Stuart, T. A.** (1997). A maximum power transfer battery charger for electric vehicles. *IEEE Transactions on Aerospace And Electronic Systems*, 33(3), 930-938.

**Misra, S. S., Noveske, T. M. & Williamson, A. J.** (1994, November). Maintenance and reliability of standby battery systems: flooded vs. valve regulated lead acid battery. *Proceedings of Intelec 94*, Vancouver, BC, Canada.

**Mitsubishi Electric**, Features of mitsubishi electric automotive power devices,

<<http://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/application/automobile/index.html>> erişim tarihi: 28.05.2020.

**Mitsubishi**, Mitsubishi outlander PHEV takes a big step towards petrol-free driving, (2017). <[www.stuff.co.nz/motoring/lifestyle-vehicles/91569905/mitsubishi-outlander-phev-takes-a-big-step-towards-petrol-free-driving](http://www.stuff.co.nz/motoring/lifestyle-vehicles/91569905/mitsubishi-outlander-phev-takes-a-big-step-towards-petrol-free-driving)>, erişim tarihi: 06.05.2020.

**Montoya, F. G., Torres-Moreno, J. M. L. J. & Barón, F. M. A. V.** (2016, May). Analysis of charging stations for electric vehicles in Spain. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'16)*, Madrid, Spain.

**Palmer, K., Tate, J. E., Wadud, Z. & Nellthorp, J.** (2018). Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. *Applied Energy*, 209, 108-119.

**Panchal, C., Stegen, S. & Lu, J.** (2018). Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system. *Engineering Science and Technology, An International Journal*, 21(5), 922-937.

**Park, G., Lee, S., Jin, S. & Kwak, S.** (2014). Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2595-2607.

**Pascual, C. & Krein, P. T.** (1997, February). Switched capacitor system for automatic series battery equalization. *Proceedings of APEC 97- Applied Power Electronics Conference*, Atlanta, GA, USA.

**Patil, M. S. & Dhamal, S. S.** (2019, December). A detailed motor selection for electric vehicle traction system. *2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)*, Palladam, India.

**Patil, S. R. & Kalkhambkar, V. N.** (2017, February). Hybrid space vector pulse width modulation voltage source inverter-a review. *2017 International Conference on Data Management, Analytics and Innovation (ICDMAI)*, Pune, India.

**Phung, T. H., Collet, A. & Crebier, J. C.** (2014). An optimized topology for next-to-next balancing of series-connected lithium-ion cells. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(9), 4603-4613.

**Prasad, R., Namuduri, C. & Kollmeyer, P.** (2015, September). Onboard unidirectional automotive G2V battery charger using sine charging and its effect on li-ion batteries. *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Montreal, QC, Canada.

**Qiao, Q., Zhao, F., Liu, Z., He, X. & Hao, H.** (2019). Life cycle greenhouse gas emissions of Electric Vehicles in China: Combining the vehicle cycle and fuel cycle. *Energy*, 177, 222-233.

**Rahimi-Eichi, H., Ojha, U., Baronti, F. & Chow, M. Y.** (2013). Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(2), 4-16.

**Rezvanianiani, S. M., Liu, Z., Chen, Y. & Lee, J.** (2014). Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility. *Journal of Power Sources*, 256, 110-124.

**Riba, J. R., López-Torres, C., Romeral, L. & Garcia, A.** (2016). Rare-earth-free propulsion motors for electric vehicles: A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 367-379.

**Rind, S. J., Ren, Y., Hu, Y., Wang, J. & Jiang, L.** (2017). Configurations and control of traction motors for electric vehicles: A review. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 3(3), 1-17.

**Sabri, M. F. M., Danapalasingam, K. A. & Rahmat, M. F.** (2016). A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1433-1442.

**Schwarzer, V. & Ghorbani, R.** (2015, February). Current state-of-the-art of EV chargers. EVTC Electric Vehicle Transportation Centre, Report, Hawaii Natural Energy Institute. <<https://www.hnei.hawaii.edu/wp-content/uploads/Current-State-of-the-Art-EV-Chargers.pdf>> erişim tarihi:10.11.2020.

**Shajarati, O., Olesen, K., Apfel, N. & Beck, M.** (2018). DCM™1000 Designed to meet the future demand of electric vehicle drive train. *Bodo's Power Systems*, 3-35.

- Shareef, H., Islam, M. M. & Mohamed, A.** (2016). A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 403-420.
- Shen, C., Shan, P. & Gao, T.** (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicles. *International Journal of Vehicular Technology*, 2011, 1-7.
- Shin, J. W., Seo, G. S., Chun, C. Y. & Cho, B. H.** (2010, June). Selective flyback balancing circuit with improved balancing speed for series connected lithium-ion batteries. *The 2010 International Power Electronics Conference*, Sapporo, Japan.
- Shukla, A. K., Venugopalan, S. & Hariprakash, B.** (2001). Nickel-based rechargeable batteries. *Journal of Power Sources*, 100(1-2), 125-148.
- Singh, K. V., Bansal, H. O. & Singh, D.** (2019). A comprehensive review on hybrid electric vehicles: architectures and components. *Journal of Modern Transportation*, 27(2), 77-107.
- Subotic, I. & Levi, E.** (2015, March). A review of single-phase on-board integrated battery charging topologies for electric vehicles. *2015 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, Torino, Italy.
- Sun, X., Li, Z., Wang, X. & Li, C.** (2019). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13(1), 90.
- Tanaka, N.** (2008). Energy technology perspectives 2008–scenarios and strategies to 2050. *International Energy Agency (IEA)*, Paris, 10.
- Tie, S. F. & Tan, C. W.** (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 82-102.
- TOGG**, TOGG açılımı ne oluyor? Yerli otomobil fiyatı - özellikleri - adı nedir? Yerli otomobil ne zaman satışa sunulacak, (2019). <www.milliyet.com.tr/gundem/togg-acilimi-nedir-yerli-otomobil-fiyati-ozellikleri-adi-nedir-yerli-otomobil-ne-zaman-satisa-sunulacak-6110495>, erişim tarihi: 06.05.2020.
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N. & Hossain, E.** (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. *Energies*, 10(8), 1217.
- Verma, K. & Gupta, A.** (2016, November). A review on switching function of multi level inverter and applications. *2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, Patiala, India.
- Volkswagen Academy**, Basics of electric vehicles design and function [https://vwcamper-site.files.wordpress.com/2015/01/ssp\\_820233-electric-drives\\_2013.pdf](https://vwcamper-site.files.wordpress.com/2015/01/ssp_820233-electric-drives_2013.pdf), erişim tarihi: 06.05.2020.
- Wiechmann, E. P., Aqueveque, P., Burgos, R. & Rodriguez, J.** (2008). On the efficiency of voltage source and current source inverters for high-power drives. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(4), 1771-1782.
- Wu, Z. & Su, G. J.** (2008, November). High-performance permanent magnet machine drive for electric vehicle applications using a current source inverter. *2008 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, Orlando, FL, USA.
- Xiong, R., Cao, J., Yu, Q., He, H. & Sun, F.** (2017). Critical review on the battery state of charge estimation methods for electric vehicles. *IEEE Access*, 6, 1832-1843.
- Xue, X. D., Cheng, K. W. E. & Cheung, N. C.** (2008, December). Selection of electric motor drives for electric vehicles. *2008 Australasian Universities Power Engineering Conference*, Sydney, NSW, Australia.
- Ye, H., Yang, Y. & Emadi, A.** (2012, June). Traction inverters in hybrid electric vehicles. *2012 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Dearborn, MI, USA.
- Yilmaz, M. & Krein, P.** (2012, March). Review of charging power levels and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles and commentary on unidirectional charging. *IEEE International Electrical Vehicle Conference*, South Carolina, USA.
- Yilmaz, M. & Krein, P. T.** (2013). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151-2169.



**Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M. & Mithulananthan, N.** (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.

**Zhang, L., Yuan, X., Wu, X., Shi, C., Zhang, J. & Zhang, Y.** (2018). Performance evaluation of high-power SiC MOSFET modules in comparison to Si IGBT modules. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(2), 1181-1196.

**Zhang, X., Liu, P. & Wang, D.** (2011). The design and implementation of smart battery management system balance technology. *Journal of Convergence Information Technology*, 6(5), 108-116.

**Zhu, M., Yu, K. & Luo, F. L.** (2010). Switched inductor Z-source inverter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25(8), 2150-2158.

*Araştırma makalesi*

## Digital dimension of urban transportation: Transportation 4.0

Hatice Gül Önder<sup>1,\*</sup>, Furkan Akdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Real Estate and Property Management, Academy of Land Registry and Cadastre, Ankara Hacı Bayram Veli University, Ankara, Turkey

<sup>2</sup> General Directorate of EGO, Ankara Metropolitan Municipality, Ankara, Turkey

\*Correspondence: [gul.onder@hbv.edu.tr](mailto:gul.onder@hbv.edu.tr)

**Abstract:** Today, changes occurring in many areas with the effect of industrial developments are frequently seen in the field of transportation. These changes, which are observed especially in urban transportation, emerge as various transportation modes and systems that have gained a different dimension with the developments in information-communication technologies and technological infrastructure. The products of the fourth industrial revolution, such as the internet of things, autonomous vehicles, sensor technologies, cloud storage, artificial intelligence, machine learning, are the most used elements of transportation modes and systems in smart cities under the heading of intelligent transportation. Within the scope of this study, the changes in urban transportation during the industrial revolutions are mentioned. Different modes of intelligent transportation systems that provide many advantages in urban transportation; individual transportation, mass transportation, and freight transportation are examined in terms. In this context, the latest in intelligent transportation literature accessible to the Transportation 4.0 concept is discussed developments in the world and Turkey. The changing dimensions of urban transportation from the past to the present, the transformation of technology, manpower, and today's conditions, and what kinds of opportunities this transformation will offer us in the future are discussed.

**Key words:** Smart city, intelligent transportation systems, industry 4.0, micro-mobility, transportation 4.0

## Kentsel ulaşımın dijital boyutu: Ulaşım 4.0

**Özet:** Günümüzde, endüstriyel gelişmelerin etkisiyle birçok alanda meydana gelen değişimler, ulaştırma alanında da sıkça görülmektedir. Özellikle kentsel ulaşımда gözlenmekte olan bu değişimler, bilgi-iletişim teknolojileri ve teknolojik altyapıdaki gelişmelerle birlikte, farklı bir boyut kazanan çeşitli ulaşım tür ve sistemleri olarak ortaya çıkmaktadır. Nesnelerin interneti, otonom araç teknolojileri, sensor teknolojileri, bulut depolama, yapay zekâ, makine öğrenmesi gibi dördüncü endüstri devriminin ürünleri, ulaşım tür ve sistemlerinin akıllı kentlerde, akıllı ulaşım başlığı altında en fazla kullandığı unsurlar olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, endüstriyel devrimler boyunca kentsel ulaşım alanında meydana gelen değişimlerden bahsedilmektedir. Kentsel ulaşımда birçok avantaj sağlayan farklı akıllı ulaşım sistemleri ve türleri; bireysel ulaşım, toplu taşıma ve yük taşımacılığı boyutlarıyla incelenmektedir. Bu bağlamda, akıllı ulaşım literatürünün erişebildiği en son nokta olan: Ulaşım 4.0 kavramında, Dünyada ve Türkiye'deki gelişmeler ele alınmaktadır. Kentsel ulaşımın geçmişten günümüze değişen boyutları, teknolojinin, insan gücünün, günümüz koşullarının da etkisiyle nasıl bir dönüşüm geçirdiği ve bu dönüşümün gelecekte bizlere ne tür imkânlar sunacağına değinilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Akıllı kent, akıllı ulaşım sistemleri, endüstri 4.0, mikro hareketlilik, ulaşım 4.0

\* Corresponding author. Tel.: +0312 546 1957

E-mail address: [gul.onder@hbv.edu.tr](mailto:gul.onder@hbv.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-4794-6923

Received 3 November; accepted 30 November

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

## 1. Introduction

Technological developments experienced today, as in every field, have also been seen both in the field of modes of transport and systems of it. Recent developments in transportation which is one of the most important areas that have undergone transformation with the emerging of industrial revolutions demonstrate that serious developments related to intelligent transportation systems which are a crucial part of smart cities have been experienced. A great part of these developments involve creating alternative fuel systems to fossil fuels, improving environment-friendly electric motors and hybrid motor technologies, manufacturing autonomous vehicles, integrating smart systems and applications which are directing from individual transport to mass transport into kinds of transport (Heremobility, 2020a). Furthermore, utilizing information-communication technologies, as well as producing systems telecommunicating with each other and with spatial elements, it also includes modes and systems of transport into which many structural features transform. When transport modes are taken into consideration, technological developments grounded in individual transport have been preceding, and after that, developments in mass transport systems and freight transportation have started to be the sine qua non of the 21st century smart cities.

