



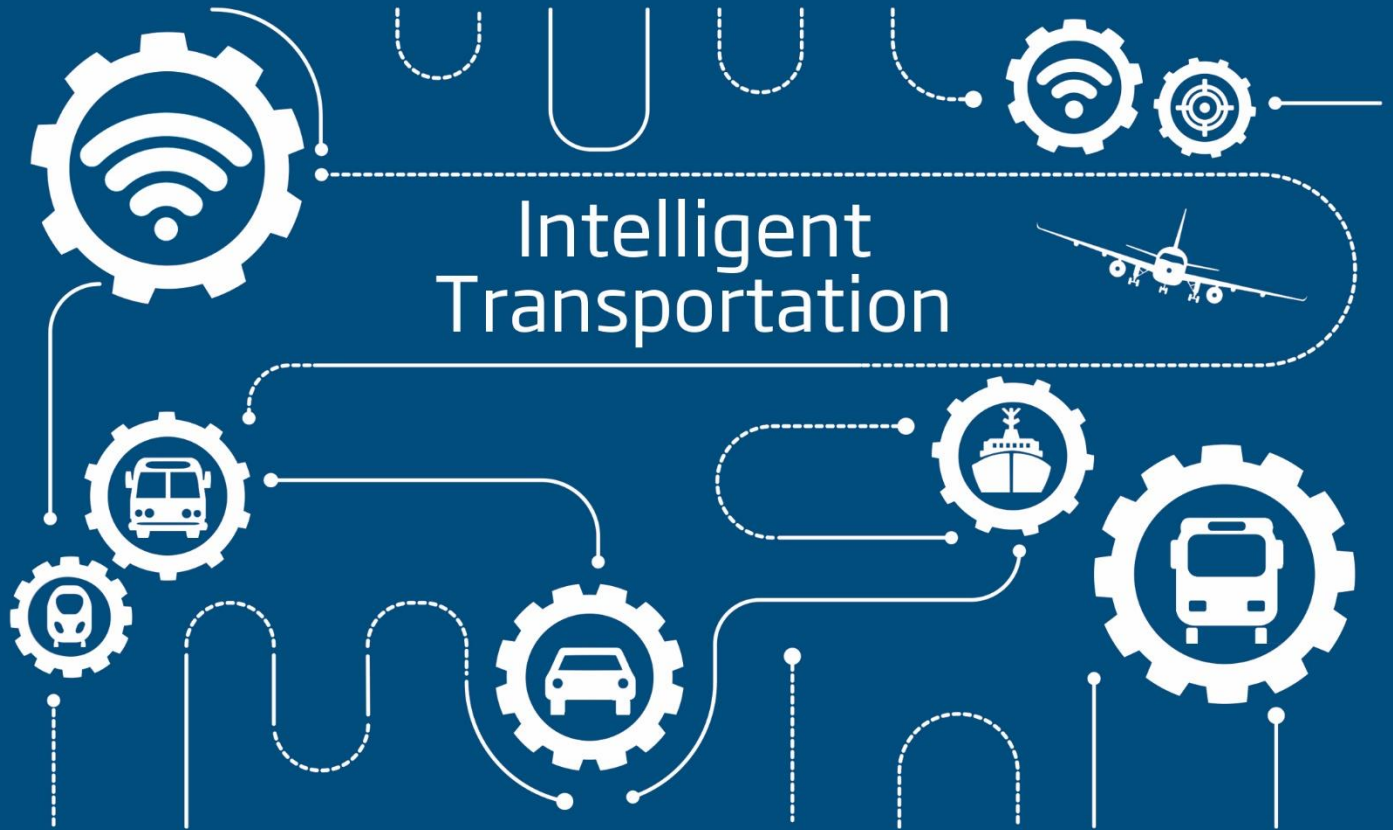
**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ**

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

Cilt / Volume: 3

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2020



e-ISSN 2636-820X

AUSUD | Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi

JITSA | Journal of Intelligent Transportation System and Applications

Sahibi
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Dergi Yöneticisi Editör
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Editörler
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
Prof. Dr. Serap İNCAZ
Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ
Doç. Dr. Necla TEKTAŞ
Doç. Dr. Iğın GÖKAŞAR
Doç. Dr. Nevzat ONAT
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN
Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk CELİK
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÖZBAY
Dr. Öğr. Üyesi Adem DALCALI
Dr. Öğr. Üyesi İlyas ÖZER
Hediye TÜYDEŞ YAMAN

Yayın ve Danışma Kurulu
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. Alpaslan SEREL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. A. Fevzi BABA (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Abdulsamet HAŞILOĞLU (Atatürk Üniversitesi)
Prof. Dr. Erdoğan KÖSE (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Ergin Sait VAROL (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Fırat KAÇAR (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi)
Prof. Dr. Orhan Behiç ALANKUŞ (Okan Üniversitesi)
Prof. Dr. Rafet BOZDOĞAN (Yalova Üniversitesi)
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi)
Prof. Dr. Orhan Behiç ALANKUŞ (Okan Üniversitesi)
Prof. Dr. Rafet BOZDOĞAN (Yalova Üniversitesi)
Prof. Dr. Serap İNCAZ (Nişantaşı Üniversitesi)
Prof. Dr. Şeref KILIÇ (Ardahan Üniversitesi)
Doç. Dr. Hediye TÜYDEŞ YAMAN (ODTÜ)
Doç. Dr. Müjdat SOYTÜRK (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Nevzat ONAT (Manisa Celal Bayar Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP (Bayburt Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATIŞ (Marmara Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY (Sağlık Bilimleri Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Yasin SARIKAVAK (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi)
Dr. Ahmet BAĞIŞ (İETT)
Dr. A. Önder TÜRKOĞLU (İETT)
Dr. Kadir KORKMAZ (TUBİTAK-BİLGEM)

Dergi Sekreteryası
Arş. Gör. Umut AYDIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Arş. Gör. Şerife Gülsüm TAÇ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Mizanpaj
Arş. Gör. Üstün ATAK (Bandırma Onyedi Eylül Üni.)
Arş. Gör. Fatih ERGEZER (Bandırma Onyedi Eylül Üni.)

Ön Kontrol
Arş. Gör. Caner PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Bandırma Onyedi 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 00 30
E-posta: jitsa@bandirma.edu.tr

ISSN 2636-820X | e-ISSN 2636-820X | Sayı 1 Cilt 3 - 2020

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 çalışmalar dergi yazım kuralları ve yayın 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 geçildikten 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

Doç. Dr. Ersoy ÖZ (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Doç. Dr. Turan ARSLAN (Bursa Uludağ Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇİLOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Gülten KARA (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Melis ALMULA KARADAYI (İstanbul Medipol Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ALP (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Şerif DİLEK (Kırklareli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk ÇELİK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Öğr. Gör. Tufan Volkan KÜÇÜK (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)

Öğr. Gör. Yusuf AVŞAR (Trakya Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER / CONTENT

Türkiye’de Ulaşım ve Ekonomik Göstergeler Arasındaki Yayılma Etkileri Mehmet Aldonat BEYZATLAR.....	1-23
Yük Taşımacılığı için Bulanık EDAS Yöntemi ile Taşıma Modu Seçimi Umut AYDIN, Üstün ATAŞ.....	24-33
Geleceğin Ulaşım Tercihi: Elektrikli Araçlar Harun ÖZBAY, Cemil KÖZKURT, Adem DALCALI, Mehmet TEKTAŞ.....	34-50
Karayollarında Kullanılan Değişken Mesaj Sistemlerinin Trafik Güvenliği Bakımından Değerlendirilmesi Fatih ERGEZER, Serdal TERZİ, Ekinhan ERİŞKİN, Şebnem KARAHANÇER.....	51-58
Uygun Dağıtım Rotası Belirleme Probleminde Hibrit Sezgisel Bir Yöntem Önerisi: Bir Kargo Firması Örneği Merve ÖZALP, Selçuk ALP.....	59-70
22@ Barcelona Projesi Analizi: Bandırma Örneğinde Uygulanabilirliği Kübra KOCAKAYA, Taylan ENGİN.....	71-93

Türkiye’de ulaşım ve ekonomik göstergeler arasındaki yayılma etkileri

Mehmet Aldonat BEYZATLAR^{1,*}

¹ İktisat Bölümü, İşletme Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

*Correspondence: mehmet.beyzatlar@deu.edu.tr

Özet: Bu çalışma, çeşitliliği ve olanakları açısından farklı ulaşım ölçümleri ve ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkilerini incelemektedir. Türkiye’nin 1970-2018 dönemi yıllık frekans verileri kullanılarak Diebold ve Yılmaz (2012) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem sayesinde değişkenler arasında karşılıklı ve çoklu yayılma etki parametreleri elde edilebilmektedir. Her bir değişkenden tümüne, tümünden de tek bir değişkene ve bu iki parametreden oluşan net yayılma etkileri, son olarak da tüm veri setini içeren toplam yayılma etkisi hesaplanmıştır. Uygulanan bu yöntem sayesinde değişkenler arasındaki ilişki ağı konvansiyonel yöntemlerden ayrılmaktadır ve bu şekilde ulaşım ekonomisi alanında özgün bir katkı sunulmaktadır. Analiz sonuçlarına göre ulaşım mobilitesi ile gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) ve üretim endeksi arasındaki yayılmalar ön plana çıkarken genel olarak ekonomik değişkelerdeki yayılma etkileri istikrarlı ekonomi politikaları için ulaşım politikalarına verilmesi gereken öneme işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım, mobilite, yayılma etkileri, Türkiye

Abstract: This study examines the spillover effects between different transport measures and economic activities in terms of diversity and possibilities. Diebold and Yılmaz (2012) method have been applied to annual frequency data of Turkey's 1970-2018 period. By means of this method, pairwise and common spillover effect parameters between variables can be obtained. Spillover from each variable to all other variables, and from all variables to each variable and net spillover effects consisting of these two parameters, and total spillover index containing the whole variable set has been calculated. Because of this method, the relational network within variables differs from conventional methods and in this way a unique contribution is made in the field of transportation economics. According to analysis results, while the spread between transportation mobility and gross domestic product (GDP) and production index comes to the forefront, spillover effects in economic variables in general point to the importance of transport policies for stable economic policies.

Key Words: Transportation, mobility, spillover effects, Turkey

* Corresponding author. Tel.: +90-232-453-5060 ; fax: +90-232-453-5062.

E-mail address: mehmet.beyzatlar@deu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8434-8447

Received 8 Jan 2020; Accepted 3 Mar 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Ulaşım, altyapısal özellikleri bakımından sahip olduğu statik etkilerinin yanı sıra hareketlilikten gelen dinamik etkileri vasıtasıyla da demografik ve ekonomik faaliyetler üzerinde çeşitli etkilere sahiptir. Ekonominin adeta kılcal damarlarını oluşturan ulaşım ağlarına atfedilen önem her geçen gün artarak devam etmektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde kolaylaşmasına rağmen başta maliyet ve zaman olmak üzere farklı kısıtlar altında ekonomiyle yakından ilişkilidir.

Literatürde geniş bir çalışma alanına sahip olan, ilk etapta kamu harcamaları ve sermaye stoku olarak değerlendirilen ulaşımın ekonomideki yeri giderek genişlemiştir [1-6]. Doğrudan ve dolaylı etkileri sayesinde ekonomi üzerindeki etkinliği önem kazanan ve destekleyici bir unsur olan ulaşım çeşitli açılardan ele alınmaktadır [7]. Ulaşımın iyileştirilmesi, genişletilmesi ve etkinleştirilmesi bu etkilerin farklı açılardan ele alınmasını gerektirmektedir. Ulaşımın iyileştirilmesi, insanların daha düşük maliyetle ve daha yüksek yaşam kalitesiyle karşılaştıkları alanlara yönelmelerini sağlarken, ulaşımın genişletilmesi ve çeşitliliği, istihdam olanakları oluşturma kapasitesi bakımından nüfus ve nüfus dağılımı ile yoğun etkileşim içerisindedir. Etkili ulaşım ise, insanların bu alanların yararları, avantajları ve fırsatları için günlük veya mevsimsel olarak diğer bölgelere seyahat etme olanaklarını artırır. Böylece ulaşım ve ulaşım altyapısının toplumsal unsurların dönüşümünde ve bölgelerin nüfus yapısını etkilemede önemli bir işlevi vardır [8,9].

Ekonomik ve sosyal kalkınma süreçlerinde doğrudan veya dolaylı etkilerin toplumun çeşitli katmanlarına yayılması önemlidir. Bu çerçevede ulaşım ve bağlantılı faktörlerin etkileri ulaşım altyapısı, ulaşımın yapısal unsurları, ulaşım türleri, ulaşımın nitelikleri ve niceliği üzerinden gerçekleşmektedir. Ulaşım altyapısındaki iyileştirmeler, maliyetleri düşürmek, üretkenliği ve verimliliği artırmak, yeni pazarlar oluşturmak, işsizliği azaltmak ve ticareti desteklemek gibi birçok ekonomik faaliyet bağlamında fayda sağlamaktadır. Gelişen teknolojiler sayesinde ulaşım hizmetleri hız, taşıma kapasiteleri ve güvenlik gibi önemli açılardan iyileşmesinin yanı sıra,

ulaşım sistemlerindeki iyileştirme ve yenilikçi gelişimler mekânsal organizasyonu etkilerken, toplumsal yapılaşma için de önemli sonuçlar oluşturma hususunda rol oynamaktadır [10].

Toplumsal ve ekonomik açıdan yeri yadsınamaz olan ulaşım hem teorik hem de deneysel çalışmalar üzerinden çok yönlü bir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte kullanılacak olan yöntemlerde sınırlamaya gidilmemesi, verilerin tam anlamıyla kullanılabilmesi değerli sonuçlar ortaya koyabilme potansiyeline sahiptir. Bu noktada, çalışmanın amacı Türkiye’de ulaşım ile ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkilerini çeşitli yönleriyle ortaya koymaktır. Ekonomik gelişmelerin yoğun etkileşimde olduğu teknolojik bir gelişme olarak da sayılabilecek olan ulaşım, ekonomik etkileri açısından üretim faktörlerinin taşınmasını sağlamaktadır. Buradan hareketle bu çalışma kapsamında ulaşım hem hava, kara ve demiryolu modları hem de yük ve yolcu hareketliliği olarak toplamda altı ulaşım ölçümü olarak ele alınmaktadır.