The use of hybrid or electric automobiles called smart, whose samples we often come across in developed countries is still at a very low level (Özbay, Közkurt, Dalcalı, and Tektaş, 2020; Kocabey, 2018). These smart automobiles whose manufacturing capacity is very high in the world not only affect the mobility performance of drivers at a positive level but also intelligent transport systems embedded in these smart vehicles have many economic and environmental benefits and they can also be effective in preventing traffic accidents occurring on road network (Heremobility, 2020b; Taç, 2018).

Although there exists a similar case in mass transport systems, it can be stated that this system is more advanced than the systems used in automobiles and its usage area is more widespread, relatively. Smart technologies that are used especially in rail systems such as

passenger information display system, automated ticket control system, smart management systems, GPS supported systems are beneficial for passengers in terms of time-energy-cost (Sarıkavak, 2018). These smart-systems can have a software infrastructure that can optimize the route information according to user density and can be self-updating through the data stored in a large database. In the study for a subway line in Ankara, developing smart systems called Decision Support System enhancing the efficiency in departure hours in mass transport systems has been recommended. With the support of these systems, the optimization of mobility time based on travel requests and usage levels can be provided during the day (Gençer, Alakaş, Eren, and Hamurcu, 2018). Besides the manufacturing of high tech vehicles, integrating transport infrastructure and web-based applications into this, it is also a necessity to edit an infrastructure where vehicles equipped with the Internet of Things, wireless sensor networks and sensors can communicate among each other and with spatial elements (Koşunalp and Arucu, 2018). Only this way, intelligent transport and the digital dimension of transport can be put forth truly.

While the case is like this in individual transport and mass transport systems, reflections of the digital dimension of transportation under the impact of Industry 4.0 are inevitable for freight transport. In the world, freight transport services that are taking productivity as a basis in transportation and where advanced technologies are used in highway, railway and water transport, and where GPS supported information-communication and communication is provided have been operating (Huang, Blazquez, Huang, Paredes-Belmar, and Latorre-Nuñez, 2019; Li, Soleimani, and Zohal, 2019; Wang, Wang, Peng, Chen, Cai and Xing, 2019). Electric and hybrid freight vehicles, drones, autonomous carrier robots, and autonomous vehicles are the prominent means of transport of urban freight transport in the context of intelligent transport (Heremobility, 2020b). While the realizations are like this in freight transport, for increasing productivity, different studies aiming at determining a productive route of firms which distribute cargo and product have also been done (Özalp and Alp, 2020; Yazgan and Büyükyılmaz, 2018).

It is necessary not to limit intelligent transport and the digital dimension of transport within this scope. When looked at in this context, it will be inevitable for transport modes and systems that are under the impact of Industry 4.0 to get affected by all areas of technology. It is an expected case that especially the digital context of transport modes and systems which are supported by information technology and internet-based applications, programs, and systems will transform in many different sizes. Planning this case in an efficient, effective, and environmentally sensitive context with the proper infrastructure will be more beneficial for the future of cities and countries.

## 2. Material and methodology

This study is based on an analytical evaluation of changes in urban transportation during industrial revolutions. The advantages of today's transportation structure and the vision of possible future transportation are presented. Intelligent transport is the latest point reached by the literature: Transportation 4.0 concepts are discussed developments in the world and Turkey. These developments are the future; It focuses on its examination in the context of individual transportation, mass transportation, and freight transport.

## 3. Theoretical background

The theoretical background of this study is based on the demonstration of the impact of industrial revolutions on different transportation types and systems with examples from national and international literature. It also

covers the theoretical background for the evaluation of smart transportation, which is the most important component of smart cities, including the vision of future transportation in the context of transportation 4.0.

### 3.1. The fourth wave in industry and its effect on transportation systems

The process of the emergence of Industrial Revolutions starts with the systems based on steam power and these systems' becoming increasingly common. The second industrial revolution emerged with the production process in which a specific standardization and serial production of mass production technologies were adopted. In this period, what attracted the most attention in transportation was the production activity model which Ford company developed for the Model T. With the development of electricity, electronics and technology concepts and their becoming widespread in human life, the third industrial revolution can be stated to have started in the form of creating information technology (Lom, Pribyl, and Svitek, 2016). The fourth industrial revolution can be called an automation revolution involving various self-operating urban systems, production activities in which many recyclable and reusable elements, renewable energy sources are used. The fourth industrial revolution today, which we can also define as the fourth version of industrial development is used as Industry 4.0. With industry 4.0 energy and transformation in the used technology level are given in Table 1.

**Table 1.** Transformation lived during industrial revolutions (Recreated from Durmuş, 2019)

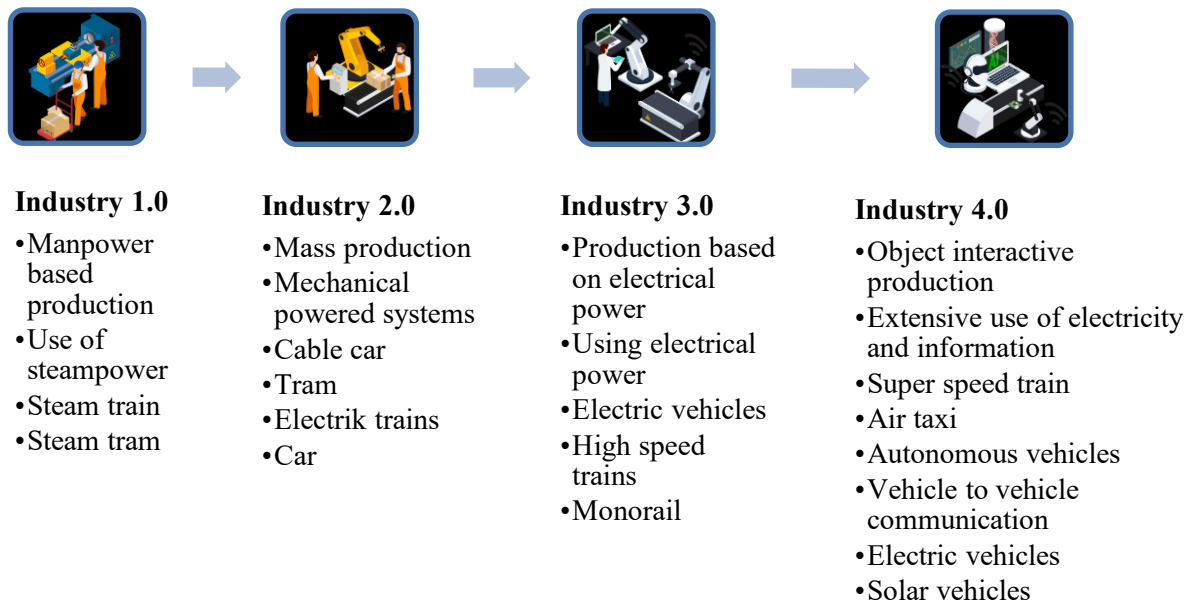
Industrial ages	Date	Source of energy	Technology used
Industry 1.0	1784	Steam and coal	Basic machine and systems
Industry 2.0	1870	Electricity	Technological machine and systems
Industry 3.0	1969	Renewable energy and electricity	Advanced technology augmented reality
Industry 4.0	Now	Renewable energy, electricity, fuel cells	Sensors, autonomous systems, internet of things, artificial intelligence, machine learning, cloud computing systems

The concept of Industry 4.0 was first introduced in the world at the Hannover 2011 Fair under the leadership of the German government. This term has called the attention

of the academic environment and politicians mostly. According to Kagermann (2015), the concept of Industry 4.0 is commented as the transfer of production, knowledge, and present

tendency developed within the scope of a certain automation system. Fundamentally, the origin of the term Industry 4.0 comes from the production-focused strategies of the German government, from the activities in which information-communication technologies are used and from projects given the utmost priority for these activities. In the basic components of this strategy; data infrastructure, development of computer technologies, and connectivity level

exponentially increasing from day to day, and broad-band communication networks working with less energy and power take place (Sung, 2018). The concept of Industry 4.0, as in every field, has distinguished itself in the issues of modes of transportation, transport systems, and technologies, too. Change stages in the transport systems and modes in the axis of the Industrial Revolution can be seen in Figure 1.



**Figure 1.** Industrial revolutions and transformation in transport technologies \*

In the concept of Industry 4.0, in the resource savings of our age, to create benefits such as productivity, the use of renewable energy, providing economic flexibility in production, the infrastructure of information and communication technology has great importance. To get the aforementioned benefits fast and efficiently, the requirement of a developed information and communication infrastructure grid arises. Infrastructure makes it possible to transfer information intersystem, between the system and system elements (Gubán and Kovács, 2017). In the context of Industry 4.0, the required information and communication infrastructure takes up space

and, a grid is created between the system and the users. Cities which have grid being mentioned and advanced information and technology infrastructure stand as “smart city” in the context of Industry 4.0. According to The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), smart cities, with their technology, cause significant changes in the community characteristic. As a result of these changes, the concepts of smart economy, smart mobility, smart environment, the smart society, smart life and smart governance have become current issues (Lom et al, 2016; Grob, 2009)

\* We would like to express our gratitude to the designer Macrovector from [www.freepik.com](http://www.freepik.com)

The reflections of Industry 4.0 are extremely effective over a smart city and its components. In the perspective of Industry 4.0, the prominent components of the smart city are the Internet of Things working with the information-communication infrastructure in the integration of these components with each other and the Internet of services related to this. The content of these services, especially the concepts of intelligent transportation and smart convention are at the forefront. For instance, smart mobility and smart logistics are of these services. The concept of a city to be smart has been handled in the context of efficient use of the sources.

Today, transportation is considered a resource-consuming service with its economic, social, and environmental dimensions. Its economic dimension can be seen clearly with material resource depletion to make investments and to use them and its environmental dimensions can be seen with the use of land where investment will be realized. In the context of Industry 4.0 using the infrastructure of information and communication in the transportation systems created through a network being set up between the user and the system, maximum productive scenario is expected to be put into practice through real-time data.

Transport, energy, power, and services' being smart is because they form the advanced information and communication infrastructure of smart cities. Advanced information and communication infrastructure means Internet of Things, Internet of services, cyber-physical systems, and the infrastructure that will enable from human to human, from human to machine, from machine to machine telecommunication infrastructure (Davies, Coole and Smith, 2017). In other words, smart cities affiliating with Industry 4.0 need an infrastructure of information-communication that can transfer interactions and activities real-time, are advanced in the context of especially transport modes and conveyance systems. Designing and using these systems carefully is important in every transport modes and in terms of every kind of transport system working perfectly in cities. The concept of Industry 4.0, according to must include six principles of design. These are (Schlick et al, 2014);

- Interoperability

- Virtualization
- Decentralization
- Real-time capacity
- Service orientation
- Modularity

These design principles are used in the smart applications of many cities today. For example, real time capacity and service orientation are the most basic principles that will meet us to solve problems faced in transport. Besides the valuation of smart approaches in transport, reducing the traffic congestion, increasing transfer speed, decreasing the cost of the transfer, lessening pollutions such as noise pollution and environmental pollution, and providing security are some of the profits to make. The impact of the ever-increasing world population over resource depletion brings forward the need for the local governments' decision to continue sustainability and to develop rational solutions. Developing attitudes towards transport through rational attitudes will have positive effects on the quality of life (Mezei and Lazányi, 2018). Thanks to interoperability that is used for the communication between things, smart stop applications have been created, transferred to kiosks, and even sometimes they can be conveyed to the user. The principle of real-time capacity, on the other hand, has been used for getting instant information about the occupancy rate in parking lots or determining alternative routes for the routes where traffic congestion has been suffered. For the principle of modularity, transport modes and systems operable with each other in an integrated way and can be integrated into transport systems in case of need can be given as an example Schlick, Stephan, Loskyll, and Lappe, 2014).

Industry 4.0 considers transport systems in smart cities as providing one of the basic services forming the city rather than the carriage of goods and passengers from one point to another in the traditional meaning. Evaluating digitalized world with Industry 4.0, Internet of Things with each other and with surrounding elements, communicating systems included with the help of sensors, intelligent transportation which is a component of smart cities and transportation systems within this context is important in creating the theoretical background in the focus of Transportation 4.0.

### 3.2. Intelligent transportation and transportation 4.0

Smart transportation, transportation systems and elements are the most basic components of a smart city. Definition of smart transportation, briefly, can be stated as the transportation system supported by informatics (IT) and communication technology infrastructure seen as an important building block of Industry 4.0 and structured transportation systems (Kırmızı, Kolağasıoğlu and Çalışkan, 2012). Four main components are affecting the working principle of intelligent transport systems. These components can be given as traffic data collection, data transmission, traffic data analysis, and traveler information (Heremobility, 2020a).

There exist various transport, traffic, and passenger management applications for intelligent transport systems carried out in Turkey and in the world. These implementations are (Heremobility, 2020a; Akıllı Şehir Terminolojisi, 2020; AUSDER, 2019);

- Traffic management systems
- Electronic charging systems
- Passenger information systems
- Smart systems for mass transport
- Smart motorway systems
- Smart parking management and solutions of payment
- Smart steering systems
- Cargo-fleet management systems
- Integrated infrastructure management
- Driver assistance and safety systems
- Commercial vehicle management

Intelligent transportation is the most important component of smart cities and for a city to have an intelligent transportation network, it must update and develop its present infrastructure harmoniously with intelligent transportation components because intelligent transport systems can be developed by adding technological facilities to this infrastructure and can be used more proactively in urban transportation (NEA, 2015). When the possibility of more preference of intelligent transportation modes and systems that are newly being used in Turkey with its infrastructure in future is taken into consideration, an evaluation is needed about how to use its present transport infrastructure

in the fields of individual transportation, mass transportation, and freight transportation.

### 4. The future vision of transportation systems

When taken transportation as a concept, in the most classical sense, it can be stated as the movement of passengers and goods from one point to another at a certain time period. Meeting the need to transport as a result of the movements of passengers and goods with various dimensions and sizes from one point to another leads us to the concepts of individual transport, mass transport, and freight transport. While an important place is left for the driver in today's transport technologies, the location of the driver in the transport chain has been re handled in the framework of transport technologies due to various reasons and traditional parameters forming transportation have been reformed. Another traditional point of view formed over the concept of transportation arises from the relationship between transport and land-use. The relationship between transport and land-use is weakening as a result of the reflection of technological developments over means of transport. In the context of transportation, the addition of land-use built over the short distance between home and workplace will leave its place for new functions; a paradigm shift being experienced over urban space (Erdoğan, 2019).

New technologies inevitably impact transport modes and systems. Within this context, driverless vehicles are expected to become the greatest actors of the future. In urban transport, the use of autonomously driving vehicles will take place as an important element to solve traffic congestion, too. Moreover, mass transport companies' leaving out the drivers from the system which is equivalent to 70 % of the cost of operating the business will be beneficial with regards to reducing the cost. If a development which is seeking profit and benefit-driven is supplied, it will be inescapable for transport systems to transform into a structure where there is individual transport-oriented hustle and bustle in the forefront realized by automobile just like in the past. It will reveal itself as electrical, hybrid, solar-powered mass transport vehicles. The use of drones and air taxis for urban freight carriage is on the agenda as well as mass transport

(Boyle, 2015). Furthermore, a transportation system in which new generation autonomous vehicles are used, regulations of a smart junction, road sensors, audio-visual warning signs, web-based systems, GPS assisted hybrid and electric vehicles communicating with the satellite and with each other, road assistants, and components offering a safe and comfortable transport to drivers and passengers constitute the basic building stones in intelligent transportation (Ulukavak and Önder, 2019).

Recently, it is a predominant probability that autonomous vehicles and air taxis will get ahead of traditional mass transport systems. This case gives a clue in how the future of transport systems will be affected by intelligent transport and how the concept of transport 4.0 will take form in the future. In the content of the components of intelligent transportation, to create effective and life-quality offering transport systems for metropolitan areas, four principles will be at the forefront. According to these principles (Watkins, 2018);

- 1) If transportation is an urban benefit, mobility is a service.
- 2) Private spatial areas must be constituted for traditional mass transport vehicles.
- 3) Primarily, customer satisfaction and service being offered must be at the forefront, technology must follow just after them.
- 4) Real-time information systems which are oriented for means of transport must be popularized.

While intelligent transportation runs within the frame of these principles, green and intelligent mobility are prioritized in the process lying behind transportation 4.0. When viewed from this aspect, green and intelligent mobility is related to autonomous robots, system integration, the Internet of Things, cyber security, cloud computing, artificial intelligence, machine learning, and big data. In terms of the service offered, mobility interacts with many services to provide the user with optimum supply. This case is realized through data collection, data exchange, and data analysis. Journey time, the purpose of travel, type of travel, data on daily mobility are registered in a big database, are merged, classified, analyzed, used and shared among the actors of the system (NEA, 2015). This big

data is used, through the Internet of Things, in new services in transport and transportation area, in micro-mobility in the area of individual mobility, in the autonomous drive, in the distant coordinated drive, in drones, in the driverless smart mass transport systems and smart logistics extensively.

With the developing technologies; primarily the internet, information and communication infrastructure and the safety of infrastructure will be in a much more important position in the area of transportation in future and it will be a new component which constitutes city space where people's daily routine continue. Nevertheless, the use of new infrastructure requires people's being talented as to provide information transfer and vehicle handling to be able to use this talent. Therefore, the need to define information and communication infrastructure which is one of the important elements constituting Industry 4.0 with a new structure of society taking place in the synthesis of physical and virtual environment rises. Information and communication have a great importance in Industry 4.0. However, just like the industrial structure, the dynamics of the society have been improving and transforming.

The factor defining the change in the fluctuations of the industry has been stated to arise from production styles (Ślusarczyk, 2018). In the waves of social change, the factor defining change is the socio-economic component which provides the sustainability of society. Stated as passing on from hunting-foraging to agriculture, from agriculture to industrial activities, from industry to information sector, from information to human-centric society, society 5.0, stated as the last step of this structure is the production infrastructure of Industry 4.0 and urban users of its components (Japan Cabinet Office, 2020).

Super smart society called Society 5.0 which can keep up with the things Industry 4.0 brings will develop intelligent transport systems optimizing energy value chain to speed up the coordination competence in multi-systems and recover the competition as new main systems (Durmuş, 2019). In the future, super-smart society and individuals who are handled in Society 5.0 context, who will be able to use intelligent transport vehicles, do maintenance and will realize operating transport systems



will be needed. For this reason, the need for design experts, operators and maintenance-repair experts who can coordinate intelligence-machine well are submitting know-how combining current affairs with occupational experience, qualified, improving himself continuously, will increase day by day. According to Durmuş (2019), if we integrate IT (informatics) infrastructure which is necessary to reach Society 5.0 into Transportation 4.0, by submitting the components cyber-security, big data, internet of things, artificial intelligence, hardware technology, web technology, robotic technology, sensor technology, material and nanotechnology in a developed framework of the system, all components of Transport 4.0 can be used appropriately.

The concept of Transportation 4.0 can be expressed as Akdemir and Önder state (2020) “With the help of information and communication technologies, using the achieved information efficiently, the change of place of passengers and freight between the functions of field usage as far as transport technology and capacity permit.” Taking the concept of Transportation 4.0 as individual transportation, mass transportation and freight transportation in urban transportation in a general framework will be beneficial for determining in which content intelligent transportation will take place today and in the future.

#### 4.1. Individual transportation

People who live in urban areas have to choose from various modes of transport in movement between locations and determine a transport pattern for this. Depending on people’s demand for travel to the destination they would like to reach in the time period they wish, the most flexible modes of transportation used today are individual transportation modes such as bicycle, motorcycle, and automobile. Individual transportation modes offer more freedom of mobility within the context of time and space when compared to mass transportation systems. The automobile which is the fastest kind of individual transportation formed by the driver according to his desire is an important mode of flexibility in terms of time and route variables. The problem of supplying fossil fuel sources in terms of fuel the automobile consumes and triggering more problems in the future directly research producing automobile types that can

run on new energy sources. This case necessitates the adoption and development of a green and smart mobility approach in individual transportation.

Recent developments about individual transportation today are for making automobile travel easy. Navigation systems integrated into vehicles, lane-keeping systems, parking sensors, systems specifying automatic maintenance period are gradually becoming widespread. Due to the possibility of people’s making more mistakes and causing accidents compared to computer technologies and in order to make more qualified automobile journeys, lastly, driverless automobiles’ getting widespread is remarkable (Nasır and Özçelik, 2017; Gökaşar and Dündar, 2018). According to Yetim (2016), three types of driverless automobiles can be mentioned. The first one of these is the realization of the drive with the support of technology, the second type is the vehicle intervention whenever desired and the third type is which is possible to drive without a driver with the support of software and hardware on a route settled before. According to Soylu (2018), driverless automobiles appear predominantly as the matter on the agenda of automobile improvers. Many studies state that 10 % of the American traffic system will consist of these vehicles in the near future.

In the context of transportation, sensor technologies’ in vehicles, mobile systems’ and equipment’s becoming widespread in urban areas have a great impact on constituting optimized routes. In addition to this, information flow on subjects like traffic congestion, street lighting, and empty parking lot areas for automobiles will be greatly beneficial for drivers. Larger scaled benefits have importance in terms of autonomous drive and the prevention of traffic accidents. Making various gains in such topics through inter-machine communication is in harmony with the conceptual framework of Industry 4.0. Route optimization and navigation; It is at the focal point of various smart applications such as parking, light, accident detection, road anomaly, and infrastructure developed with the automobile in mind (Zantalis, Koulouras, Karabetsos, and, Kandris, 2019).

Today, there exist some individual mobility trends in which the concept of Transportation 4.0 is much-mentioned. The first of these is

smart mobility. Smart mobility is a trend developed based on how people and loads move in cities, from the perspective of zero emissions, zero accidents, and zero ownership (Neckermann, 2017). There are five basic principles of smart mobility. These are flexibility, efficiency, integration, clean technology and safety. These five benefits have a great impact on the protection of the environment and energy in individual transportation, as well as in ensuring efficiency and safety in transportation. (Frost & Sullivan (n.d.); Siemens, 2018; Urban mobility, 2018).

The most important part of the smart mobility trend is the micro-mobility action that is environment-friendly and which we can also call a new generation mode of transport and infrastructure in which positive feedback is received in terms of time, space, cost, environment, and human resource in individual mobility. Micro-mobility, according to its pioneer Horace Dediu (2019) has fundamentally only one objective and that is to make human who is the most micro-element of transportation move. In this sense, micro-mobility can be realized through bicycle, skateboard, roller skate, e-scooter, and even though a golf cart. E-scooter organizations like Marti, MOBI, Hop!, Etku, Palm, BinBin, with their recording medium created on assisted platforms providing internet-mobile have become a mode of transport which the young generation use actively. This new mode of transportation can be used in an integrated way into campuses, airports, shopping malls, mass transportation stations and it is less costly and takes up less space as an alternative to traditional automobile journeys.

#### 4.2. Mass transportation

Mass transportation is called as transportation systems which have the most fundamental structure, business, and business design principles in today's cities. The definition of mass transportation has been expressed as transportation service provided during intercity and an inter-zone trip for a prescribed fare (Owczarzak and Żak, 2015). Mass transportation is the system that more than one person uses jointly. Recently, the transportation industry has concentrated on two issues. The first one of these is transportation firms where mass transportation has been developed suitably for our present conditions and the

second issue is autonomous vehicles where the driver isn't required. Driverless vehicles are considered to be outstanding in the future and mass transportation is thought to regain meaning with this new perspective (Watkins, 2018). Mass transportation systems have been reaping the benefits of the fourth Industrial Revolution with the help of technology. Mobile phone technologies and improvements of real-time vehicle tracking systems are examples of the most widespread infrastructure and technology. Passengers can reach information about the system to meet the demand for transportation through mobile phone applications. Transport systems provided through vehicles such as bus, trolleybus, tram, suburban train, ferryboat, and underground used widely in urban areas has become an important part of urban life addiction. The importance of smart mass transportation approaches is great with the impact of today's technology and smart city components in the quality of travel and travel satisfaction (Sutar, Koul, and Suryavanshi, 2016). One of the most important focuses on the management of smart mass transportation is optimization in transport. Self-driving new autonomous vehicles, thanks to nonrestrictive flexible working hours, will provide ease of use with higher efficiency and capacity (Durmuş, 2019). Mass transportation formed via an intelligent transportation network owns mass transportation management systems in which line and route optimization is realized. Mass transportation management system provides users demanding transportation related to a route information system and vehicle headway with real-time information flow; while giving information about accidents on one hand, it also conveys information about the danger on the pathway and the current situation, on the other hand (Akdemir and Önder, 2020).

According to a study in Konya, various results have been reached with the integration of the principle of intelligence in transportation into mass transportation. In the light of the study, users who benefit from transportation services can learn lines or routes of units constituting mass transportation systems, time of expeditions, estimated time of interaction of mass transportation vehicles with the stop, expedition headways, and the closest station to them. The basic reason for successfully operating of this system is shown as its internet-

aided real-time transportation infrastructure (Bilici and Babahanoğlu, 2018).