Ekonomik faaliyetlerin kapsamı ise GSYİH, dışa açıklık*, üretim endeksi ve işsizlik olarak toplamda dört değişken yardımıyla ele alınmaktadır. Ulaşım ölçümleri gibi ekonomik faaliyetlerin de farklı açılardan incelenmesi, çalışmanın temel mantığı olan bağlantılılığın farklı yönlerden analizini mümkün kılmaktadır.

GSYİH en genel haliyle tüketim, yatırımlar, devlet harcamaları ve net ihracat kalemlerinden oluşmaktadır. Ürünlerin tüketiciyle hammaddelerinse üreticiyle buluşması, sermaye birikimi, özel sektör ve kamu yatırımları, fabrika ve konut inşası, hizmetlerin dağılımı, ithalat, ihracat ve daha birçok faaliyeti temsil etmektedir. O yüzden politika yapıcılar için GSYİH’nın istikrarlı bir şekilde büyümesi en önemli ekonomik hedeflerin başında gelmektedir. Ulusal düzeydeki en geniş kapsamlı ekonomik göstergelerin başında gelmesi, içerdiği dinamikler ve kapsayıcılığı bakımından ulaşım ile çeşitli katmanlar üzerinden karşılıklı etkileşim halindedir. Bu ilişkiler ağı literatürde çeşitli ülke, ülke grubu ve yıl aralığı için farklı ampirik yöntemlerle çalışılmıştır [11-19].

Dışa açıklık veya literatürdeki diğer adıyla ticaret açıklığı ülke ekonomileri için

* Openness veya trade openness

uluslararasılaşma açısından önemli bir göstergedir. Küreselleşme süreçleri ele alındığında uluslararası piyasalarda etkinlik, rekabet gücü, teknoloji transferi, bilginin ve beşerî sermayenin yayılması politika yapımcılar nezdinde önem arz etmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda ihracat ve ithalat toplamına tekabül eden dış ticaret hacmini sadece hammadde, ürün ve hizmetlerin dolanımını olmaktan öteye gitmektedir. Dış ticaretin ekonomideki payı üzerinden yapılan bu değerlendirme birçok noktada ekonomik göstergelerle bağlantılı bir sürecin işlediğini ortaya koymaktadır [20]. Bu etkileşimin üçüncü düzey verilere yansımaları bakımından ulaşım ile dışa açıklık ilişkisi doğrudan ve dolaylı olarak incelenmiştir [12].

Sanayi üretimi imalat endeksi, GSYİH ve dışa açıklık ile karşılaştırıldığında onlara göre daha dar kapsamlı olmasına rağmen üretim seviyesini göstermesi bakımından dikkate alınması gereklidir. Sanayi üretimi çeşitli endekslerden oluşmakta ve sanayi işletmelerinin üretimini ifade etmektedir. Madencilik, imalat, elektrik, gaz ve buhar ve iklimlendirme gibi çeşitli sektörleri kapsamaktadır. Bu gösterge, üretim hacmindeki değişikliği ifade eden bir referans süresine dayanarak bir endekste ölçülmektedir. Sektörel üretkenliğin ulaşım ile çok yönlü bir etkileşim içerisinde olmasından kaynaklı etkilerinin ayrıştırılması bakımından üretim endeksi çalışmanın çeşitliliğine katkıda bulunmaktadır. Ulaşımın doğrudan ve dışsal faktörler yoluyla imalat üzerindeki etkileri literatürde farklı ülkeler farklı dönemler çerçevesinde ortaya konulmuştur [6,21].

Üretim faktörleri dikkate alındığı zaman işgücünün mobil olması ya da bir başka deyişle işgücünün ulaşım ile olan etkileşimindeki yoğunluk seviyesi birçok açıdan avantaj sağlamaktadır. Başta işgücü olmak üzere, firma, sektör ve genel olarak üretimin daha etkin olmasını sağlamaktadır [22,23]. İşgücünün çalışma alanlarına olan ulaşılabilirliği kadar firmaların işgücüne olan ulaşılabilirliği de önemlidir [24]. Veri kısıtı altında olan ulusal hesaplar arasında sayılabilecek işsizlik değişkeni de ekonomik faaliyetler arasına dâhil edilmiştir. Toplumların sosyal dönüşümleri sırasında

yaşanılan ekonomik süreçlerin detaylarına inildiğinde ulaşım ile etkileşim olduğu görülmektedir. Bu çerçevede maliyetlerin düşürülmesi, üretkenliğin artırılması, işsizliğin azaltılması, yeni piyasaların oluşturulması, ticaretin desteklenmesi ve nihai olarak kişi başına düşen gelir seviyesinin istikrarlı biçimde yükselmesi hedeflenmektedir. Bu açıdan ulaşım hem mobilite hem de altyapısal unsurları bakımından her daim önemini korumaktadır [25].

Çalışmanın amaçları doğrultusunda, Türkiye'deki ulaşım ve ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkileri Diebold ve Yılmaz (2012) [26] yöntemi kullanılarak ölçülmektedir. Metodoloji ve değişkenlerin kapsamı göz önüne alındığında ulaşım ekonomisi alanında özgün bir katkı ortaya konulmuştur. Bu kapsamda ulaşım kaynaklı ve ulaşımaya yönelik yayılmanın GSYİH, dışa açıklık, üretim endeksi ve işsizlik bağlamında anlaşılabilirliği mümkündür. Bu amaçla tartışılan ilişki ağını oluşturan ampirik yöntem hem bazı teknik yenilikleri içermektedir hem de konuyu ele alma biçimi olarak farklı bir çerçeve çizmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümü kullanılan veri seti ve analiz yöntemini içermekte, üçüncü bölümde bulgular, dördüncü bölümde ise sonuç kısımları yer almaktadır.

2. Veriler ve Yöntem

2.1. Veri Seti

Öncelikle bu çalışmada kullanılan tüm veriler Türkiye için 1970-2018 dönemi yıllık frekansta olup, ulaşım ve ekonomik göstergeler olmak üzere iki ayrı gruptan oluşmaktadır.

Ulaşım verileri iki ayrı özellikte toplam altı değişken içermektedir. Havayolu yolcu ve yük taşımacılığı verileri Dünya Bankası'ndan alınmıştır. Karayolu ve demiryolu yolcu ve yük taşımacılığı verileri ise Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü[†] (OECD)'nden alınmıştır. Daha sonra Türkiye'nin aynı tarihlerdeki nüfus verileri Dünya Bankası'ndan alınmış ve tüm ulaşım verileri nüfusa bölünmek suretiyle kişi başına olarak hazırlanmıştır. Bunun nedeni hem verilerin nüfus etkisinden arındırılması hem de kişi başına düşen GSYİH başta olmak üzere ekonomik faaliyet değişkenleri ile aynı düzlemde inceleyebilmektir.

[†] Organisation for Economic Co-operation and Development

Ekonomik faaliyet verileri dört değişkenden oluşmaktadır. Kişi başına düşen GSYİH verileri Dünya Bankası'ndan alınmıştır. İhracat artı ithalat yani toplam ticaret hacminin GSYİH'ya bölünmesiyle oluşan dışa açıklık verileri de Dünya Bankası'ndan alınmıştır. Üretim endeksi verileri ise OECD'den alınmıştır. İşsizlik verisi

ise Federal Rezerv Ekonomik Verileri[‡] (FRED)'nden alınmıştır.

Analizlere başlamadan önce tüm verilerin logaritmik getiri serileri oluşturulmuştur ve bu verilere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	E1	E2	E3	E4
Ortalama	0,13	0,08	0,00	-0,01	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Medyan	0,15	0,10	0,00	0,00	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,05
Maksimum	0,56	0,48	0,18	0,23	0,35	0,16	0,09	0,63	0,15	0,59
Minimum	-0,41	-0,70	-0,28	-0,22	-0,13	-0,18	-0,08	-0,31	-0,12	-0,30
Std. Sapma	0,20	0,19	0,09	0,09	0,08	0,06	0,04	0,15	0,06	0,21
Skewness	-0,16	-1,41	-0,54	0,15	1,30	-0,76	-0,89	0,96	-0,89	0,51
Kurtosis	3,41	7,84	3,60	2,61	7,10	4,90	3,27	7,02	3,73	3,01
Jarque-Bera	0,54	62,91	3,07	0,48	47,16	11,86	6,53	39,61	7,39	2,10
Gözlem say.	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Bu tabloda yer alan tanımlayıcı istatistikler logaritmik getiri serilerine aittir. U1: Havayolları yük taşımacılığı; U2: Havayolları yolcu taşımacılığı; U3: Demiryolları yük taşımacılığı; U4: Demiryolları yolcu taşımacılığı; U5: Karayolları yük taşımacılığı; U6: Karayolları yolcu taşımacılığı; E1: GSYİH; E2: Dış açıklık; E3: Üretim endeksi; E4: İşsizlik.

2.2. Analiz Yöntemi

Bu çalışmada kullanılan Diebold ve Yılmaz (2012) yöntemi [26], selefi olan ve 2009 yılında yine aynı yazarlar tarafından geliştirilen DY yayılma endeks yöntemi [27] geliştirilmek suretiyle literatüre sunulmuştur. Bu yeni yöntem sayesinde Cholesky faktör ortogonalleşmesine bağlı olarak sonuçların sıralama etkisine bağımlılığını ortadan kaldıran N -değişkenli genelleştirilmiş vektör özbağlanım[§] (VAR) çerçevesinde toplam, yönsel, net ve net ikili yayılma etkileri elde edilebilmektedir.

Bu yöntem dâhilinde toplam yayılma etkisi aşağıdaki gibidir;

$$S^g(H) = \frac{\sum_{j=1, i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \times 100 \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde şokların diğer tüm değişkenlere yayılmalarını ve toplam tahmin hatası varyansına ortalama katkısını vermektedir. Burada yer alan $\tilde{\theta}_{ij}^g(H)$, genelleştirilmiş VAR çerçevesinde H -birimleri tahmini hata varyans ayrışmasıdır [28,29].

Yönsel yayılma parametreleri ise diğer değişkenlerden i ye doğru ve i den diğerlerine

doğru olmak üzere iki farklı denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

İlk olarak diğer değişkenlerden i ye doğru;

$$S_{i \leftarrow j}^g(H) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \times 100 \quad (2)$$

Benzer şekilde i den diğerlerine doğru;

$$S_{j \leftarrow i}^g(H) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N \tilde{\theta}_{ji}^g(H)}{N} \times 100 \quad (3)$$

Bu bağlamda, yukarıda denklemleri verilen yönsel yayılma etkileri, toplam yayılma etkisinin belirli bir kaynaktan gelen veya o kaynağa doğru giden olarak ayrışmaktadır.

Net yayılma ise iletilen brüt etkiler ile tüm diğer değişkenlerden gelenler arasındaki farktır ve i den diğer değişkenlere doğru oluşan net yayılma etkisi şu şekildedir;

$$S_i^g(H) = S_{j \leftarrow i}^g(H) - S_{i \leftarrow j}^g(H) \quad (4)$$

Son olarak i ve j arasındaki net ikili yayılma, sadece i den j ye doğru iletilen brüt etki ile j den i ye aktarılan brüt etki arasındaki fark olarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmaktadır

$$S_{ij}^g(H) = \frac{\tilde{\theta}_{ji}^g(H) - \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{N} \times 100 \quad (5)$$

[‡] Federal Reserve Economic Data of St. Louis

[§] Generalized Vector Autoregression

3. Bulgular

Ulaşım ve ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkilerini tahminleyebilmek için verilerin durağan olmaları gerekmektedir. Şekil 1'de de görülebilen logaritmik getiri serileri

oluşturulan veriler kullanılmak suretiyle Genişletilmiş Dickey-Fuller** (ADF) [30] ve Dickey-Fuller GLS†† [31] birim kök testleri ile bu verilerin hangi seviyeden durağan oldukları tespit edilmiş ve elde sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Birim Kök Test Sonuçları

Değişkenler	ADF	DF-GLS	Kritik değerler
	t-Stat	t-Stat	
U1	-7,86 ***	-7,92 ***	ADF %1: -4,17 %5: -3,51 %10: -3,18
U2	-9,01 ***	-6,43 ***	
U3	-6,39 ***	-5,83 ***	
U4	-5,95 ***	-7,66 ***	
U5	-5,97 ***	-7,68 ***	
U6	-5,04 ***	-5,15 ***	
E1	-6,79 ***	-6,87 ***	DF-GLS %1: -3,77 %5: -3,19 %10: -2,89
E2	-5,89 ***	-5,66 ***	
E3	-6,61 ***	-6,50 ***	
E4	-5,31 ***	-5,33 ***	

Birim kök testi logaritmik getiri serilerine uygulanmıştır. ***, %1 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlılığı ve dolayısıyla serilerin düzeyde durağan olduğunu göstermektedir. ADF için tek-yanlı olasılık değerleri [32] ve DF-GLS için kritik değerler [31] Tablo 1'deki kritik değerlerden alınmıştır. U1: Havayolları yük taşımacılığı; U2: Havayolları yolcu taşımacılığı; U3: Demiryolları yük taşımacılığı; U4: Demiryolları yolcu taşımacılığı; U5: Karayolları yük taşımacılığı; U6: Karayolları yolcu taşımacılığı; E1: GSYİH; E2: Dış açıklık; E3: Üretim endeksi; E4: İşsizlik.

Bu sonuçlara göre tüm veriler düzeyde durağandır. Buradan hareketle logaritmik getiri serilerinin dönüştürülmeye ihtiyaç olmadan aralarındaki yayılma etkileri hesaplanabilir durumda oldukları görülmüştür. Hesaplanan yayılma etkileri Tablo 3, 4 ve 5'de gösterilmektedir. Yayılma etkilerinin zamana göre değişimlerini gösterildiği grafikler ise Şekil 2-11'den incelenebilir.

İlk olarak yük taşımacılığı ile ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkileri hesaplanmıştır. Tablo 3'deki sonuçlara göre diğer değişkenlere olan yayılma etkileri (T

satırı) incelendiği zaman ulaşım kaynaklı en yüksek oran %37,71 ile demiryolları yük taşımacılığındadır. Karayolları %24,68 ve havayolları %15,62 ile iki ve üçüncü sıradadır. Ekonomik faaliyetlerde ise en yüksek oran %71,81 ile beklendiği gibi GSYİH kaynaklıdır. Üretim endeksi %60,31, dış açıklık %24,55 ve işsizlik %14,37 sırasıyla etkilerin azaldığı görülmektedir. Yayılma etkilerinin zamansal dağılımı ise Şekil 2'de yer almaktadır. Ulaşım değişkenleri açısından en yüksek oranlar 1980 civarı iken en düşük etkilerin ise 1995-2000 dönemi olduğu görülebilir.

Tablo 3. Yük taşımacılığı ve ekonomik değişkenler arasındaki yayılma parametreleri

	U1	U3	U5	E1	E2	E3	E4	F
U1	75.21	6.34	1.04	4.02	6.88	3.13	3.39	24.79
U3	4.96	61.27	1.71	13.50	4.36	13.66	0.55	38.73
U5	2.80	1.99	69.14	15.54	2.42	7.95	0.17	30.86
E1	1.20	9.68	10.53	43.85	1.26	32.07	1.41	56.15
E2	4.27	2.79	1.75	2.48	81.53	0.59	6.59	18.47

** Augmented Dickey-Fuller

†† Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (Generalized Least Squares)

	U1	U3	U5	E1	E2	E3	E4	F
E3	0.79	9.99	6.68	32.98	2.57	44.74	2.26	55.27
E4	1.61	6.91	2.96	3.30	7.06	2.93	75.24	24.77
T	15.62	37.71	24.68	71.81	24.55	60.31	14.37	249.03
O	90.83	98.97	93.82	115.66	106.08	105.04	89.61	
Net	-9.17	-1.03	-6.18	15.66	6.08	5.05	-10.40	Tye 35.58

U1: Havayolları yük taşımacılığı; U3: Demiryolları yük taşımacılığı; U5: Karayolları yük taşımacılığı; E1: GSYİH; E2: Dış açıklık; E3: Üretim endeksi; E4: İşsizlik; F: Diğerlerinden yönlü; T: Diğerlerine yönlü; O: Kendisini içeren diğerlerine yönlü; Net: Net Yayılma; Tye: Toplam yayılma endeksi.

Yine Tablo 3'deki diğer değişkenlerden yönlü (F sütunu) yayılma etkileri karşılaştırıldığında ulaşımda en yüksek etkilenme oranı %38,73 ile demiryolları yük taşımacılığıdır. Karayolları ve havayolları ise %30,86 ve %24,79 ile onu takip etmektedir. Ekonomik faaliyetler dikkate alındığında ise GSYİH %56,15, üretim endeksi %55,27, işsizlik %24,77 ve dış açıklık %18,47 ile son sıradadır. Getiri serilerinin etkilenmesini temsil eden bu parametrelerin zaman içerisindeki gelişimi Şekil 3 üzerinden takip edilebilir.

İkili yayılma etkileri sütundan satır yönüne doğru okunmaktadır. Ekonomik faaliyetlerden bakıldığında yayılmanın GSYİH'dan karayollarına %15,54, üretim endeksinden demiryollarına %13,66 ve yine GSYİH'dan demiryollarına %13,50 oranlarında olduğu görülmektedir. İkili etkileşimlere diğer yönden bakıldığında ise en yüksek oranlar karayollarından GSYİH'ya %10,53, demiryollarından sırasıyla üretim endeksine

%9,99 ve GSYİH'ya %9,68 şeklindedir. Geriye kalanlar ise daha düşük oranlarda seyretmektedir. Havayolları ele alındığında ikili yayılmalar diğer ulaşım modlarına oranla düşüktür. Yine de bunların arasında en yüksek yayılma karşılıklı olarak dış açıklıktan havayollarına %6,88 ve havayollarından dış açıklığa %4,27 oranlarındadır.

Net yayılma ($T - F = Net$) etkileri bağlamındaki yük taşımacılığı değişkenleri incelendiğinde hepsinin negatif olduğu yani etkileyen değil etkilenen oldukları görülmektedir. Havayolları yük taşımacılığına % -9,17 ile en çok etki geçişi olurken karayollarına % -6,18 ve demiryollarına % -1,03. Ekonomik faaliyetlerde ise işsizlik harici durum tam tersinedir. Net yayılma parametrelerinin zaman içerisindeki dağılımı ise Şekil 4'te görülebilir. Havayolları her daim net etkilenen olurken, demiryolları 1975-1980 ve karayolları 1980-1990 dönemlerinde istisnai olarak net etkileyen rolünü üstlenmişlerdir.

Tablo 4. Yolcu Taşımacılığı ve ekonomik değişkenler arasındaki yayılma parametreleri

	U2	U4	U6	E1	E2	E3	E4	F
U2	54.80	6.03	7.55	12.67	6.42	9.86	2.68	45.21
U4	2.21	82.42	4.70	2.59	2.70	3.55	1.85	17.59
U6	6.16	2.85	53.03	17.49	4.17	15.09	1.22	46.97
E1	9.91	3.21	13.58	41.13	1.24	29.65	1.30	58.88
E2	4.29	1.85	15.24	3.76	68.05	1.57	5.24	31.95
E3	6.87	4.06	13.04	30.19	1.86	41.46	2.54	58.55
E4	1.25	1.50	1.67	3.44	4.75	3.96	83.44	16.57
T	30.68	19.49	55.78	70.13	21.14	63.67	14.82	275.69
O	85.47	101.90	108.81	111.25	89.19	105.12	98.26	Tye

	U2	U4	U6	E1	E2	E3	E4	F
Net	-14.53	1.90	8.81	11.25	-10.81	5.12	-1.75	39.39

U2: Havayolları yolcu taşımacılığı; U4: Demiryolları yolcu taşımacılığı; U6: Karayolları yolcu taşımacılığı; E1: GSYİH; E2: Dış açıklık; E3: Üretim endeksi; E4: İşsizlik; F: Diğerlerinden yönlü; T: Diğerlerine yönlü; O: Kendisini içeren diğerlerine yönlü; Net: Net Yayılma; Tye: Toplam yayılma endeksi.

İkinci olarak yolcu taşımacılığı ile ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkileri hesaplanmıştır. Tablo 4'deki sonuçlara göre diğer değişkenlere olan yayılma etkileri (T satırı) incelendiği zaman en yüksek oran %55,78 ile karayolları yolcu taşımacılığı kaynaklıdır. Havayolları %30,68 ve demiryolları %19,49 ile iki ve üçüncü sıradadır. Ekonomik faaliyetlerde ise en yüksek oran %70,13 ile beklendiği gibi GSYİH kaynaklıdır. Üretim endeksi %63,67 dışa açıklık %21,14 ve işsizlik %14,82 sırasıyla etkilerin azaldığı görülmektedir. Yayılma etkilerinin zamansal dağılımı ise Şekil 5'de yer almaktadır. Ulaşım değişkenleri açısından en yüksek oranlar havayolları için 1980, demiryolları için 1980-2000 ve karayolları için 1980-1990 dönemleridir. Yayılma etkilerinin azaldığı dönemler ise genel olarak 2010 sonrasıdır.

Tablo 4 üzerinde diğer değişkenlerden yönlü (F sütunu) yayılma etkileri karşılaştırıldığında ulaşımda en yüksek etkilenme oranı az farkla %46,97 ile karayolları yük taşımacılığıdır. Havayolları ve demiryolları ise sırasıyla %45,21 ve %17,59 ile onu takip etmektedir. Ekonomik faaliyetler dikkate alındığında ise yine az farkla GSYİH %58,88 ile en yüksek orandadır. Onu sırasıyla üretim endeksi %58,55 dışa açıklık %31,95 ve işsizlik %16,57 takip etmektedir. Getiri serilerinin etkilenmesini temsil eden bu parametrelerin zaman içerisinde gelişimi Şekil 6 üzerinden takip edilebilir.

İkili yayılma etkileri incelendiğinde en yüksek oranların GSYİH ve üretim endeksinden karayollarına sırasıyla %17,49 ve %15,09 ile GSYİH ve üretim endeksinden havayollarına sırasıyla %12,67 ve %9,86 şeklindedir. Ulaşım açısından bakılırsa da karayollarından dışa açıklığa %15,24, GSYİH'ya %13,58 ve üretim endeksine %13,04 şeklindedir. Havayollarından GSYİH'ya %9,91 ve üretim endeksine %6,87 olarak gözlemlenmiştir. Bunların yanı sıra demiryolları incelendiğinde ise ikili yayılmanın yüksek olmadığı, karşılıklı oranlar dikkate alındığında ise en yüksek

yayılmanın üretim endeksi ile karşılıklı olduğu görülmektedir.

Net yayılma etkileri bağlamında yolcu taşımacılığı kısmı incelendiğinde sadece havayollarının negatif olarak etkilenen, demiryolları ve karayolları ise pozitif yani etkileyen olduğu görülmektedir. Havayolları yolcu taşımacılığına %-14,53 ile yüksek oranda etki geçişi olurken karayollarından %8,81 ve demiryollarından %1,90 ile etki gönderimi olmaktadır. Ekonomik faaliyetlerde ise dışa açıklık ve işsizlik etkilenen, GSYİH ve üretim endeksi ise etkileyendir. Net yayılma parametrelerinin zaman içerisindeki dağılımı ise Şekil 7'de görülebilir. Havayolları kısa birkaç dönem hariç net etkilenen olurken, demiryolları 1980-2010, karayolları ise 1980-1985 ve 1995-2010 dönemlerinde net etkileyen rolünü üstlenmişlerdir.

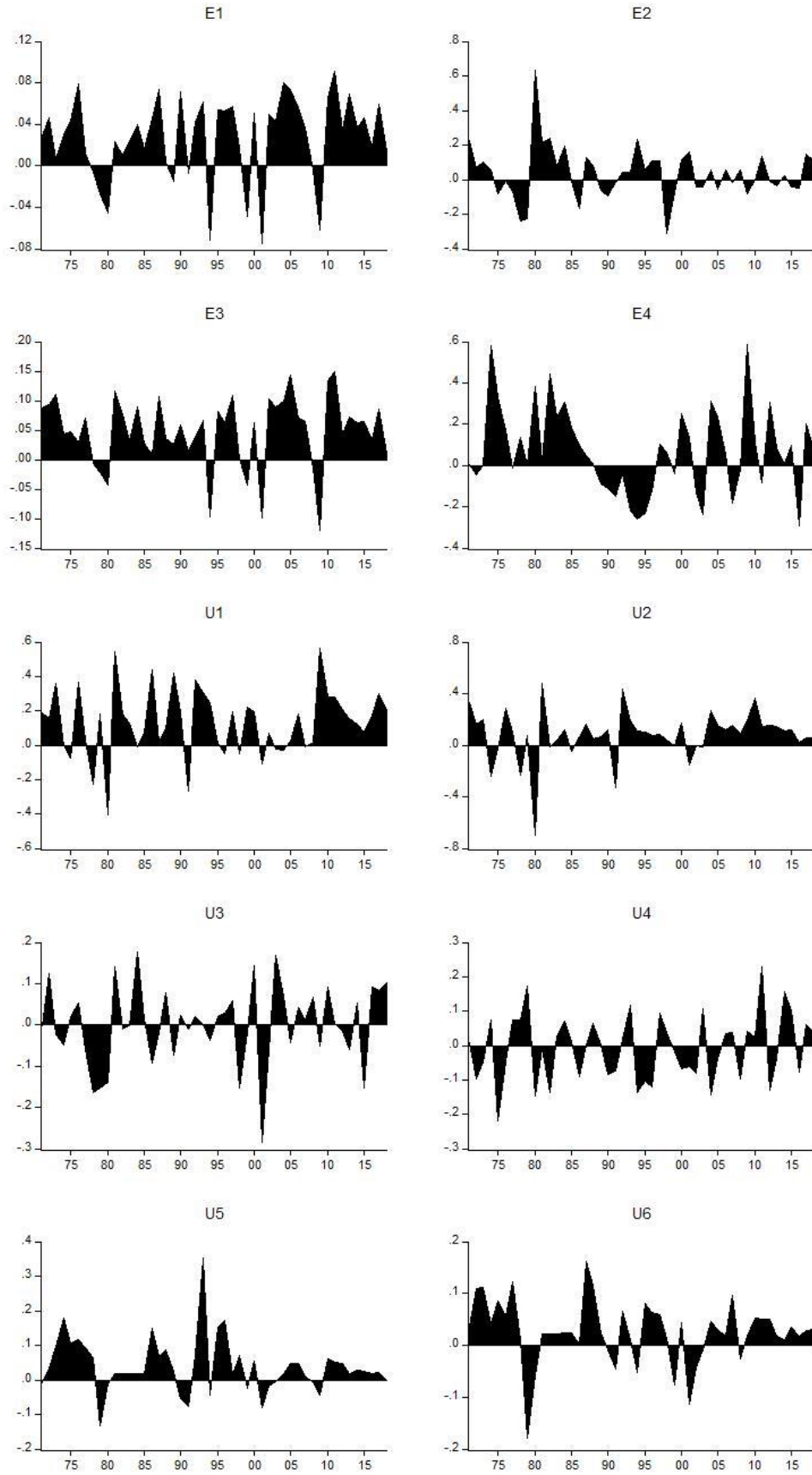
Son olarak yük ve yolcu taşımacılığının birlikte ekonomik faaliyetlerle arasındaki yayılma etkileri hesaplanmıştır. Tablo 5'deki sonuçlara göre diğer değişkenlere olan yayılma etkileri (T satırı) incelendiği zaman en yüksek oranlar %72,39 ve %71,75 ile sırasıyla karayolları yolcu taşımacılığı ve havayolları yolcu taşımacılığı kaynaklıdır. Demiryolları ve havayolları yük taşımacılığı ise sırasıyla %50,98 ve %36,73 ile sıralamada üçüncü ve dördüncü sırayı almaktadır. Son sıralarda ise %28,90 ve %22,63 ile sırasıyla karayolları yük taşımacılığı ve demiryolları yolcu taşımacılığı. Ekonomik faaliyetlerde ise en yüksek oran %82,88 ile beklendiği gibi GSYİH kaynaklıdır. Üretim endeksi %69,37 dışa açıklık %26,86 ve işsizlik %15,62 şeklinde etkileşim azalmaktadır. Yayılma etkilerinin zamansal dağılımı ise Şekil 8'de yer almaktadır. Ulaşım değişkenleri açısından en yüksek oranlar havayolları için 1980, demiryolları için 1990 dönemi azalmasına rağmen 1980-2000 ve karayolları için 1975-1995 dönemleridir. Yayılma etkilerinin azaldığı dönemler ise yük taşımacılığı için 1995 sonrası, yolcu taşımacılığı içinse değişkenlikler olsa da genel olarak 2010 sonrası denebilir.