Mass transportation in intelligent transportation system emphasizes offering transportation system equipped with a trustworthy communication system of the top infrastructure of a smart city. When the target of enhancing the life quality of the smart city is taken into consideration, intelligent transportation infrastructure-especially in the content of mass transportation-is seen as a means to solve the transportation problems of the city. In a study in India, mass transportation system which is an important component of an intelligent transportation system has been brought into a position offering a higher quality service through smart applications. Among the aspects improved through smart applications, smart ticketing implementation, automated fare collection system, bus rapid transit systems, bus routes and stops integrated with smart GPS systems take place. Increasing mobility and road capacity in the infrastructure of mass transportation of the city via these applications, it is emphasized that benefit is obtained for individual transportation. Reducing the operating costs emerged in ticketing and receiving more productive results in terms of the management of route demand is emphasized. In addition to this, it is emphasized that in time-saving with the real-time database, working coordinately with GPS data, important efficiencies have been recorded in terms of both the system and the user (Vakula and Raviteja, 2017).

Mass transportation is one of the main components of transportation. However, not using reality-based data cause unwanted situations such as delays and traffic congestion. As a result of this situation, the management of the mass transportation system is affected negatively. Passengers, on the other hand, have difficulty in making travel plans (Sun, White, and Dubey, 2016). From this perspective, in the transportation system, tackling smart applications with the content of mass transportation is seen to be important.

When a great number of examples given above are taken into consideration, in the context of Transportation 4.0, mass transportation has been a crucial resource of savings economically, physically, and environmentally. The time of passenger having an economic

return for the country, taking less physical space thanks to driving less number of cars through mass transportation, giving less harm to environmental aspects having structural features as producing less emission and being environment-friendly can be given as examples to these savings.

### **4.3. Freight transportation**

In the transportation system, the concept of logistics which can be emphasized as the organizational structure of freightage is naturally intertwined with production habits of socio-economic routines of people. In the content of the transfer of the production from one point to another, just like in Industry 4.0, reflections of different technologies are effective from time to time. While freight is carried by steamboat and train in the period which can be called as Logistics 1.0; in the period called Logistics 2.0, electric power and mass production are seen as main driving forces of the logistics sector. In the continuation of the process, making use of the information system for the running of the logistics system meets us as Logistics 3.0. After this period, in the supply chain, an artificial network formed as a result of the Internet of Things, and the decisions of people can be expressed as the fundamental building block of Logistics 4.0 construction (Wang, 2016).

As the concepts of smart mobility and smart economy which are components of the smart city impact the production and consumption activities of the fourth industrial revolution, a reinterpretation of these concepts is inevitable in the context of developing technologies and in the context of urban freight carriage. Technologies cause the emergence of new strategies and developments in urban areas. It is of crucial importance to handle the impact of autonomous systems which are an important element of smart systems' overproduction and consumption in the area of freight carriage, that is in the area of logistics.

The term logistics meeting us in the freight carriage of transportation emphasizes the connected synthesis of intelligent transportation infrastructure with logistics infrastructure. In consequence of this synthesis, in the title of smart service in logistics arises the concept of smart logistics. Smart logistics, as a logistics system, meets us as a self-optimizing system according to market needs which show

flexibility in the content of personal needs and developing directly in a consumer demand-focused way. The internet in the paradigm handled in the content of Industry 4.0 of the concept logistics is the basic infrastructure providing information communication between machines and consumers, that is to say people. The technological framework of this infrastructure leads to basic changes in the notion of logistics. Applications coming with technology develop the concept of logistics in terms of resource planning, management of storage enterprise, management of transportation enterprise, intelligent transportation systems, and information security (Barreto, Amaral, and Pereira, 2017).

Industrial production and the capacity of logistics change according to consumer demand. Today's production and consumption conjuncture is more individual product-oriented manufacturing and aims at minimum cost logistically. Although productive and logistic activities have reached maturity recently; widespread use of online shopping and internet-based transfer, and the emergence of a new consumer demand lead to the transformation of logistic systems through digitalization. To comprehend today's global logistic system, production variables and various freight hauling methods are seen to arise. It is still a controversial topic if present logistic systems will keep up with the systems like manufacturing individual products of the future or not. The future of the concept of Logistics is seen as Logistics 4.0 is a part of Industry 4.0 in some studies (Winkelhaus and Grosse, 2019). According to Timm and Lorig (2015), the definition of Logistics 4.0 is the migration of hardware oriented logistics to hardware-oriented. In Winkelhaus and Grosse's opinion (2019), Logistics 4.0 is the whole of systems meeting the demands of private customers sustainably and while doing this not increasing the costs, and supporting this development with production and commercial digital technologies. Logistics 4.0 infrastructure of smart cities of the future which is advancing in the light of Industry 4.0, with the meaning of transportation 4.0, should have the systems fulfilling the duties such as transportation management, storage management, inventory management, packaging and classification management, information management,

transportation, warehousing, demand analysis, packaging, etc.

Web-based and information technology-based infrastructures which are important elements of Logistics 4.0, under the impact of the Fourth Industrial Revolution, motivate the development of e-commerce activities and at the same time the e-commerce constituent of logistics. China where individual commercial activities that have an impact on a global scale are realized states that cross-border e-commerce logistic activities grow rapidly, and the number of people online doing cross-border shopping from China rose to 35.6 million in 2018. Moreover, e-commerce logistic parks in Hong Kong where products are stored physically emerged as an element contributing to global trade. This construction called virtual e-commerce logistic parks has been named as the virtual initiative of more than one firm at the same quality to create a corporation using shared resources to adapt to the market. These virtual parks, with physical web support; have been planned to realize transferring containers used in freight haul easily integrating road transportation, railroad transportation, water transport, and airline transport into each other, and realize rapid, fruitful, and safe transportation. The physical web which is an important concept for the sector of logistics playing an active role especially during the period of planning intelligent transportation is considered to make freight haulage easy (Kong, Zhong, Zhao, Shao, Li, Lin, and, Huang, 2020).

## **5. Result and discussion**

Today, one of the areas technology serves, mostly formed in line with human demand in the light of the developments the new industrial age brings, is transportation. While meeting the need for transportation, the realization of transportation in the shortest time, with the least cost, and the most efficiently during the history of transportation which may have started with the invention of the wheel has become one of the most laborious issues.

What matters is the embeddedness of city and transportation and the effect of changes in transportation over the city and town-dweller. It has been inevitable that the increase of automobile use converted singular city centers into the multi sub-central structure. It is evident that transportation modes using steam engine play an important role in constituting global

cities and in the development of commerce. The impact of bullet trains running on electrical energy and having an advanced technology on forming urban areas, satellite towns and urban form which is getting widespread with each passing day shows us that transportation and transport technologies are driving forces in terms of urbanization. Furthermore, the latest developments in transportation and communication, autonomous vehicles, learning machines, systems communicating each other through the Internet of Things, mass transportation systems doing momentary route determination by self-optimizing through data provided from big database display the digital dimension of transportation.

In the age we live in, web-based correspondence and developments experienced in communication technologies produce different effects in urban transportation. In the future, under the impact of internet and correspondence technologies, spaces used widely can be converted into a small logistic center. On the other hand, the direct transfer of the demand of haul-transportation to production plants online may cause the exclusion of many links in the chain from production to consumption. Although shopping malls affect local craftsmen negatively, the existence of the negative effects of e-commerce services over malls will be a question of debate in near future.

As can be seen, the digitalization of transportation modes and systems will create an effect in every field of transportation. In this context, providing a good sense of management who can use digitalization in transportation well and able to bring it into the use of future generations, restructuring the present infrastructure in a smart and digital transportation-oriented way and planning it as to keep up with the times all have importance.

## References

- Akdemir, F. and Önder, H. G.** (2020). Endüstri 4.0'dan Toplum 5.0'a Güncel Yaklaşımlar içinde *Endüstri 4.0'ın Etkisindeki Akıllı Kentin arazi Kullanım ve Ulaşım Paradigmaları* (Ed. S. Çiğdem ve A. Boztaş). Nobel Yayınevi.
- AUSDER-Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneği**, Retrieved from <http://www.ausder.org.tr/>, erişim tarihi 05.10.2020.
- Barreto, L., Amaral, A. and Pereira, T.** (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- Bilici, Z. and Babahanoğlu, V.** (2018). Akıllı Kent Uygulamaları ve Konya Örneği. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 9(2), 124-139.
- Boyle, D.** (2018). The future of transit. *Journal of Public Transportation*, 21(1), 1.
- Davies, R., Coole, T. and Smith, A.** (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 1288-1295.
- Dediu, H.** (2019). The Micromobility Definition, Retrieved from <https://micromobility.io/blog/2019/2/23/the-micromobility-definition/>, erişim tarihi 08.10.2020.
- Durmuş, A.** (2019). *Endüstri 4.0 Eğitim 4.0 Liderlik 4.0 Toplum 5.0*, İstanbul: Efe Akademi Yayınları.
- Erdoğan, G.** (2019). Land selection criteria for lights out factory districts during the industry 4.0 process. *Journal of Urban Management*, 8(3), 377-385.
- Frost & Sullivan. (n.d.)**. Future of Mobility. <https://ww2.frost.com/research/visionary-innovation/mega-trends/future-mobility/>, erişim tarihi: 29.11.2020.
- Gencer, M, Alakaş, H, Eren, T, and Hamurcu, M.** (2018). Ankara Metrosu M1 Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi: Bir Karar Destek Sistemi Uygulaması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (2), 108-128. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/39569/469380>, erişim tarihi: 10.10.2020.
- Grob, G. R.** (2009). Future transportation with smart grids & sustainable energy. In *2009 6th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices*, 1-5.
- Göktaşar, I. and DüNDAR, S.** (2018). Sürücüsüz taşıtların trafik akım hızına etkisinin yapay sinir ağları ile incelenmesi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 56-71.
- Gubán, M. and Kovács, G.** (2017). Industry 4.0 Conception, *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 10(1), 111.

**Huang, Y. H., Blazquez, C. A., Huang, S. H., Paredes-Belmar, G. and Latorre-Nuñez, G.** (2019). Solving the Feeder Vehicle Routing Problem using ant colony optimization. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 520-535. doi:10.1016/j.cie.2018.10.037

**Kagermann, H.** (2015). *Change through digitization-Value creation in the age of Industry 4.0*. In Management of permanent change, Springer Gabler, Wiesbaden, 23-45.

**Kırmızı Z., Kolağasıoğlu M.Ş. and Çalışkan F.T.,** (2012). *Kentiçi Ulaşım Terimleri Sözlüğü*, İstanbul: Cinius Yayınları.

**Kocabay, S.** (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü ve Geleceği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (1), 16-23. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/35759/396912>, erişim tarihi: 10.10.2020.

**Kong, X. T., Zhong, R. Y., Zhao, Z., Shao, S., Li, M., Lin, P. and Huang, G. Q.** (2020). Cyber physical ecommerce logistics system: An implementation case in Hong Kong. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106170.

**Koşunalp, S. and Arucu, M.** (2018). Nesnelerin interneti ve akıllı ulaşım. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (1), 1-7. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/35759/393470>, erişim tarihi: 10.10.2020.

**Japan Cabinet Office,** [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html), erişim tarihi: 10.10.2020.

**Li, Y., Soleimani, H. and Zohal, M.** (2019). An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. *Journal of cleaner production*, 227, 1161-1172. doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.185

**Lom, M., Pribyl, O. and Svitek, M.** (2016, May). Industry 4.0 as a part of smart cities. *In 2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, 1-6.

**Mezei, J. I. and Lazányi, K.** (2018). Are We Ready for Smart Transport? Analysis of Attitude Towards Public Transport in Budapest. *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*, 16(3-A), 369-375.

**Heremobility,** (2020a). *İntelligent transport Systems: An Intro,*

<https://mobility.here.com/learn/smart-transportation/smart-transport-systems-intro>, erişim tarihi: 13.10.2020.

**Heremobility,** (2020b). *An Introduction to Smart Transport,* <https://mobility.here.com/learn/smart-transportation/introduction-smart-transport>, erişim tarihi: 13.10.2020.

**Nasır, S and Özçelik, S.** (2017). Sürücüsüz araçlara yönelik tüketici tutumları. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 4 (12), 590-603. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/asead/issue/52678/694436>

**NEA-Netherlands Enterprice Agency** (2015). *Who Needs Cars Anyway? Green and Smart Mobility in Turkey; A Study on The Situation on and Possibilities for Green and Smart Mobility in Turkey.* <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/08/Who-need-cars-anyway.pdf>, erişim Tarihi 19.12.2019

**Neckermann, L.** (2017). *Smart Cities, Smart Mobility: Transforming the Way We Live and Work.* Troubador Publishing Ltd.