Tablo 5 üzerinde diğer değişkenlerden yönlü (F sütunu) yayılma etkileri karşılaştırıldığında ulaşımda en yüksek etkilenme oranı %62,24 ile havayolları yolcu taşımacılığıdır. Karayolları yolcu ve demiryolları yük taşımacılığı ise sırasıyla %57,84 ve %49,99 ile onu takip etmektedir.

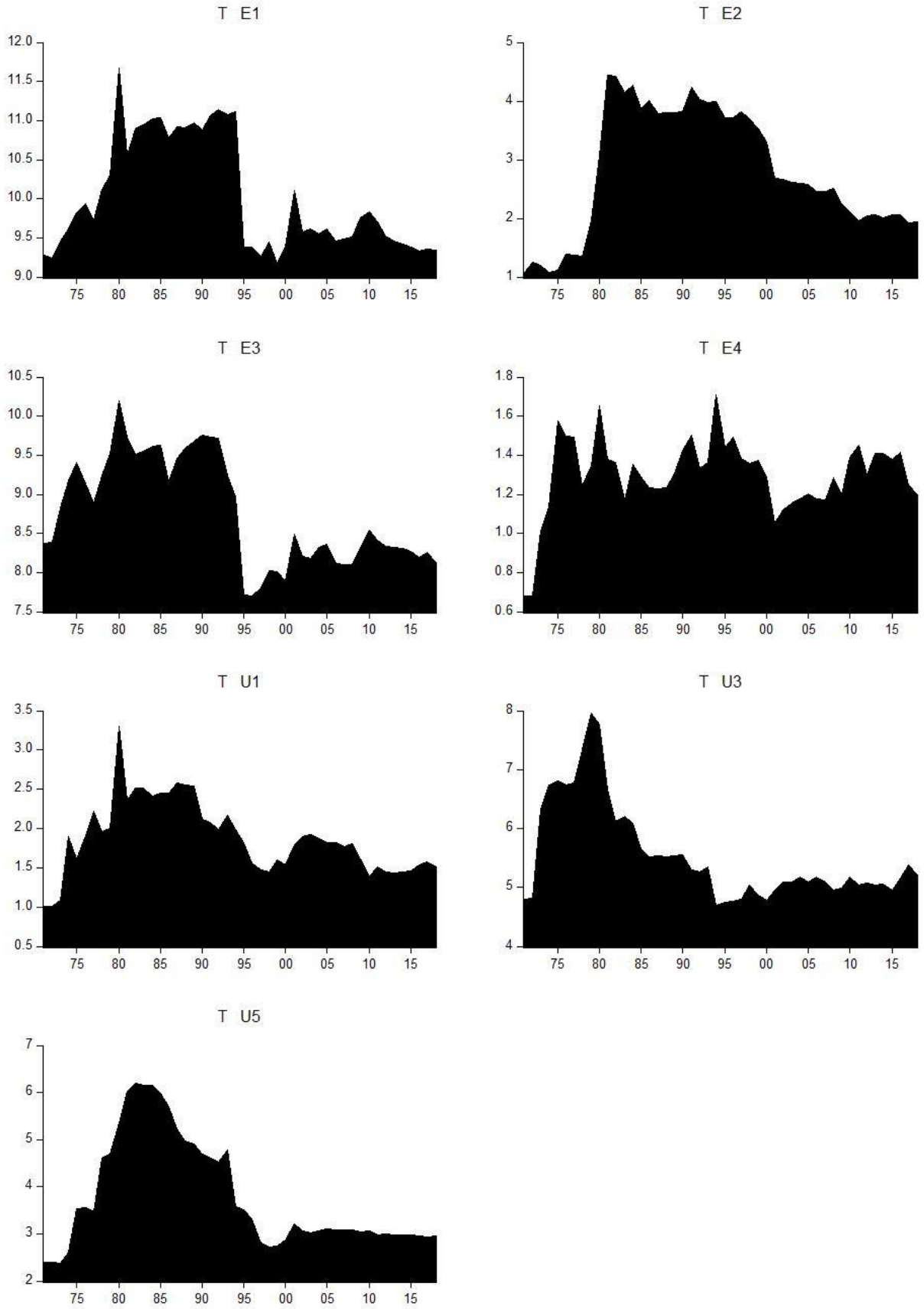
Tablo 5. Yük ve Yolcu Taşımacılığı ve ekonomik değişkenler arasındaki yayılma parametreleri

	U1	U2	U3	U4	U5	U6	E1	E2	E3	E4	F
U1	53.059	25.400	4.082	5.488	0.593	0.996	2.206	4.034	1.853	2.288	46.941
U2	16.983	37.755	8.490	4.063	1.265	5.155	9.876	4.645	8.357	3.411	62.245
U3	3.569	10.889	50.012	1.604	1.157	9.057	9.492	3.334	10.110	0.775	49.988
U4	4.421	2.507	0.435	79.751	0.061	4.264	2.249	2.150	2.978	1.184	20.249
U5	1.699	2.495	2.460	1.292	55.086	16.609	12.551	2.420	5.090	0.296	44.914
U6	3.019	4.982	9.546	2.112	9.264	42.159	12.937	3.407	11.937	0.637	57.841
E1	0.578	9.413	6.463	2.625	8.576	10.719	34.878	1.033	24.723	0.993	65.122
E2	4.501	4.601	4.612	1.225	0.413	12.899	3.544	61.984	1.669	4.552	38.016
E3	0.559	7.483	7.510	3.163	4.288	11.555	26.299	1.285	36.374	1.484	63.626
E4	1.400	3.982	7.382	1.059	3.288	1.133	3.722	4.547	2.649	70.839	29.161
T	36.729	71.752	50.982	22.630	28.904	72.388	82.876	26.856	69.366	15.620	478.103
O	89.789	109.507	100.993	102.381	83.990	114.547	117.754	88.840	105.740	86.459	
Net	-10.211	9.507	0.993	2.381	-16.010	14.547	17.754	-11.160	5.740	-13.541	Tye 47.810

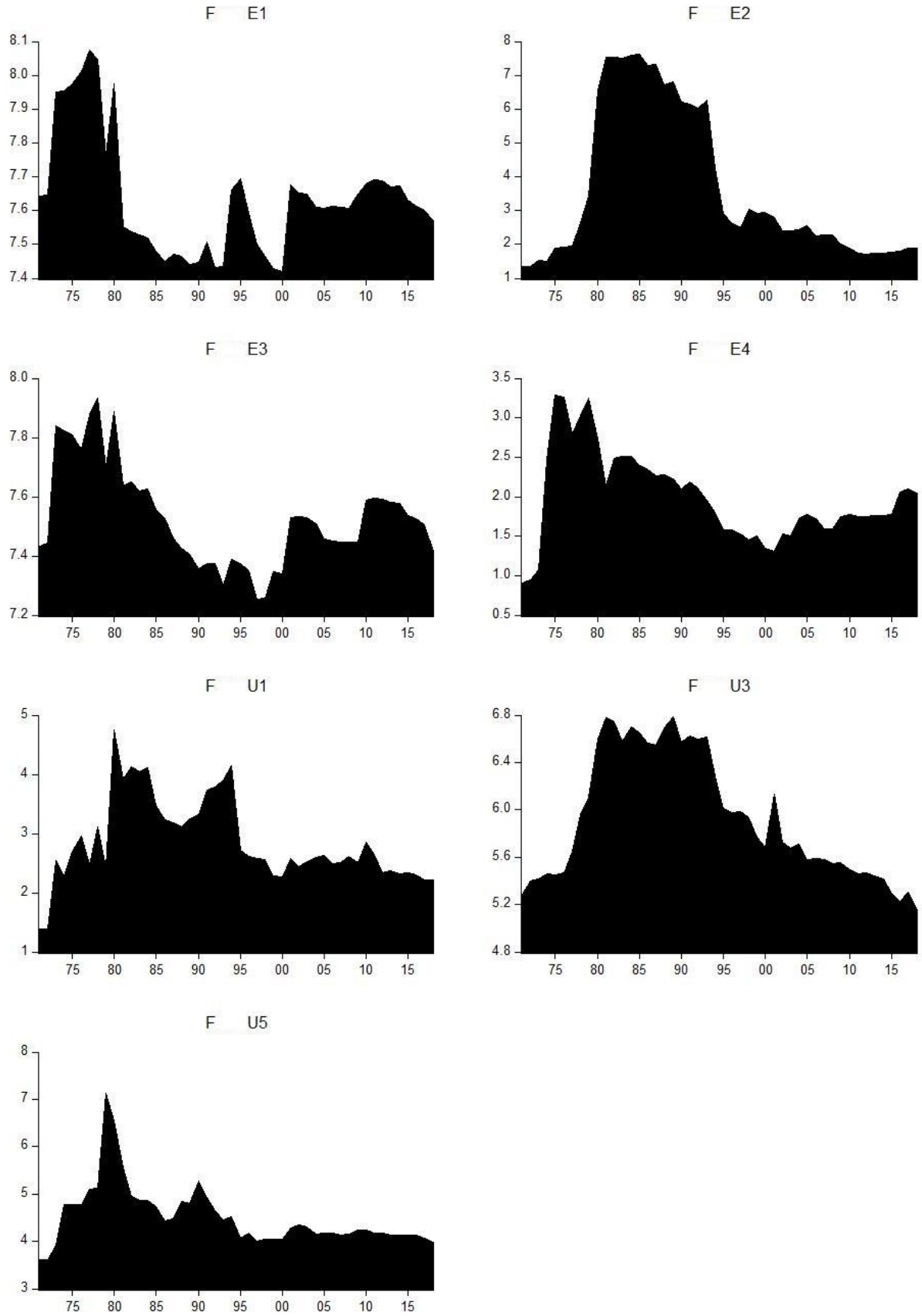
U1: Havayolları yük taşımacılığı; U2: Havayolları yolcu taşımacılığı; U3: Demiryolları yük taşımacılığı; U4: Demiryolları yolcu taşımacılığı; U5: Karayolları yük taşımacılığı; U6: Karayolları yolcu taşımacılığı; E1: GSYİH; E2: Dış açıklık; E3: Üretim endeksi; E4: İşsizlik; F: Diğerlerinden yönlü; T: Diğerlerine yönlü; O: Kendisini içeren diğerlerine yönlü; Net: Net Yayılma; Tye: Toplam yayılma endeksi.



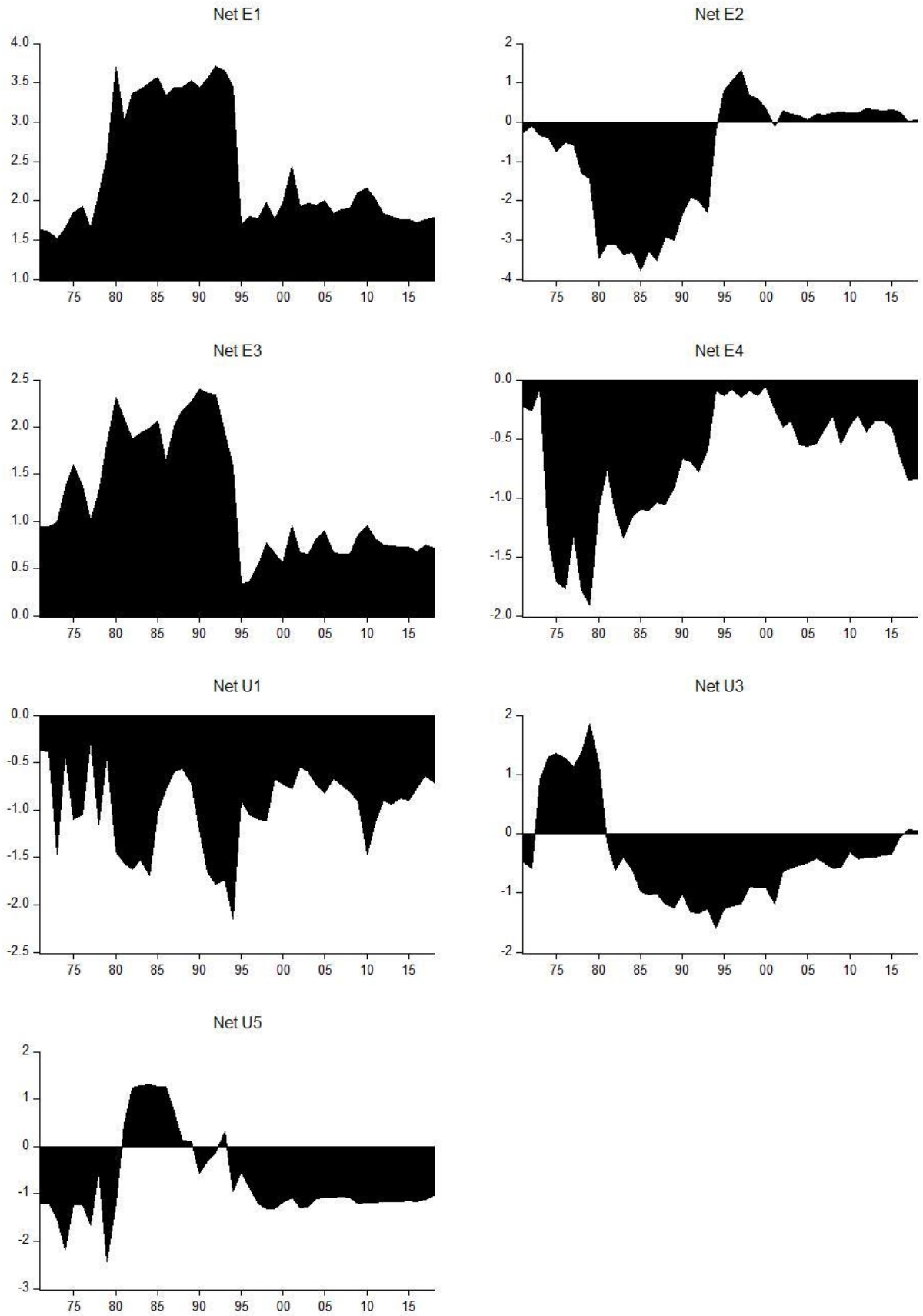
Şekil 1. Logaritmik getiri serileri.



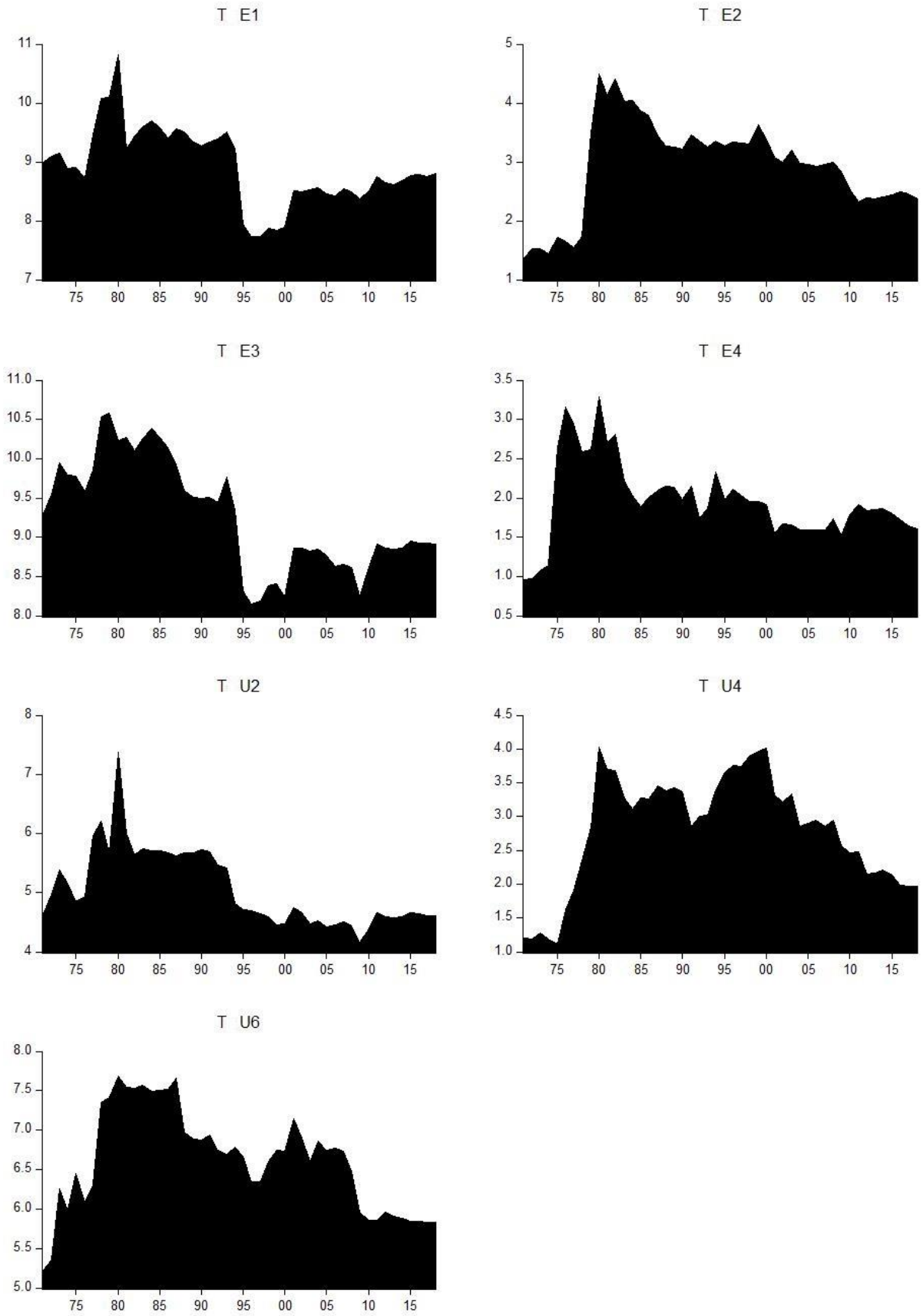
Şekil 2. Yük taşımacılığı diğerlerine yönlü.



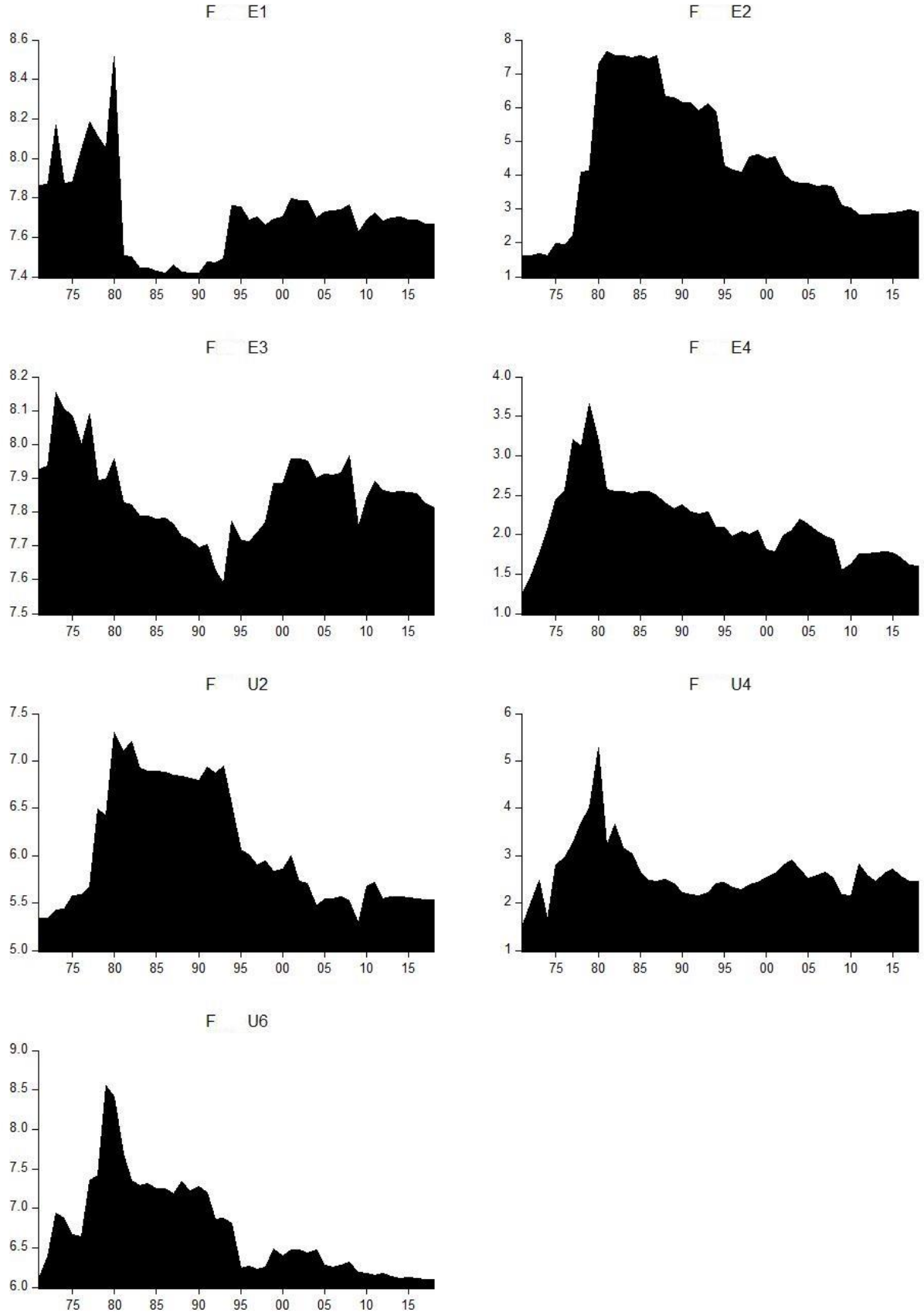
Şekil 3. Yük taşımacılığı değerlerinden yönlü.



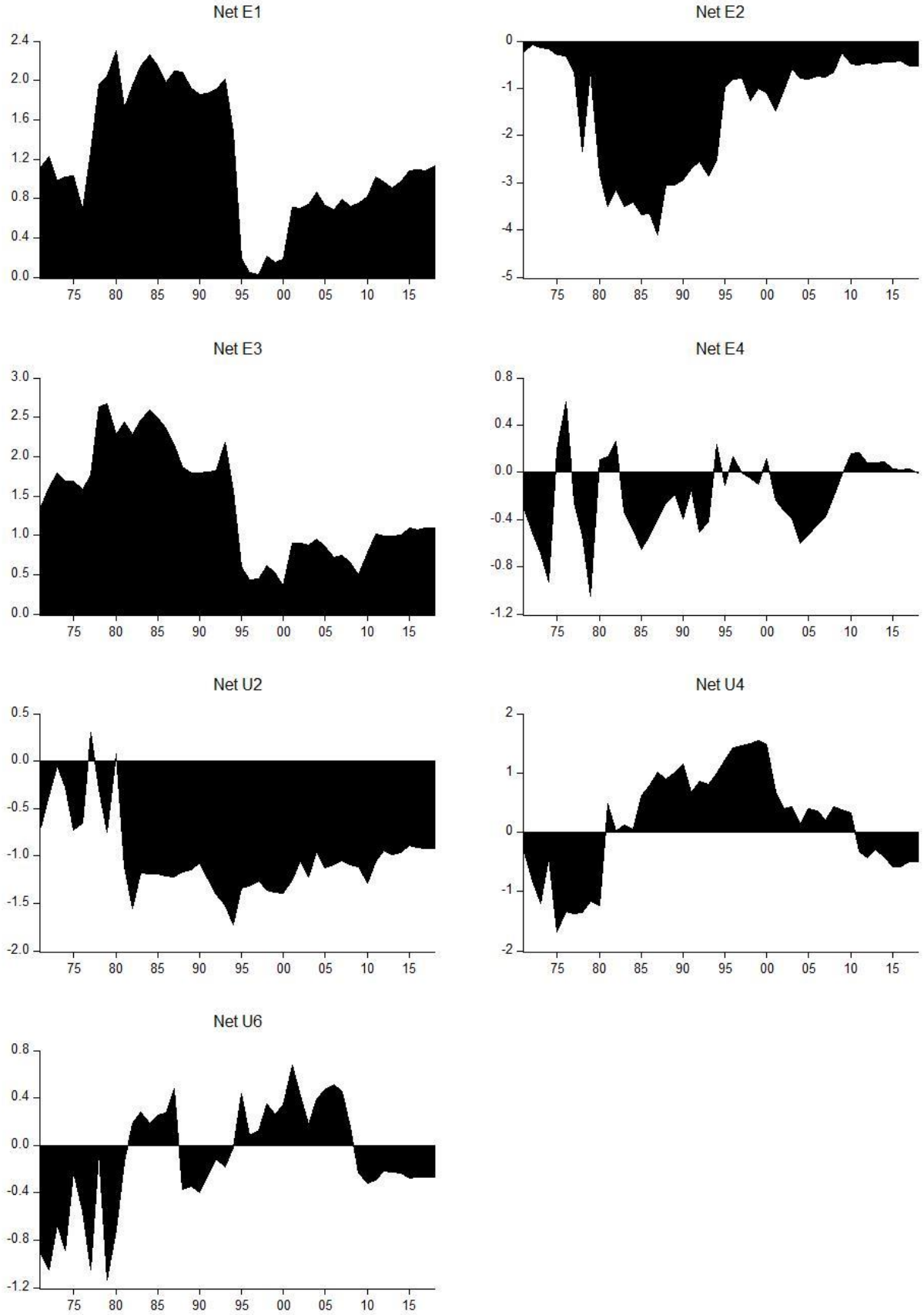
Şekil 4. Yük taşımacılığı net yayılma.