**Owczarzak, Ł. and Żak, J.** (2015). Design of passenger public transportation solutions based on autonomous vehicles and their multiple criteria comparison with traditional forms of passenger transportation. *Transportation Research Procedia*, 10, 472-482.

**Özalp, M. and Alp, S.** (2020). Uygun Dağıtım Rotası Belirlenmesi Probleminde Hibrit Sezgisel Bir Yöntem Önerisi: Bir Kargo Firması Örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3 (1), 59-70. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/53369/715526>, erişim tarihi: 10.10.2020.

**Özbay, H. , Közkurt, C., Dalcı, A. and Tektaş, M.** (2020). Geleceğin Ulaşım Tercihi: Elektrikli Araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/53369/712337>, erişim tarihi: 10.10.2020.

**Sarıkavak, Y.** (2018). Demiryolu endüstrisinde akıllı ulaştırma sistemleri ve Türkiye'deki uygulama örnekleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (2), 22-32. Retrieved

from

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/39569/455153>, erişim tarihi: 10.10.2020.

**Schlick, J., Stephan, P., Loskyll, M. and Lappe, D.** (2016). Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. Handbuch Industrie 4.0: Produktion, *Automatisierung und Logistik*, 1-27.

**Siemens**, (2018). Smart Mobility, <https://www.mobility.siemens.com/sg/en.html>, erişim tarihi:12.09.2020

**Sun, F., Pan, Y., White, J. and Dubey, A.** (2016). Real-time and predictive analytics for smart public transportation decision support system. In *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, 1-8.

**Sung, T. K.** (2018). Industry 4.0: a Korea perspective. *Technological forecasting and social change*, 132, 40-45.

**Soylu, A.** (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (32), 43-57.

**Sutar, S. H., Koul, R. and Suryavanshi, R.** (2016). Integration of Smart Phone and IOT for development of smart public transportation system. In *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, 73-78.

**Ślusarczyk, B.** (2018). Industry 4.0: Are we ready?. *Polish Journal of Management Studies*, 17.

**Taç, Ş.** (2018). Karayolu ulaşımında meydana gelen trafik kazalarının önlenmesinde akıllı ulaşım sistemlerinin etkisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (2) , 12-21. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/39569/462855>, Erişim tarihi: 10.10.2020.

**T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, (2020). 2020 Akıllı Şehir Terminolojisi, 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı.

**Timm I.J. and Lorig F.** (2015). Logistics 4.0 – a challenge for simulation, *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*. L. Yılmaz, W.K.V. Chan, I. Moon, T.M.K. Roeder, C. Macal and M. D. Rossetti, (eds.). Huntington Beach, California, USA. 3118-3119, doi:10.1109/WSC.2015.7408428.

**Ulukavak M. and Önder. H.G** (2019). Kent Tartışmaları ve Yeni Yaklaşımla içinde *Akıllı*

*Kent*. (Ed. Özcan Sezer, Ahmet Kayan). Ankara: Orion Kitabevi.

**Vakula, D. and Raviteja, B.** (2017, December). Smart public transport for smart cities. In *2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)* (pp. 805-810). IEEE.

**Urban Mobility** (2018) <https://urbanmobilitycompany.com/content/daily/what-is-smart-mobility>, erişim tarihi:29.11.2020.

**Winkelhaus, S. and Grosse, E.H.** (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43.

**Wang, K.** (2016, November). Logistics 4.0 Solution-New Challenges and Opportunities. In *6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*. Atlantis Press.

**Wang, Y., Wang L., Peng, Z., Chen, G., Cai, Z. and Xing, L.** (2019). A Multi Ant System based hybrid heuristic algorithm for Vehicle Routing Problem with Service Time Customization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 50, 100563. doi:10.1016/j.swevo.2019.100563

**Watkins, K.** (2018). Does the Future of Mobility Depend on Public Transportation?. *Journal of Public Transportation*, 21(1), 6.

**Yazgan, H.R. and Büyükyılmaz, R.G.** (2018). Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemine sezgisel bir çözüm yaklaşımı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 436-449.

**Yetim, S.** (2016). Sürücüsüz Araçlar ve Getirdiği/Getireceği Hukuki Sorunlar. *Ankara Barosu Dergileri*, 74(1), 125-184

**Zantalis, F., Koulouras, G., Karabetsos, S. and Kandris, D.** (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. *Future Internet*, 11(4), 94.

*Araştırma makalesi*

## **Elektrikli bisikletle paylaşımlı hareketlilik: Balıkesir Üniversitesi Kampüsü örneği**

Suat Onur<sup>1,\*</sup>, Serhat Berat Efe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Enformatics, Balıkesir University, Balıkesir, Turkey

<sup>2</sup> Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

\*Correspondence: [suatonur@balikesir.edu.tr](mailto:suatonur@balikesir.edu.tr)

**Özet:** Şehir içi ve kampüs alanlarında alternatif bir ulaşım yöntemi olarak tercih edilen bisiklet kullanımı, bisiklet paylaşım sistemlerinin oluşturulması ile özellikle son on yıl içerisinde hızla yaygınlaşmıştır. Bisiklet paylaşım sistemlerinin sağladığı kolaylık ve esneklikler ile istenildiği zaman ulaşımın özgürce sağlanabilmesi, kullanıcıların kendi özel bisikletlerini ya da toplu taşıma yöntemlerini kullanmak yerine bu sistemleri tercih etmelerini sağlamıştır. Şehirlerde olduğu gibi üniversite kampüsleri de zamanla büyümekte, dolayısıyla ulaşım problemleri de artmaktadır. Söz konusu probleme bir çözüm getirmek hedefiyle, bu çalışmada, kampüs içi öğrenci ve personel ulaşım hareketliliğine kolaylık sağlayacak elektrik bisiklet paylaşım sistemi önerilmiştir. Paylaşımlı hareketlilik öğelerinin kullanıldığı bu sistemde ayrıca, kullanılacak olan elektrikli bisikletlerin şarj ihtiyaçlarını fotovoltaiik sistemle karşılamak için bir şarj istasyon tasarımı yapılmıştır. Çalışma kapsamında standartlara göre kullanıma sunulacak elektrikli bisiklet sayısı belirlenmiş, daha sonra ihtiyaç duyulan enerjinin sağlanması için gerekli olan fotovoltaiik panel sayısı ile batarya sayısı hesaplanmıştır. Bu sistemin önemli avantajlarından biri de fotovoltaiik panellerde üretilen ihtiyaç fazlası olan enerjinin şebekeye aktarılabilmesi ve bu sayede katma değer sağlanabilecek olmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Bisiklet paylaşım sistemleri, elektrikli bisiklet, şarj istasyonu, fotovoltaiik sistem

### **Shared mobility with electric bicycles: Balıkesir University Campus example**

**Abstract:** Bicycle use, which is preferred as an alternative transportation method in the city and campus areas, has become widespread especially in the last decade with the establishment of bicycle sharing systems. With the convenience and flexibility provided by bicycle sharing systems, the freedom of transportation when desired has enabled users to prefer these systems instead of using their own private bicycles or public transportation methods. As in cities, university campuses grow over time, so transportation problems are also increasing. In order to find a solution to the problem in question, in this study, an electric bicycle sharing system that will facilitate transportation mobility of students and staff on campus is proposed. In this system, in which shared mobility elements are used, a charging station has been designed to meet the charging needs of the electric bicycles to be used with a photovoltaic system. Within the scope of the study, the number of electric bicycles to be put into use according to the standards was determined, then the number of photovoltaic panels and the number of batteries required to provide the required energy were calculated. One of the important advantages of this system is that the surplus energy produced in photovoltaic panels can be transferred to the grid, thus providing added value.

**Key words:** Bicycle sharing systems, electric bicycle, charging station, photovoltaic system



## 1. Giriş

Bisiklet ve elektrikli bisikletlerin kullanımı toplu ulaşım sistemlerini kullanmak istemeyen, trafik ve park sorunu yaşayan kişiler için alternatif bir taşımacılık yöntemi olmakla birlikte, toplum çevre ve sağlık açısından diğer ulaşım yöntemlerine göre çeşitli avantajlar sunmakta ve son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte giderek yaygınlaşmaktadır (Dokuz, 2020; Eren ve Uz, 2019). Bisikletler çevre dostu ve motorsuz ulaşım aracı olduğu ve herhangi bir fosil yakıt kullanılmadığı için egzoz emisyon değerinin olmaması ile doğayı kirletmemektedir. Diğer ulaşım türlerine göre gürültü ve hava kirliliği de oluşturmamaktadır. Şehir içinde araçlardan daha az yer kapladığı için trafik ve park sorunu oluşturmamaktadır. Küçük ve dar yollardan ulaşım sağlanabildiğinden, toplu ulaşım araçlarından farklı olarak herhangi bir zaman tarifesi ve güzergâha bağlı olmadığından hızlı bir ulaşım aracı olarak da değerlendirilmektedir. Ancak topoğrafik yapı ve coğrafi şartların uygun olmadığı, yol güvenliğinin olmadığı durumlarda, iklim koşullarının sert olduğu rüzgârlı, sıcak ve yağışlı hava şartlarında bisiklet kullanımı tercih edilmemektedir (Elbeyli, 2012; Ulvi, 2019).

Plaka, ehliyet, kask veya sigorta gerektirmeyen bisikletler, sürücüler için sağlıklı ve çevre dostu bir araçla seyahat etmeyi sağladığı gibi başka hiçbir taşıma türünün sunmadığı bir seçim özgürlüğü de sunmaktadır. Ancak mesafeye ve yol şartlarına bağlı olarak pedal çevirmek yorucu ve zor olmaktadır. Uzun mesafeler, eğimli, engebeli koşullar, varış noktasına terli ve yorgun ulaşılması, aşırı sıcak ya da soğuğa maruz kalınması ve çeşitli sağlık problemleri gibi faktörler elektrikli bisiklet kullanmayı zorunlu hale getirmektedir (Ioakimidis ve diğ., 2016; Woolsgrove, 2020).

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü için bir elektrikli bisiklet paylaşım sistemi (EBPS) planlanmıştır. EBPS'nin sürdürülebilirliğin sağlanması ve maliyetlerin düşürülmesi için kampüs içerisinde çeşitli konumlarda kurulması düşünülen, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanıldığı fotovoltaik (FV) panel ve batarya sistemine ait bileşenlerin hesaplamaları yapılmıştır. Makalede giriş bölümünün ardından bisiklet paylaşım sistemleri ile ilgili

bilgiler sunulmuş, çalışma alanı olan Balıkesir Üniversitesi Kampüs alanı ve özellikleri verilmiş, sistemde kullanılması planlanan pedal destekli elektrikli bisiklete ait teknik özellikler belirtilmiş, elektrikli bisiklet şarj istasyonu tasarımı ile ilgili detaylar ve hesaplamalar anlatılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Bisiklet paylaşım sistemleri

Bisiklet paylaşım sistemleri (BPS), dünya çapında hızla büyüyen ulaşım tiplerinden biri haline gelmiş ve özellikle Çin'de bu büyüme oldukça fazla gerçekleşmiştir. Bu büyüme de özellikle elektrikli bisikletlerin kullanım oranının fazlalığı dikkat çekici olmuştur. Bunun nedenleri araştırıldığında, yolculuk mesafesinin uzunluğu, arazi ve kötü hava şartları ile güvenlik gibi faktörlerin etkili olduğu gözlenmiştir. Ancak elektrikli bisikletlerin alım ve bakım maliyetlerinin fazla olması kullanıcıları EBPS'nin rahatlık ve esnekliğini tercih etmelerinde etkili olmuş ve EBPS son zamanlarda hızla yaygınlaşmaya başlamıştır (Chen ve diğ., 2020).

Çeşitli ulaşım modellerinden biri olan BPS ve EBPS ile ilgili pek çok konuda çalışmalar yapılmıştır. Eren ve Uz, BPS'lerin verimliliğini artırmak için rehber olabilecek çalışmalarında bisiklet paylaşım talebini etkileyen faktörleri incelemiş ve değerlendirmişlerdir (Eren ve Uz, 2019). Sezen ve Erben, Gebze Teknik Üniversitesi kampüsünde öğrenci ve personel tarafından kullanılan bisikletlerin planlamadan kaynaklanan problemlerine çözüm önermek için, kullanılacak istasyon sayısı ve yerlerinin belirlenmesinde Gams optimizasyon yöntemini kullanmışlardır (Sezen ve Erben, 2019). Langford, Tennessee Üniversite kampüsü içindeki bisiklet paylaşım sisteminde bisikletler ile elektrikli bisikletleri karşılaştırarak, kullanıcı tercihlerinin sağlık ve güvenlik açısından etkilerini incelemiştir (Langford, 2013). Ioakimidis ve arkadaşları Belçika Mons Üniversitesi kampüsünde kullanılması için, işlem süreçleri ve sistem gereksinimleri ile birlikte tam otomatik bir EBPS önermiş ve geliştirmişlerdir (Ioakimidis ve diğ., 2016).