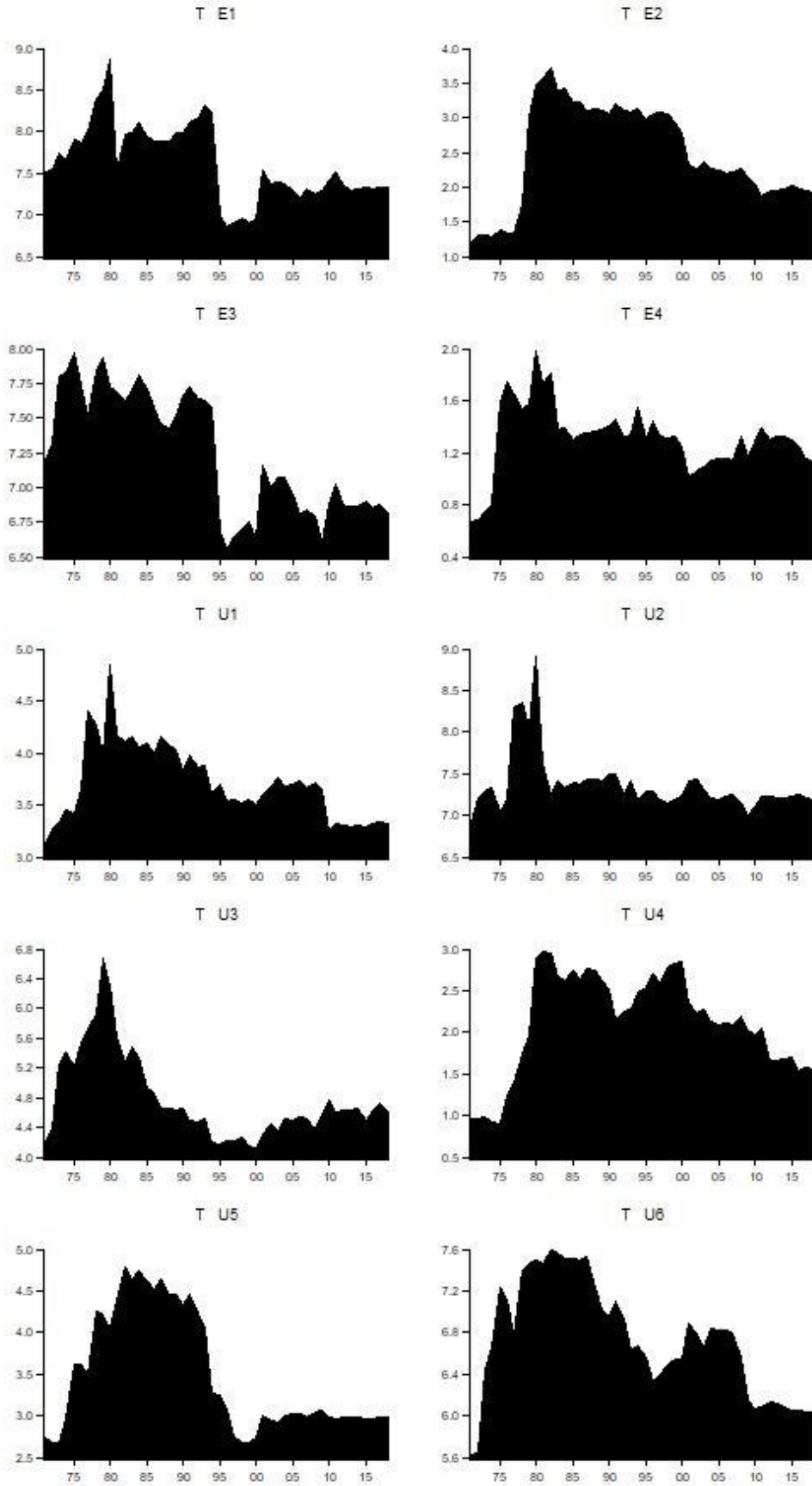
Şekil 5. Yolcu taşımacılığı diğerlerine yönlü.



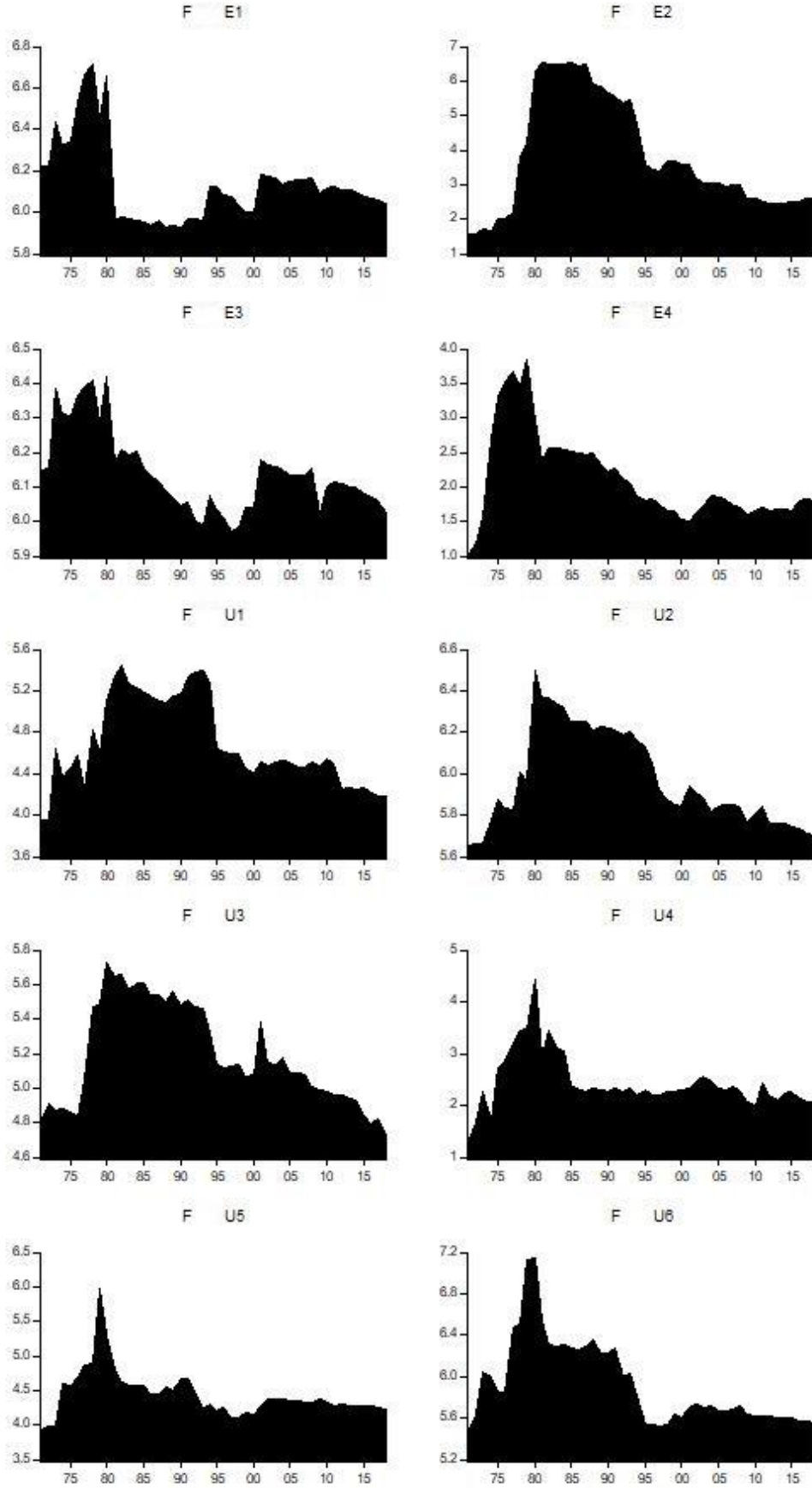
Şekil 6. Yolcu taşımacılığı diğerlerinden yönlü.



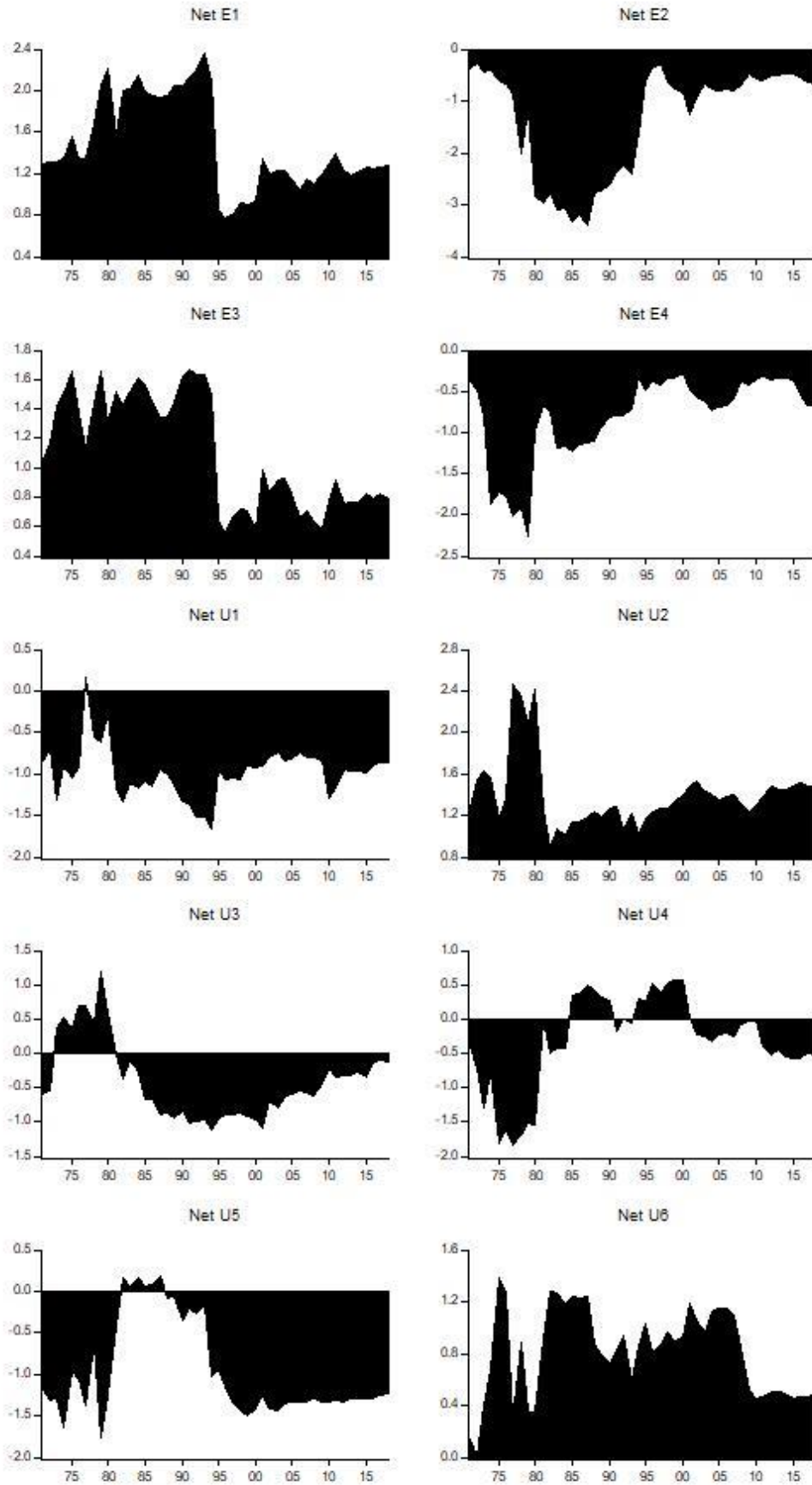
Şekil 7. Yolcu taşımacılığı net yayılma.



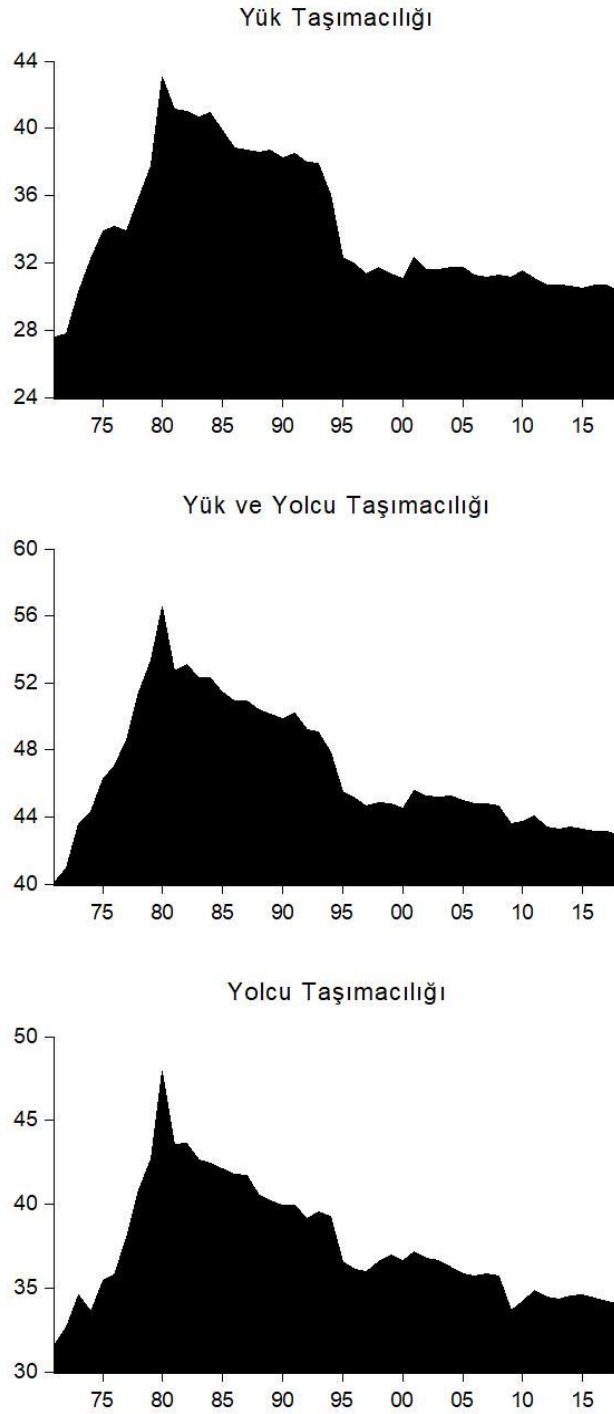
Şekil 8. Yük ve Yolcu taşımacılığı değerlerine yönlü.