EBPS'nin sağladığı faydaları dikkate alınarak farklı şehirlerde e-bisiklet paylaşım pilot denemeleri yapılmıştır. Kuzey Amerika'nın ilk e-bisiklet paylaşım sistemi 2011 yılında Tennessee Üniversitesi'nde kurulmuş ve

üniversite kampüsündeki kullanıcılardan e-bisikletler ile geleneksel bisikletler arasındaki fiziksel aktiviteler araştırılmıştır (Langford ve diğ., 2013). Almanya'da Paul ve Bogenberger (2014) tarafından yapılan çalışmada, EBPS'nin yüksek bisiklet ve elektrikli bisiklet edinme maliyetlerini ortadan kaldırdığı için büyük ilgi duyulduğunu göstermektedir. Elektrikli bisikletin böyle bir sisteme girmesiyle, kullanıcılar aynı veya daha az çabayla ve daha kısa bir sürede daha uzun yolculuklar yapabileceklerdir (Paul ve Bogenberger, 2014). Avrupa'da, İngiltere hükümeti 2015 yılında ülke çapında 11 e-bisiklet paylaşım projesini içeren EBPS programını finanse etmiş ve benzer şekilde, Milano ve Kopenhag gibi diğer Avrupa şehirleri, test amacıyla mevcut BPS'ne EBPS hizmetleri de eklemiştir (Chen ve diğ., 2020).

### 3. Balıkesir üniversitesi çağış kampüs alanı ve özellikleri

Kamusal görevleri ile şehir içinde özel ve etkili bir konuma sahip olan üniversite kampüslerinin fiziksel büyüklüğü gittikçe artmaktadır. 2006 yılından sonra Türkiye'de Üniversite sayısı hızla artmıştır. Şehir içinde hızla sayısı artan ve büyüyen üniversiteler için yeterli alan sağlanamadığından dolayı üniversitelerin kurulmasında şehir dışı alanlar ve kampüs modeli benimsenmiştir.

Kampüs içerisinde akademik binalarla birlikte oluşturulan sosyal ve kültürel alanlar ve toplam öğrenci sayılarına göre (5 bin öğrenci için 75.000m<sup>2</sup> kampüs kapalı alan ihtiyacı) belirlenen kapalı alan gereksinimleri dikkate alındığında kampüslerin geniş bir coğrafi alan kullanmaları gerekmektedir (Eminağaoğlu ve Muhacir, 2018). Bu durum beraberinde kampüs içi ulaşım problemlerini getirmektedir.

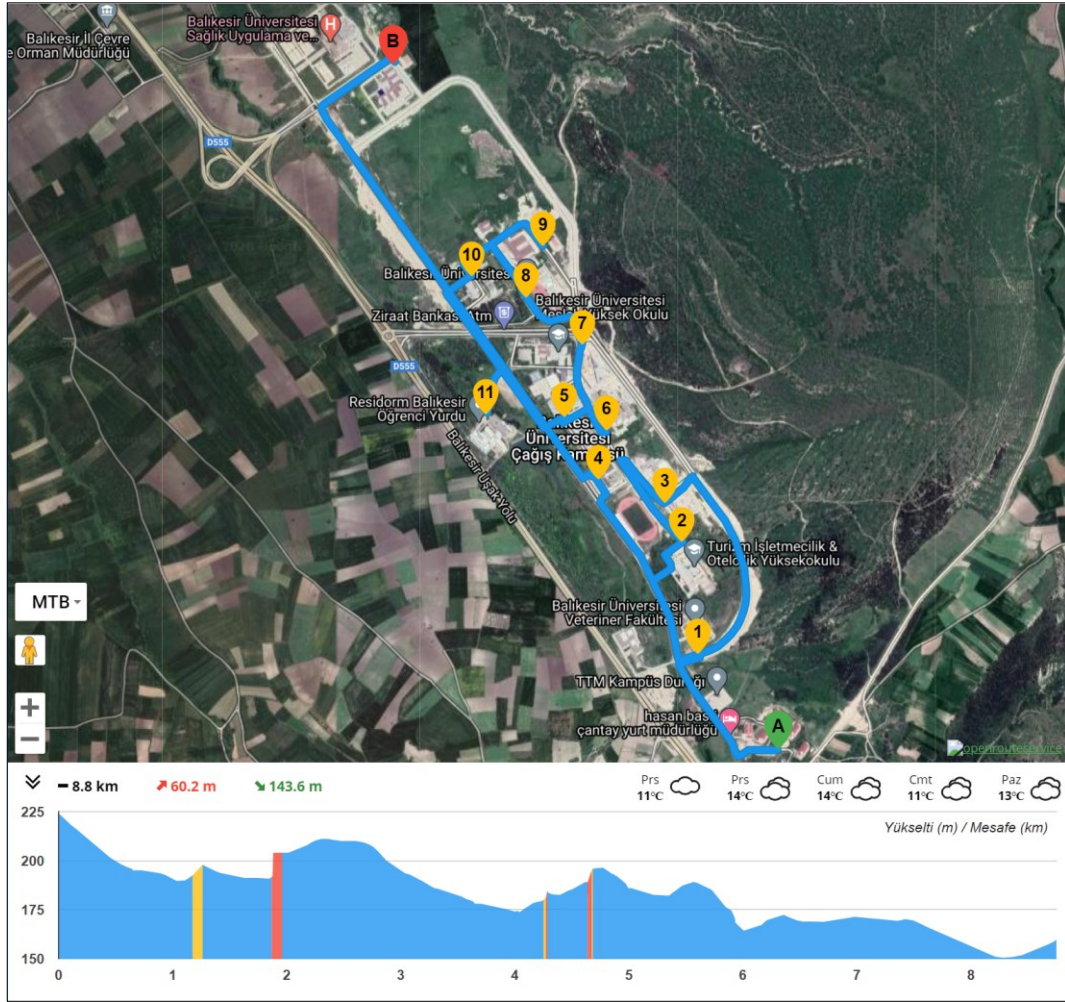
Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü, Resim-1'de görüldüğü üzere 5.000 dönümlük dikdörtgen şeklinde bir alan üzerine kurulmuştur. Öğrenci Yurtları, merkez

yemekhane, kütüphane, spor sahaları, sosyal ve kültürel etkinlik alanlarının olduğu bölgeyle bazı fakülte binaları arası mesafeler oldukça uzundur. Bu durum yürüyerek ulaşım süresini artırmakta ve öğrenciler için yorucu olmaktadır. Kampüs içi ulaşım sorununun çözümü için her ne kadar saatte bir kampüs içi ring otobüs (1 adet) seferi ve güzergâhı oluşturulmuş olsa da, bu, ulaşım süresinin azaltılması ve hizmet verilen öğrenci sayısı açısından yeterli olmamaktadır.

Tamamen beden gücünün kullanıldığı bisikletler ile uzun ve engebeli dik alanları aşmak çok yorucudur. Bu nedenlerle dik ve uzun eğime sahip bisiklet yollarının varlığı bisiklet kullanım tercihini azaltan bir özelliktir. Bisiklet yolları için önerilen maksimum boyuna eğim %5'tir. Çok uzun mesafelerde ve sürekli olan boyuna eğimlerin %2-3 ile sınırlandırılması önerilmiştir. 150 metreye kadar olan kısa bölümlerde %5'i aşan daha dik eğimlerin kabul edilebileceği belirtilmiştir. (Elbeyli, 2012). Şekil 1'de görüldüğü üzere, çevrimiçi Bike Roll uygulaması ile kampüs içi yollardaki yükseklik farkı ve eğim hesapları yapıldığında kampüs alanındaki yolların eğimlerinin %1 ile %5,5 arasında olduğu belirlenmiştir. Kısa mesafeler ait bu eğim aralıkları bisiklet ve elektrikli bisiklet kullanımı için kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır.

Elektrikli bisikletler, bataryalarda depolanmış elektrik gücü desteği sayesinde kullanıcının daha uzun mesafelere daha az çaba sarf ederek aynı hızda gidebilmesini ve dik yokuşları kolayca çıkabilmesini olanak sağlamaktadır.

Kampüs alanı içerisinde eğimli yollarda sürüş rahatlığı oluşturmak, öğrenci ve personelin daha kısa zamanda yorulmadan, terlemeden ve iklim şartlarından (yağış, sıcak, soğuk, rüzgâr vb.) çok fazla etkilenmeden ulaşım hareketliliğini sağlamak için tasarlanan EBPS'nde pedal destekli elektrikli bisikletlerin kullanımı tercih edilmiştir.



**Şekil 1.** Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü bisiklet güzergâh haritası ve yükselti grafiği  
(Kaynak: BikeRoll - www.bikeroll.net)

#### 4. Pedal destekli elektrikli bisiklet ve teknik özellikleri

Elektrikli bisikletler, elektrik motoru, motor kontrol kartı ve bataryadan oluşan bir bisiklet sistemi olarak tanımlanabilir.

Elektrikli bisikletler, elektrik motorunun kontrol edilme türüne göre ikiye ayrılır. Pedal çevirmeye ihtiyaç duymayan bisikletlerde, elektrik motoru, kullanıcı tarafından ayarlanan sabit bir güç seviyesi ile çalıştırılır veya manuel bir gaz kolu ile kontrol edilir. Pedal destekli elektrikli bisikletler (Avrupa'da pedelec-pedal electric cycle ya da eapac-electronically power assisted cycles olarak bilinir) ise, insan ve motor gücünü birleştirerek hareket sağlar. Bu tip elektrikli bisikletlerde, elektrik motoru desteği sadece sürücü pedal çevirirken devreye girer, sürücü pedal çevirmeyi bıraktığında motor desteği azalarak kesilir. Batarya şarjı bittiğinde, motor gücü

kesilse dahi, pedal çevirerek yola devam edilebilmektedir (Tanç, 2014, McLoughlin, 2012).

Pedal destekli elektrikli bisikletler ülke yönetmeliklerine bağlı olarak 250 Watt'a kadar motor gücü, 24 V, 36 V veya 48 V batarya 8,8 Ah ile 15 Ah arasında kapasite ile 25 ve 45 Km/h arası hızla yol alabilir. Bu tipteki bisikletlerin özellik ve kullanımları ile ilgili mevzuat ve yönetmelikler ülkelere göre farklılık göstermektedir (Apostolou, 2018).

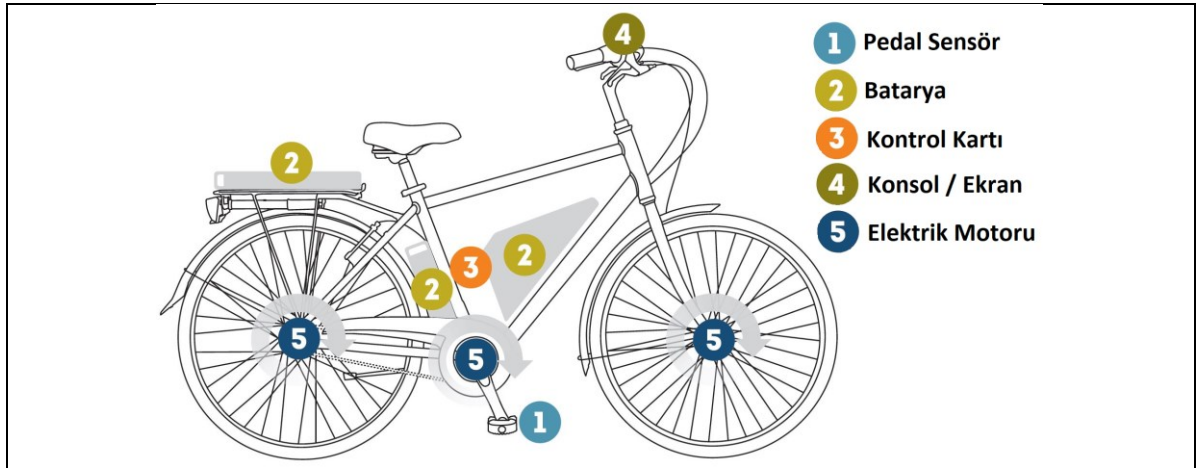
Elektrikli bisikletlerin, azami sürekli anma gücü 0,25 kilovattı geçmeyen, hızı en fazla 25 km/h olabilen çeşitleri Avrupa (EN 15194 standardı) ve Türkiye'de yönetmeliğe göre bisiklet sınıfında değerlendirilmektedir. Bu nedenle, bu türdeki elektrikli bisikletlerde plaka, ehliyet, kask ve sigorta gerekmez. (TC Resmi Gazete, 2019). Standartlara göre, bu türdeki elektrikli bisikletlerde motor desteği en

fazla 25 km/h hızına kadardır. Daha yüksek hıza ulaşmak için sürücünün kendi daha hızlı pedal çevirmelidir. Motor desteği sadece sürücü pedal çevirirken devreye girmelidir, sürücü pedal çevirmeyi bıraktığında motor destek vermeyi kesmelidir. Sistem gerilimi güvenlik nedeniyle en fazla DC 48 Volt ile sınırlandırılmıştır (EN 15194, 2017).