Şekil 9. Yük ve Yolcu taşımacılığı diğerlerinden yönlü.



Şekil 10. Yük ve Yolcu taşımacılığı net yayılma.



Şekil 11. Toplam yayılma endeksi.

Ekonomik faaliyetler dikkate alındığında ise az farkla GSYİH %65,12 ile en yüksek orandadır. Onu sırasıyla üretim endeksi %63,63 dışa açıklık %38,02 ve işsizlik %29,16 ile takip etmektedir. Getiri serilerinin etkilenmesini temsil eden bu parametrelerin zaman

içerisindeki gelişimi Şekil 9 üzerinden takip edilebilir.

İkili yayılma etkilerinde ekonomik faaliyetler arasında GSYİH ve üretim endeksi ön plana çıkmaktadır. En yüksek yayılma oranlarının GSYİH'dan karayolları yolcu ve yük

taşımacılığına sırasıyla %12,94 ve %12,55 olduğu görülmektedir. Üretim endeksinden karayolları yolcu ve demiryolları yük taşımacılığına sırasıyla %11,94 ve %10,11 oranları görülmektedir.

Ulaşım kaynaklı ikili yayılmalar incelendiğinde ise en yüksek oranlar karayolları yolcu taşımacılığından dışa açıklık, üretim endeksi ve GSYİH yönünde sırasıyla %12,90, %11,56 ve %10,72'dir. Bunların yanı sıra havayolları yolcu ve karayolları yük taşımacılığından GSYİH'ya sırasıyla %9,41 ve %8,58, demiryolları yük ve havayolları yolcu taşımacılığından üretim endeksine sırasıyla %7,51 ve %7,48 oranları öne çıkmaktadır. Son olarak demiryolları yük taşımacılığından işsizlik yönüne %7,38 yayılma dikkat edilmesi gereken önemli bir orandır.

İkili yayılmalar genel toplam şeklinde ele alındığında ise ekonomik faaliyetlerden ulaşım ölçümlerine gelen etkiler sınıflandırıldığı zaman yolcu taşımacılığı %63,77 oranında etkilenirken yük taşımacılığı ise %54,45 oranında daha az etkilenmektedir. Ulaşım modları bakımından ise karayolları %49,28 ile en yüksek oranla etkilenirken havayolları ve demiryolları ise sırasıyla %36,67 ve %32,27 oranlarında daha az oranla etkilenmektedirler.

Yine ikili etkileşimler genel toplamlar kapsamında incelendiğinde ise ulaşım ölçümlerinden ekonomik faaliyetlere yönelen etkiler sınıflandırıldığı zaman yolcu taşımacılığı %69,86 oranında etkilerken yük taşımacılığı ise %49,57 oranında yolcu taşımacılığına oranla daha az etkilenmektedir. Ulaşım modları bakımından ise en yüksek yayılma %52,87 ile karayollarından gelirken demiryolları ve havayollarından ise sırasıyla %34,04 ve %32,52 oranlarında yayılma olduğu görülmektedir.

Net yayılmalar incelendiğinde havayolları ve karayolları yük taşımacılığı sırasıyla %-10,21 ve %-16,01 oranlarıyla etkilendikleri görülmektedir. Diğer tüm ulaşım değişkenleri ise net etkileyen olarak konumlanmışlardır. En yüksek yayılma kaynağı %14,55 ile karayolları yolcu iken havayolları yolcu taşımacılığı ise %9,51 ile ikinci sıradadır. Demiryollarının net yayılmaları ise pozitif ancak düşük oranlardadır. Ekonomik faaliyetlerde ise dışa açıklık %-11,16 ve işsizlik %-13,54 oranlarıyla etkilenen, GSYİH %17,75 ve üretim endeksi ise %5,74 ile net etkileyendir. Net yayılma

parametrelerinin zaman içerisindeki dağılımı ise Şekil 10 üzerinden görülebilir. Havayolları ve karayolları net yayılmaları açısından genel olarak yük taşımacılığı negatif alanlarda yolcu taşımacılığı ise pozitif alanlarda seyretmektedir. Demiryollarında ise hem yük hem de yolcu taşımacılığında zaman içerisinde değişen roller söz konusudur. Tüm modlar genel olarak kendi aralarında ve ekonomik faaliyetlerle etkileşimleri incelendiğinde tamamlayıcılığın ön plana çıktığı görülmektedir.

Son olarak analizlerde yer alan toplam yayılma endeksi tüm değişkenlerin tek bir parametre ile değerlendirilebilmesini sağlamaktadır. Sadece yük taşımacılığını dikkate alan analizlerde %35,58 (Tablo 3) yalnızca yolcu taşımacılığında %39,39 (Tablo 4) ve ikisi birlikte olduğunda ise %47,81 (Tablo 5) olarak ölçülmüştür. Bunların zaman içerisindeki dağılımları ise Şekil 11'de yer almaktadır. Toplam yayılma endekslerine bakıldığında yükselişin sonlanıp düşüşün başladığı 1980 önemlidir. Bir diğer önemli dönüm noktası ise 1995 olduğu görülmektedir. 1980-1995 dönemi azalan bir yayılma görülürken 1995 sonrası yük taşımacılığında daha rahat görülebilen stabil bir süreç devam etmektedir.

4. Sonuç

Türkiye'deki ulaşım ve ekonomik faaliyetler arasındaki yayılma etkilerini literatüre kazandıran çalışmanın sonuçları bir önceki bölümde detaylı olarak tartışılmıştır. Ancak yine de genel bir değerlendirme amacıyla değinilmesi ve konu ile ilgili paydaşların dikkatine sunulması gereken bazı hususlar mevcuttur.

Ulaşım ölçümleri hava, kara ve demiryolu modlarındaki yük ve yolcu taşımacılığı olarak altı farklı mobilite değişkeni üzerinden incelenmiştir. Ekonomik faaliyetler ise dört farklı katmandaki GSYİH, dışa açıklık, üretim endeksi ve işsizlik bağlamında ele alınmıştır. Böylece hem ulaşım hem de ekonominin farklı boyutlarda çeşitlilik arz eden ilişkiler ağı üzerinden yayılma etkileri tahminlenebilmiştir.

Yayılma etkileri üç farklı kombinasyonda verilmesine rağmen sonuçlar genel olarak tutarlıdır. GSYİH ile karşılaştırıldığında daha dar kapsamlı olmasına rağmen üretim endeksi ve ulaşım ölçümleri arasında böylesine yüksek oranda bir yayılmanın olması anlaşılabilir bir

sonuçtur. Hem yük hem yolcu hem de birlikte ele alındığı analizlerde üretim endeksinin ön plana çıkması üretim faktörlerinin mobilitesi üzerinden üretim endeksi ulaşım ilişkisinin etkilerini açıkça göstermektedir. İşgücü, hammadde, yarı mamul ve nihai ürünlerin yanı sıra üretim süreçlerine dâhil olan unsurların mobilitesinin nedenli önemli olduğu görülmektedir.

Tüm modlar için yük ve yolcu taşımacılığında ayrı ayrı olduğu gibi ikisi birlikte olduğunda da diğer değişkenlere yönlü, diğer değişkenlerden yönlü ve ikili yayılma etkileri karşılaştırıldığında ulaşım ve ekonomik faaliyetler arasında sıralama iki açıdan tutarlıdır. Neredeyse istisnasız olarak en çok (az) etkileyen aynı zamanda en çok (az) etkilenendir.

Çalışmanın sonuçları, politika yapıcılarının ve paydaşlarının ekonomik faaliyetlere istikrarlı bir yapı kazandırılması hedefleri kapsamında ulaşımaya yönelik politikaların ne denli önemli olduğunu görmeleri açısından önemlidir. Bu kapsamda, ulaşım odaklı olsun veya olmasın doğrudan veya dolaylı bir biçimde ulaşım ile desteklenen ekonomik faaliyetlerin yayılma etkilerindeki yönelimler sayesinde tahminlenebilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Bu sayede ulusal ve küresel çaptaki ekonomik süreçleri içeren GSYİH, dışa açıklık, üretim endeksi ve işsizlik gibi önem arz eden kıstaslar bakımından istikrarı çok yönlü sağlamaya yönelik ulaşım politikaları üretmelidir.

Ulaşım politikalarını özel kılan unsurların başında hem kamu hem de özel sektörün aktif olarak yer aldığı yönetim ve planlama süreçleri gelmektedir. Ekonomi üzerindeki etkileri bakımından ulaşım politikalarının daha iyi yönetilmesiyle birlikte mevcut kaynakların daha etkin bir biçimde kullanılması, kaynakların çeşitlendirilmesi ve yeni kaynakların değerlendirilmesi mümkündür. Ekonomik faaliyetlerin önemli bir bileşeni olan ulaşım altyapısına yönelik yapılan yatırımları baz alan politikalar sayesinde kalkınmanın desteklenmesi olasıdır. Ulaşım altyapısı, nitelik ve niceliğin yanı sıra verimlilik yönünden de ekonomik faaliyetlerin etkinleştirilmesinin önünü açmaktadır.

Ulaşım politikalarının toplumun pek çok unsurunu etkileme potansiyeli olduğu düşünüldüğünde, yayılma etki analizlerinin

özellikle ulaşım kaynaklı sorunların çözümüne yönelik gelişmelerin ne denli geniş çevreler üzerinde etkileri olduğu dikkate alınmalıdır. Çözüm odaklı politikalar neticesinde fayda maliyet analizleri bakımından ulaşım altyapı yatırımları kritik karar verme süreçleri içermesine rağmen toplumsal, demografik ve çevresel faktörlerle etkileşimleri de ön plana çıkmaktadır. Buradan hareketle politika yapıcılarının ulaşım ile ilgili aldığı kararların geniş perspektiflere sahip olması büyük önem arz etmektedir. Ekonomik yapıların, çevresel etkileşimlerin ve toplumsal kalkınmanın küresel boyutlara ulaştığı bir dönemde ulaşım politikalarının bunlardan bağımsız olması düşünülemez ve kompleks bir yapı olarak çok yönlü ancak sürdürülebilirlikten uzak olmayan bir biçimde değerlendirilmeli, düzenlenmeli ve yönetilmelidir.

Kaynakça

- [1]. Aschauer, David Alan. Is public expenditure productive? *Journal of monetary economics*, 1989, 23.2: 177-200.
- [2]. Berndt, Ernst R.; Hansson, Bengt. Measuring the contribution of public infrastructure capital in Sweden. *Scandinavian Journal of Economics*, 94, 151-168.
- [3]. Deno, Kevin T. The effect of public capital on US manufacturing activity: 1970 to 1978. *Southern Economic Journal*, 1988, 400-411.
- [4]. Fernald, John G. Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity. *American economic review*, 1999, 89.3: 619-638.
- [5]. Garcia-Mila, Teresa; McGuire, Therese J.; Porter, Robert H. The effect of public capital in state-level production functions reconsidered. *The review of economics and statistics*, 1996, 177-180.
- [6]. Hulten, Charles R.; Schwab, Robert M. Public capital formation and the growth of regional manufacturing industries. *National Tax Journal*, 1991, 121-134.
- [7]. Boarnet, Marlon G. The direct and indirect economic effects of transportation

- infrastructure. University of California Transportation Center Berkeley, 1996.
- [8]. Baum-Snow, Nathaniel. Did highways cause suburbanization? *The Quarterly Journal of Economics*, 2007, 122.2: 775-805.
- [9]. Vandenbroucke, Guillaume. The US westward expansion. *International Economic Review*, 2008, 49.1: 81-110.
- [10]. Lichter, Daniel T.; Fuguitt, Glenn V. Demographic response to transportation innovation: the case of the interstate highway. *Social Forces*, 1980, 59.2: 492-512.
- [11]. Beyzatlar, Mehmet Aldonat; Karacal, Müge; Yetkiner, Hakan. Granger-causality between transportation and GDP: A panel data approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, 63: 43-55.
- [12]. Beyzatlar, Mehmet Aldonat; Yetkiner, Hakan. Convergence in transportation measures across the EU-15. *Transportation*, 2017, 44.5: 927-940.
- [13]. Brugnoli, Alberto, et al. The impact of air transportation on trade flows: A natural experiment on causality applied to Italy. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, 112: 95-107.
- [14]. Jiwattanakulpaisarn, Piyapong; Noland, Robert B.; Graham, Daniel J. Causal linkages between highways and sector-level employment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2010, 44.4: 265-280.
- [15]. Machado, Emerson Ribeiro, et al. The vulnerability of the environment to spills of dangerous substances on highways: A diagnosis based on Multi Criteria Modeling. *Transportation research part D: transport and environment*, 2018, 62: 748-759.
- [16]. Maparu, Tuhin Subhra; Mazumder, Tarak Nath. Transport infrastructure, economic development and urbanization in India (1990–2011): Is there any causal relationship? *Transportation research part A: policy and practice*, 2017, 100: 319-336.
- [17]. Mukkala, Kirsi; Tervo, Hannu. Air transportation and regional growth: which way does the causality run? *Environment and Planning A*, 2013, 45.6: 1508-1520.
- [18]. Saidi, Samir; Shahbaz, Muhammad; Akhtar, Pervaiz. The long-run relationships between transport energy consumption, transport infrastructure, and economic growth in MENA countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, 111: 78-95.
- [19]. Van de Vijver, Elien; Derudder, Ben; Witlox, Frank. Air passenger transport and regional development: Cause and effect in Europe. *Promet-Traffic&Transportation*, 2016, 28.2: 143-154.
- [20]. Jin, Jang C. Openness and growth: an interpretation of empirical evidence from East Asian countries. *Journal of International Trade & Economic Development*, 2000, 9.1: 5-17.
- [21]. Lee, Taihyeong; Mokhtarian, Patricia L. Correlations between industrial demands (direct and total) for communications and transportation in the US economy 1947–1997. *Transportation*, 2008, 35.1: 1-22.
- [22]. Eberts, Randall W. Some empirical evidence on the linkage between public infrastructure and local economic development. *Industry location and public policy*, 1991, 83-96.
- [23]. Felloni, Fabrizio, et al. Infrastructure and agricultural production: Cross-country evidence and implications for China. *TW.-2001-103. Washington State University: Pullman*, 2001.
- [24]. Deno, Kevin T. The effect of public capital on US manufacturing activity: 1970 to 1978. *Southern Economic Journal*, 1988, 400-411.
- [25]. Lichter, Daniel T.; Fuguitt, Glenn V. Demographic response to transportation innovation: the case of the interstate highway. *Social Forces*, 1980, 59.2: 492-512.
- [26]. Diebold, Francis X.; Yilmaz, Kamil. Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 2012, 28.1: 57-66.
- [27]. Diebold, Francis X.; Yilmaz, Kamil. Measuring financial asset return and

- volatility spillovers, with application to global equity markets. *The Economic Journal*, 2009, 119.534: 158-171.
- [28]. Koop, Gary; Pesaran, M. Hashem; Potter, Simon M. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of econometrics*, 1996, 74.1: 119-147.
- [29]. Pesaran, H. Hashem; Shin, Yongcheol. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics letters*, 1998, 58.1: 17-29.
- [30]. Dickey, David A.; Fuller, Wayne A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 1979, 74.366a: 427-431.
- [31]. Elliott, G.; Rothenberg, T. J.; Stock, J. H. Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica*, 1996, 64.4: 813-836.
- [32]. MacKinnon, James G. Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of applied econometrics*, 1996, 11.6: 601-618.