Resim 1’de görüldüğü üzere, çevrimiçi Bike Roll uygulaması ile kampüs içi yollardaki yükseklik farkı ve eğim hesapları yapıldığında kampüs alanındaki yolların eğimlerinin %1 ile %5,5 arasında olduğu belirlenmiştir. Eğimli

kısımlarda daha az çaba sarf ederek yorulmadan ve terlemeden yol alabilmek için pedal destekli elektrikli bisikletlerin kullanımı tercih edilmiştir. Pedal destekli elektrikli bisikletlerde menzil ve moment (tork) ihtiyacına bağlı olarak motor gücü ve batarya gerilimi değişebilmektedir. Kampüs alanındaki yolların durumu eğim özellikleri dikkate alınarak, yaygın olarak kullanılan 36 Volt - 250 W’lık motor ve 36 Volt - 10Ah’lik bataryaya sahip pedal destekli elektrikli bisikletler, kampüs için tasarlanan EBPS için yeterli görülmüştür. (Tablo-1)

**Tablo 1.** Pedal destekli elektrikli bisiklet ve teknik özellikleri



Teknik Özellikler	
<b>Motor:</b>	36V 250 Watt,
<b>Batarya:</b>	36V 10Ah Li-ION,
<b>Menzil:</b>	30-110km
<b>Şarj Süresi:</b>	4-6 h

## 5. Elektrikli bisiklet şarj istasyonu tasarımı

### 5.1. Elektrikli bisiklet sayısı ve istasyon kapasitesi

Elektrikli bisikletler için şarj istasyonunun kaç bisiklet için oluşturulacağı, toplamda kaç

bisiklet kullanılacağına ve kaç adet şarj istasyonu oluşturulacağına göre belirlenmelidir. Üniversitedeki binaların konumu ve öğrenci sayılarının yoğunluğuna bağlı olarak konumları işaretlenen şarj ve park istasyonları Şekil-2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kampüs içerisindeki istasyon konum ve numaraları

Kampüs içerisinde iki adet öğrenci yurdu bulunmaktadır. KYK erkek öğrenci yurdu 1000 öğrenci kapasiteli, Residorm kız ve erkek öğrenci yurdu ise 1500 öğrenci kapasitelidir. KYK erkek öğrenci yurdu (Resim-2’de 1. numara ile gösterilmiştir) konumu nedeni ile merkez bölge ve diğer bazı akademik binalara oldukça uzaktır. Bu nedenle elektrikli bisiklet kullanım talebi diğer bölgelere göre daha fazla olacaktır. Kampüs içerisinde yer alan araştırma ve uygulama hastanesi ile tıp fakültesi de merkez bölgeye ve yurtlara uzakta yer almaktadır ancak potansiyel öğrenci sayısı ise daha azdır. Kampüsün orta bölümünde yer alan kütüphane, fakülte, merkez yemekhane, sosyal tesisler vb. alanlar öğrencilerin daha yoğun olduğu dolayısıyla elektrikli bisiklet kullanma talebinin en fazla olduğu yer olacaktır. Bu durum dikkate alınarak, oluşturulacak istasyonların 4 tipe olması planlanmıştır.

#### Planlanan istasyon kapasiteleri

- **1.Tip:** Şarj için 10 adet, park için 10 adet elektrikli bisiklet kapasiteli
- **2.Tip:** Şarj için 20 adet, park için 10 adet elektrikli bisiklet kapasiteli

- **3.Tip:** Şarj için 30 adet, park için 20 adet elektrikli bisiklet kapasiteli
- **4.Tip:** Sadece park için 10 adet elektrikli bisiklet kapasiteli

Birinci tip istasyonda 10 adet elektrikli bisikletin şarj edilmesi için oluşturulan sistem bir modül olarak tanımlanmıştır. İkinci ve üçüncü tip istasyonların kapasiteleri, birinci tip istasyonun 2 ve 3 katı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tek şarj modülü için gerekli olan enerji ihtiyacı Tablo 3’de belirlenmiştir. Buna göre, ikinci tip için 2 şarj modülü, üçüncü tip için de 3 şarj modülü kullanılarak kapasiteye göre ihtiyaç duyulacak enerji sağlanacaktır. Dördüncü tip istasyon sadece elektrikli bisikletlerin park edilmesi için kullanılacaktır.

Elektrikli bisikletlerin kullanımını yurtlarda kalan öğrencilerle beraber merkez bölgeye uzakta kalan fakülte öğrencilerinin daha fazla talep edeceği düşünülmektedir. Bisiklet dağılımı bu husus gözönünde bulundurularak yapılmış, Şekil-2 üzerinde işaretlenmiş ve numaralandırılmış olan istasyonların hangi tip ve kapasitede oldukları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 2. İstasyon sayı ve kapasiteleri**

İstasyon Numarası	İstasyon Tipi	Şarj Modül Sayısı	Toplam Kapasite (Şarj+Park)
1	2.Tip	2	30
2	4.Tip	0	10
3	4.Tip	0	10
4	3.Tip	3	50
5	2.Tip	2	30
6	4.Tip	0	10
7	4.Tip	0	10
8	1.Tip	1	20
9	2.Tip	2	30
<b>Toplam:</b>		<b>10</b>	<b>200</b>

### 5.2. Elektrikli bisiklet şarj modülü tasarımı

Toplam 200 adet elektrikli bisiklet için planlanan sistemde 10 adet elektrikli bisikletin aynı anda şarj edilebilmesi için şarj modülünü oluşturan temel bileşenler, FV paneller, bataryalar, şarj kontrol cihazı, kablolar ve aydınlatma için led ampullerdir. FV panellerin yetersiz kalabileceği durumlar dikkate alınarak kampüs içerisinde mevcut elektrik şebekesinden bağlantı da sağlanacaktır. Bu bağlantı aynı zamanda kullanım fazlası elektrik enerjisinin şebekeye verilmesinde de kullanılacaktır.

Sistemin enerjisi FV paneller tarafından sağlanmaktadır. FV panellerden elde edilen enerji batarya gruplarında depolanır. Ortamda güneş ışınımı mevcut olmadığında (gece vakti) veya yetersiz olduğunda, sistemin enerjisi doğrudan bataryalardan sağlanır. Bataryalarda depolanan DA enerjisi, bisiklet bataryalarının şarj edilmesinde kullanılır. Sistem bileşenlerini

dengelemek için kullanılan ve enerji üretimi/tüketimi arasındaki bileşenler sistem bileşenlerinin dengesi (SBD) olarak tanımlanır. SBD bileşenleri şarj kontrol cihazı, batarya, evirici, kablolar, sigortalar vb. bileşenlerdir (Özbay ve diğ., 2019).

### 5.3. Bisiklet şarj modülü için gerekli gücün belirlenmesi

10 adet bisiklet kapasiteli olarak kurulacak olan şarj istasyon modülünde elektrik tüketiminin ana bileşeni şarjlı/elektrikli bisikletlerdir. İlave olarak ortam aydınlatmaları, şarj kontrol ünitesi de düşünülebilir. Aşağıdaki tabloda elektrik tüketiminde kullanılacak cihazlar ve tüketim değerleri verilmiştir. Bisiklet bataryaları DC gerilimle şarj edilebileceğinden eviriciye gerek olmayacaktır. Şebeke geriliminden destek alınması gerektiğinde AC 220V - DC 36Volt çeviri için konvertör/adaptör ve kontrol ünitesine ihtiyaç olacaktır.

**Tablo 3. Şarj istasyon modülü için enerji gereksinimi**

Cihazlar	Sayı (adet)	Anma Gücü (W)	Günlük Tüketim (saat/gün)	Günlük Enerji Tüketimi (Wh /gün)
LED Ampul (15W/adet) (ortalama 10 saat aydınlatma)	10	150	10	1500
Bisiklet bataryası (36V, 250W) (şarj süresi 3 saat)	10	2500	3	7500
Kontrol ünitesi ve diğer cihazlar	-	50	24	1200
<b>Toplam :</b>	-	3200	-	<b>10.200</b>

Tasarlanan şarj istasyonunda 10 adet elektrikli bisikletin günlük ortalama 3 kez, birer saat şarj edilmesi gerektiği düşünüldüğünde diğer

cihazlarla birlikte toplam günlük 10.2kWh enerji ihtiyacı oluşabileceği hesaplanmıştır.

#### 5.4. Batarya kapasite ve sayılarının belirlenmesi:

Bu çalışmada, tasarlanan şarj istasyonunda FV sistemlerde çoğunlukla tercih edilen OPzS bataryaların kullanımı tercih edilmiştir. Bu bataryalar 15-20 yıl gibi uzun ömürlü, az bakım gerektiren ve kapasitesinin %80'ine kadar boşaltılabilen, derin döngülü özellikte bataryalardır (Özbay ve diğ., 2019).

Batarya sayı ve değerlerinin belirlenmesi için aşağıdaki hesaplar yapılmıştır;

Tablo-3'deki hesaplamalara göre toplam enerji ihtiyacı (A1) 10.200 Wh olarak belirlenmiştir. Tablo-1'de seçilen elektrikli bisikletin özelliklerine göre batarya gerilimi (A2) 36 V'tur. Toplam günlük kapasite değeri (A7); Denklem 1'de verildiği gibi A1'de verilen ve Tablo-3'te hesaplanan toplam günlük enerji miktarının bisiklet batarya gerilim değerine (A2) bölünmesi ile hesaplanır.

$$A7=A1/A2 \quad (1)$$

**Tablo 4. Batarya değerlerinin hesaplanması**

A1	A2	A3	A4	A5	A6
Enerji İhtiyacı	Bisiklet Batarya Gerilimi	Bulutlu Gün Sayısı	Batarya Gerilimi	Deşarj Derinliği	Batarya Verimi
10200 Wh	36 V	2	12 V	0,8	0,91
A7	A8	A9	A10	A11	A12
Toplam Günlük Kapasite	Batarya Kapasitesi	Seçilen Batarya Kapasitesi	Paralel Bağlı Batarya Sayısı	Seri Bağlı Batarya Sayısı	Toplam Batarya Sayısı
283,33 Ah	778,4 Ah	100 Ah	8	3	24

Balıkesir için bulutlu gün sayısı (A3) 2 gün olarak belirlenmiştir. Bu değer, literatürde otonomi faktörü olarak geçer. Otonomi faktörü, güneş enerjisine ulaşamadığı durumda sistemin kaç gün bataryalar üzerinden çalıştırılabileceğini belirleyen önemli bir değerdir. Türkiye'de akü otonomi değeri Aralık ve Ocak aylarına bakılarak belirlenir. Bu iki ayda, Türkiye'deki illerimizde bulutluluk oranı fazladır.

PV panellerde kullanılacak olan OPzS tipi bataryalar, kapasitelerini %80 oranında boşaltabildiğinden (A5) deşarj derinliği 0,8 olarak seçilmiştir. OPzS Bataryanın maksimum şarj verimi (A6) olarak hesaplamalarda %91 değeri dikkate alınmıştır (Kubalik ve diğ., 2014). A8'deki batarya kapasitesi değeri Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

$$A8=(A7 \times A3)/(A5 \times A6) \quad (2)$$

Seçilen 100 Ah 12 V'luk OPzS 100 model bataryaya göre A4 ve A9 değerleri belirlenmiştir. Sistemde paralel bağlanacak batarya sayısı (A10), Denklem 3'e göre,

hesaplanan batarya kapasitesi (A8) değerinin seçilen batarya kapasite (A9) değerine bölünmesi ile hesaplanır.

$$A10=A8/A9 \quad (3)$$

Sistemde seri bağlı batarya sayısı (A11), Denklem 4'e göre şarj edilecek batarya gerilimi, (A2) değerinin seçilen batarya gerilim (A4) değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$A11=A2/A4 \quad (4)$$

Yapılan bu hesaplamalar sonucunda bu sistem için 3 adet seri ve 8 adet paralel olmak üzere toplam 24 adet batarya ihtiyacı olduğu sonucuna ulaşılabilecektir. Tablo 4, bu hesaplamaların özetini sunmaktadır.

#### 5.5. FV panel gücü ve tipinin belirlenmesi

Elektrikli bisikletlerin bataryalarının şarjı için gereken enerji FV paneller ile sağlanacaktır. Kullanılacak olan FV panellerin teknik özellikleri Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** PV panel teknik özellikleri

Tepe güç değeri - P <sub>MAX</sub> (W <sub>p</sub> )	265
Maksimum güç gerilimi - VMPP (V)	30,8
Maksimum güç akımı - AMPP (A)	8,6
Açık devre gerilimi – V <sub>oc</sub> (V)	38,3
Kısa devre akımı – I <sub>sc</sub> (A)	9,1
Verim - $\mu$ (%)	16,2

FV panellerden elde edilen enerji öncelikle OPzS batarya grubunda depolanacak ve bu bataryalar üzerinden bisiklet bataryaları şarj kontrol cihazları ile kontrol altında şarj edilecektir.

Güneş ışınımı bölgeden bölgeye günlük, aylık ve mevsimlik olarak değişmektedir (Özbay ve

diğ., 2019). Bu nedenle FV sistemleri için yıllık ortalama güneşlenme süresi, bulutlu gün sayısı, sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Balıkesir il merkezinde ortalama günlük güneşlenme süresi 7,37 saat ve yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2690 saattir. Günlük ortalama güneş radyasyonu 3,87 kWh/m<sup>2</sup> ve yıllık ortalama toplam güneş radyasyonu 1412 kWh/m<sup>2</sup> 'dir (EİGM, 2020). Bu değerlere göre Balıkesir il merkezinin güneş potansiyelinin FV sistemler için uygun olduğu görülmektedir.

Şarj istasyonlarının yıllık kullanımı dikkate alındığında mevsimlere göre değişen optimum eğim açısı için PV panellerinin yerleşiminde 40°'lik eğim açısı (B1) uygun görülmüştür. SBD bileşenlerin verimi (B2) %85 olarak belirtilmiştir.

**Tablo 6.** PV panel değerlerinin hesaplanması

<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>
Optimum Eğim Açısı	SBD Verimi	Gerekli FV Panel Çıkış Enerjisi	Seçilen FV Panel Gerilimi	Seçilen FV Panel Gücü	Ortalama Güneşlenme Süresi	FV Panellerin Günlük Enerji Üretimi
40°	0,85	12.000Wh	30,8 V	265 W	7,37 h	1.953,05 Wh
<b>B8</b>	<b>B9</b>	<b>B10</b>	<b>B11</b>	<b>B12</b>	<b>B13</b>	<b>B14</b>
İndirgeme Faktörü	FV Panel Enerji Çıkışı	Toplam FV Panel Sayısı	Seri Bağlı Panel Sayısı	Paralel Bağlı Panel Sayısı	Nominal FV Panel Gücü	Nominal FV Panel Dizisi Gücü
0,90	1.757,7 Wh	8	2	4	265 W	2.120 W

FV panellerden günlük elde edilmesi beklenen enerji miktarı (B3) Denklem 5 ile hesaplanmaktadır.

$$B3 = \text{Toplam enerji ihtiyacı} / B2 \quad (5)$$

FV paneller her zaman maksimum güç ve verimlilikte çalışmazlar. Standart test koşulları dışında kalan koşullar için kayıplar söz konusudur. Bu nedenle %10 kayıp olacağı düşünülerek B4 ve B5 değerleri 0.9 ile çarpılarak hesaplanmıştır. Balıkesir'de yılda ortalama güneşlenme süresi B6'da verildiği gibi 7,37 saattir. Bu değerlere göre bir FV panelde günlük üretilen enerji miktarı (B7) Denklem 6 ile hesaplanır.

$$B7 = B5 \times B6 \quad (6)$$

FV panellerde oluşabilecek tozlanma, gölgelenme ve yaşlanma gibi faktörler kayıp nedeni olarak kabul edildiğinde indirgeme faktörü (B8) %90 olarak alınmış ve B7 değeri ile çarpılarak FV panelin üreteceği enerji miktarı (B9) hesaplanmıştır. Buna göre sistemdeki FV panel sayısı Denklem 7'deki gibi hesaplanır.

$$B10 = B3 / B9 \quad (7)$$

Sistemde şarj edilecek olan bisiklet bataryası (A2) 36 V'tur. FV panel tarafından üretilen gerilim (B4) 30,8 V olduğundan sistemde seri bağlanması gereken panel sayısı Denklem 8'den 2 adet olarak bulunmuştur.

$$B11 = A2 / B4 \quad (8)$$



Sistemde paralel bağlanması gereken FV panel sayısı ise Denklem 9 ile hesaplanarak 4 adet bulunmuştur.

$$B12=B10/B11 \quad (9)$$

Denklem 5,6,7,8ve 9 ile yapılan hesaplamalara göre bu sistem için 2 adet seri ve 4 adet paralel olmak üzere toplam 8 adet FV panele ihtiyaç vardır. Tablo 6'da bu hesaplamaların özeti verilmiştir.

### 5.6. Şarj kontrol cihazı gücünün belirlenmesi

36 Volt'luk bisiklet bataryalarının şarj edilmesi için FV sistemindeki batarya bara gerilimi 36 Volttur. Bu nedenle şarj kontrol cihazı çıkış gerilimi de 36 Volt olmalıdır. Şarj kontrol cihazının anma akım hesabı Denklem 10, 11 ve 12'de aşağıda verilmiştir.

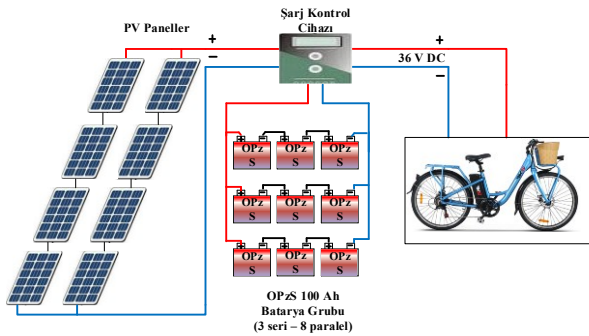
$$FV \text{ panel kısa devre akımı: } I_{sc} = 9,1A \quad (10)$$

$$\text{Güvenlik katsayısı: } k = 1,25 \quad (11)$$

$$I_{\text{kontrol}} = \text{Paralel FV panel sayısı} \times I_{sc} \times k \quad (12)$$

Bu durumda akım 45,5A olarak bulunur. Bu değere göre en az 50A'lık ve 36 Voltluk solar şarj kontrol cihazı kullanılmalıdır.

Elektrikli bisikletler için kullanılacak olan şarj ünitesinin blok şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Şarj ünitesi blok şeması

### 6. Sonuç

Bu çalışma, kampüs içi öğrenci ve personel hareketliliğinin elektrikli bisiklet paylaşım sistemi ile daha kısa süre içerisinde konforlu bir şekilde, terlemeden yorulmadan gerçekleştirilmesi, bunun yanısıra öğrencilerin yurtlara, fakültelere, spor tesislerine, sosyal alanlara ve kütüphaneye ulaşımının kolaylaşması için bir yöntem sunmaktadır.

Kampüs alanında oluşturulacak olan EBPS'nde öğrencilerin yoğun olduğu 5 noktada şarj istasyonu, geri kalan 4 noktada ise sadece park alanı oluşturulması planlanmıştır. 10 elektrikli bisikletin aynı anda şarj edilmesi için gerekli olan enerji ihtiyacı belirlenerek bir şarj istasyon modülü oluşturulmuştur. Öğrencilerin yoğun olduğu alanlar dikkate alınarak, hangi istasyonda kaç adet modül kullanılacağı belirlenmiştir.

Şarj istasyonlardaki enerji ihtiyacı FV sistemi ile karşılanarak maliyetlerin düşürülmesi ve sistemin sürdürülebilirliğin sağlanması mümkün olacaktır. Aynı zamanda FV sistemlerden elde edilecek ihtiyaç fazlası enerjinin şebekeye verilmesi ile sisteme katkı da sağlanabilecektir. Bu çalışmanın şehir içi ulaşımında ve akıllı şehir uygulamalarında EBPS kurulmasında öncü olabileceği düşünülmektedir. Gelecek dönemde EBPS'nin tam otomatik çalışması için gerekli olan kontrol birimlerinin ve yazılımların tasarımının yapılması planlanmaktadır.

### Kaynaklar

Apostolou, G.; Reinders, A.; Geurs, K., (2018), An Overview of Existing Experiences with Solar-Powered E-Bikes, *Energies*, 11, 2129. <https://doi.org/10.3390/en11082129>

Chen, Z., Hu, Y., Li, J., & Wu, X. (2020). Optimal Deployment of Electric Bicycle Sharing Stations: Model Formulation and Solution Technique. In *Networks and Spatial Economics* (Vol. 20). <https://doi.org/10.1007/s11067-019-09469-2>

Dokuz, A. Ş. (2020). Bisiklet Paylaşımı Büyük Veri Kümelerinde Kullanıcıların İstasyon Tercihlerinin Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı*, 591–597. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf71>

EİGM. (2020). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü <<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/10.aspx>> erişim tarihi 14.06.2020

Elbeyli, Ş. (2012). Kentiçi Ulaşımında Bisikletin Konumu Ve Şehirler İçin Bisiklet Ulaşım Planlaması: Sakarya Örneği. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

**Eminağaoğlu, Z., & Muhacir, E. S. A.** (2018). Artvin Çoruh Üniversitesi Kampüs Alanlarının Planlama ve Tasarım İlkeleri Kapsamında Değerlendirilmesi. *Artium*, 6(1), 38-43.

<http://artium.hku.edu.tr/en/issue/35138/341349> erişim tarihi 30.05.2020

**EN-15194** (2009) Cycles, Electrically power assisted cycles, EPAC Bicycles, *European Committee For Standardization, Brussels*.

**Eren, E., & Uz, V. E.** (2019). A review on bike-sharing: The factors affecting bike-sharing demand. *Sustainable Cities and Society*.

**Ioakimidis, C. S., Rycerski, P., Koutra, S., & Genikomsakis, K. N.** (2016). A university e-bike sharing system used as a real-time monitoring emissions tool under a smart city concept. *World Electric Vehicle Journal*, 8(4), 953–963. <https://doi.org/10.3390/wevj8040963>

**Kubalik, P., Misak, S., Stuchly, J., Vramba, J., & Uher, M.** (2014). Suitable energy storage in Off-Grid systems. *2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2014 - Conference Proceedings*, 345–349. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2014.6835891>

**Langford, B. C.** (2013). *A comparative health and safety analysis of electric- assist and regular bicycles in an on-campus bicycle sharing system*. University of Tennessee.

**Langford, B., Cherry, C., Yoon, T., Worley, S., & Smith, D.** (2013). North America's first E-bikeshare. *Transportation Research Record*, (2387), 120–128. <https://doi.org/10.3141/2387-14>

**McLoughlin, I. V. ; Narendra, I. K.; Koh, L. H.; Nguyen, Q. H.; Seshadri, B.; Zeng, W.; Yao, C.,** 2012, Campus Mobility for the Future: The Electric Bicycle, *Journal of Transportation Technologies*, Vol.2 No.1

**Özbay, H., Efe, S. B., & Özer, İ.** (2019). FV system Design For Farm Houses: A Case Study In Bandirma. *International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2019)*, 710–717.

**Paul, F., & Bogenberger, K.** (2014). Evaluation-method for a Station Based Urban-pedelec Sharing System. *Transportation Research Procedia*, 4, 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.11.037>

**Sezen, B., & Erben, B.** (2019). Sürdürülebilir ulaşımında önemli bir yere sahip olan bisikletin Gams küme kapsama modeli ile konumlandırılması : Gebze Teknik Üniversitesi örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 1–15.

**Tanç, G.** (2014). Elektrikli Bisikletler İçin Fırçasız Doğru Akım Motoru Tasarımı Ve Üretimi, *Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi*.

**TC Resmi Gazete.** (2019). Bisiklet Yolları Yönetmeliği (30976). <<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/12/20191212.pdf>> erişim tarihi 30.06.2020

**Ulvi, H.** (2019). Bisiklet ve Yaya Ulaşımının Millî Parklarda Karbon Ayak İzi Etkilerinin Araştırılması. *Reviewed Journal of Urban Culture and Management*, 12(3), 460–474.

**Woolsgrove, C.** (2020). Electric Bicycle (pedelec) Regulation. <<https://ecf.com/what-we-do/road-safety/electric-bicycle-pedelec-regulation>> erişim tarihi 16.05.2020