Yük taşımacılığı için bulanık EDAS yöntemi ile taşıma modu seçimi

Umut Aydın^{1,*}, Üstün Atak¹

¹ Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

*Correspondence: uaydin@bandirma.edu.tr

Özet: Gittikçe daha çok karmaşık hale gelen süreçler içerisinde karar vermek insana ait hayati becerilerden biridir. Karar verme süreçlerini daha az hatalı hale getirebilmek için başvurulabilecek yollardan biri Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleridir. Bu yöntemler bulanık mantık yaklaşımı sayesinde insanın karar verme sürecine benzer şekilde işleyen karar destek sistemleri oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada İstanbul çıkış ve Hollanda varış noktası olacak şekilde yük taşımacılığı için demiryolu, denizyolu, karayolu ve havayolu taşıma modları arasında karar vermek amacıyla PFN (Picture Fuzzy Numbers) bulanık formunda, ortalama çözüme uzaklığına göre değerlendirme kısaca EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada taşıma modları arasında karar vermek için uzmanlar tarafından kullanılacak değerlendirme matrislerinin oluşturulmasında literatürdeki çalışmalar ve uzmanların görüşleri göz önünde bulundurularak maliyet, zaman, güvenilirlik ve haftalık sefer frekansı kriterleri kullanılmıştır. Sonuç olarak İstanbul'dan Hollanda'ya gönderilecek yük için en uygun taşıma modunun denizyolu olduğuna karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşıma Modu Seçimi, Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme

Freight transport mode selection with evaluation based on distance from average solution (EDAS) under picture fuzzy environment

Abstract: Decision making is one of the crucial human skills in any processes that are becoming more complex. One of the ways that can be used to make the decision making processes precise is multi-criteria decision making methods (MCDM). These methods help to create decision support systems that operate similarly to the decision-making process of the human, by the fuzzy logic approach. In this study, to decide between railroad, seaway, roadway and airline transportation modes for freight transportation, which will be the export point as Istanbul and import point as the Netherlands, EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) by the form PFN (Picture Fuzzy Numbers fuzzy logic form is used. In this scope; cost, time, reliability and frequency criteria are used to create evaluation matrices that will be used by experts to decide between modes of transport, taking into account the studies in the literature and the opinions of experts. As a result, the most suitable mode of transportation for the cargo from Istanbul to the Netherlands is seaway.

Key words: Transportation mode selection, Fuzzy Logic, Multi Criteria Decision Making

* Corresponding author.

E-mail address: uaydin@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-4802-8793, 0000-0002-1513-7371 (in hierarchical order)

Received 8 Feb 2020; Accepted 26 Mar 2020

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Ulaşım üretilen maddelerin, insanların, canlıların bir noktadan diğer bir noktaya nakledilmesidir. Tekerleğin bulunması ile insan yaşamında büyük önem kazanan ulaşım ya da diğer bir tanımıyla ulaştırma birden fazla seçenek ile karşımıza çıkmaktadır. Neredeyse her gün kullandığımız karayolu ulaşımı, yine seyahat için sıkça kullanılan havayolu ulaşımı, yük ve yolcu taşımada kara üzerindeki bir diğer seçenek olan demiryolu ulaşımı ve denizyolu ulaşımı dört temel ulaşım seçeneğidir.

İlk olarak karayolu seçeneği değerlendirildiğinde hem yük hem de yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı bu ulaşım seçeneği ile tamamlanmaktadır. Ülkemizde ve dünyada en ücra köşelere ulaşımı sağlayan karayolları ile ulaşım seçeneği son kullanıcının isteğine göre şekillenebilmektedir. Hem kişisel kullanım amaçlı araçların varlığı hem de ticari taşımacılık amacıyla kullanılan araçlar sayesinde bu ulaşım seçeneği genelde en yaygın kullanılan seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaygın kullanımı ve ayrıca akıllı ulaşım teknolojileri uygulamalarının kolaylıkla entegre edilebilmesi sayesinde diğer taşıma seçeneklerine göre daha fazla sorunları olmasına rağmen karayolu ulaşımında bu sorunların kolaylıkla üstesinden gelinebilmektedir (Byon ve diğ., 2009).

Daha az ulaşım payı olan havayolu ulaşımı ise değerli yüklerin ve yolcuların bir noktadan diğer noktaya en kısa sürede gidebilmelerine olanak sağlamaktadır. Sahip olunan yüksek teknoloji ve üst düzey güvenlik önlemleri sayesinde kaza istatistikleri incelendiğinde en güvenli ulaşım seçeneklerinden birisi olduğu görülmektedir. Ancak işletme maliyetleri ve ilk yatırım sermayesi yüzünden karayolu taşımacılığı seçeneği kadar yaygın olmayan bir ulaşım türüdür. Buna rağmen taşınan yüklerin değeri göz önüne alındığında taşıdığı yüksek değerdeki yükler sayesinde dünya ticaretinin yüzde 40'ı havayolu ile taşınmaktadır (Barnhart ve diğ., 2003).

Milattan önce 2600 yıllarında Mısır piramitlerinin yanında bulunan bronz ray kalıntılarının ilk demiryolu ulaşımı olduğu kabul edilmektedir. Japonya, Rusya ve bazı dünya ülkeleri hariç raylar arası açıklığın sabit olduğu hatlarda büyük miktarda yük ve insan taşınabilen vagonlar bir diğer ulaşım seçeneğidir. Ülkemizde ise 1860 yılında İzmir-

Aydın hattında kullanıma açılan hat sayesinde demiryolu ulaşım imkanı sağlanmıştır. Karayolu seçeneğine göre daha çevreci olan bu taşımacılık seçeneğinde hızlı trenlerin yolcu taşınması karayolu ile karşılaştırıldığında daha hızlı seçenek olduğu karşımıza çıkmaktadır (Rietveld, 2000).

Diğer üç seçeneğe göre daha ucuz ulaşım imkanı sağlayan denizyolunda çok büyük miktardaki yükler kıtalar arasında taşınabilmektedir. Uluslararası yük taşımacılığında ve dünya ticaretinde önemli yere sahip olan denizyolu gerek doğal limanlar ile gerekse de ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan limanlar ile sektöre hizmet vermektedir. Büyüyen dünya ticareti ile birlikte daha fazla taşımacılık seçeneğine ihtiyaç duyulması deniz yolu taşımacılığının giderek daha fazla önem kazanmasını sağlamıştır (Berle ve diğ., 2011).

Öte yandan taşıma eylemi ise genel olarak tüketici taleplerinin, mal ve hizmetlerin, hammaddelerin taşıyıcı araçlara yüklenip alıcıya ulaştırma işlemidir. En güvenli, ekonomik, hızlı ve sağlam taşıma hem taşıyan hem de taşıtan tarafından istenen özelliklerdir. Örneğin güvenli taşımacılığın sağlanabilmesi için yüklerin herhangi bir hırsızlık olayı olmadan, yüke zarar verilmeden taşıma işleminin tamamlanması beklenmektedir. Bu kapsamda ekonomik taşıma sürecinde en önemli kriter olarak yakıt masrafları karşımıza çıkmaktadır. Taşınan yük ve harcanan yakıt oranı ile karşılaştırma yapılabilecek seçenekte en az birim yakıtla en çok yükün taşınması hedeflenmektedir. Çoğu zaman en önemli kriter olan hız konusunda ise taşıma aracının kabiliyetleri doğrultusunda değerlendirme yapılabilmektedir. Taşınan yük miktarına bakılmaksızın seferin en kısa sürede tamamlanması ilgili seçeneği bu değerlendirme kapsamında ön plana çıkarmaktadır.

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde PFN (Picture Fuzzy Numbers) bulanık formunda ortalama çözüm uzaklığına göre değerlendirme kısaca EDAS yöntemi ile taşıma modu seçiminde çalışma yapılmadığı görülmüştür. Tüm bu kriterler kapsamında çalışma maliyet, zaman, güvenilirlik ve sefer sıklığı başlıklarında ele alınacaktır. İstanbul'dan taşıma işlemine başlanan kargo için Hollanda varış noktasına gönderilecek şekilde EDAS yöntemi kullanılarak karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Çalışmanın devamında öncelikler literatürde taşıma modu seçimi alanında yapılan ve bu çalışmada motivasyonu olan çalışmalardan genel olarak bahsedilecektir. 3. bölümün ilk alt bölümünde öncelikle EDAS yöntemi aşama aşama anlatılacak, ikinci alt bölümde PFN özelliklerinden bahsedilecektir. 3. bölümün son bölümünde ise PFN ile bulanık EDAS yönteminin nasıl uygulandığı aşama aşama anlatılacaktır. Çalışmanın 4. bölümünde ise PFN ile hibrit şekilde kullanılan EDAS yöntemi ile Türkiye’den Hollanda’ya gönderilecek bir yük için hangi taşıma modunun seçilmesi gerektiğini açıklayan bir örnek çözülmüştür.

2. Literatür

“Taşımacılık, mal ve taşıma seçimi” anahtar kelimeleri ile yapılan literatür taramasında taşıma modu seçimi konusunda çok sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Tarama sonucunda çalışma ile en alakalı olan yirminin üzerinde makale seçilmiştir. Bu çalışmalar 1990 yılından 2017 yılına kadar süreyi kapsamaktadır.

1990 yılında karar verme süreci üzerine yapılan çalışmada model seçimini altı farklı kriter etrafında şekillendirerek sadece sığ süreç analizi olarak yapılmaması gerektiğini, aksine tamamen ve kapsamlı bir endüstriyel süreç olarak değerlendirmesi gerektiğini yazarlar vurgulamıştır (Jeffs ve Hills, 1990).

1993 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise hem taşıyan firma hem de taşıtan tüketicilerin taşıma modu seçimi karar verme süreçleri analiz edilmiştir. Çalışmada hava ve denizyolu modları taşıma modu seçenekleri olarak belirlenmiştir. İrlanda Deniz taşımacılığında kullanılan karar verme kriterleri baz alınarak yapılan çalışmada taşıyan özellikleri, zaman ve maliyet kriterleri analiz edilmiş ve bu üçü arasında herhangi bir istatistiksel farklılık bulunmamıştır (Matear ve Richard, 1993).

Belçika taşımacılık endüstrisinde yapılan çalışmada taşıma modu seçiminin lojistik alanında karar verenlerin tahminleri ile nasıl şekillendiği araştırılmıştır. Değişik karar verme seçenekleri belirlenmiş ve ağırlıklandırılmıştır. İnteraktif web tabanlı yazılım oluşturularak kullanıma açılmıştır. Çalışmanın otoritelere lojistik sektörüne bakış açısı kazandırmakla beraber taşımacılık seçimi konusunda karar veren kişilere kolaylık sağlayan araç olduğu açıklanmıştır (Vannieuwenhuysse ve diğ., 2003).

Delhi için yapılan çalışmada üç farklı karayolu taşımacılık seçeneği incelenmiştir. Bu kapsamda motosiklet, doğal gaz ile çalışan otobüs ve arabalar altı farklı kriter gereceği incelenmiştir. Bu kriterler enerji, çevre, maliyet, teknoloji, seçeneğin uygulanabilirliği ve uygulama engelleridir. Çalışma sonucunda her kriter gereceği taşıma seçeneklerinin diğer araçlar üzerindeki üstünlüğü belirlenmiştir (Yedla ve Shrestha, 2003).

Taşımacılık model seçimi konusunda yapılan başka bir çalışmada ise maliyet, zaman ve sıklığın taşıma yöntemi seçimi konusundaki etkileri çalışılmıştır. Ulaşım seçenekleri olarak karayolu ve denizyolu birbiri arasında analiz edilmiş ve denizyolunun taşıma maliyetleri konusunda karayoluna göre daha duyarlı olduğu açıklanmıştır (García-Menéndez ve diğ., 2004).

ÇKKV teknikleri ile geri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak yapılan çalışmada aynı zamanda analitik hiyerarşi süreci kullanılarak başlangıç giriş ağırlıkları belirlenmiştir. Taşıma zamanı, masrafı, kalitesi, araçları, servis zamanı ve sosyal etkiler temel alınarak yapılan çalışmada önerilen yapay sinir ağları metodunun iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Qu ve diğ., 2008).

Yapılan bir diğer deneysel çalışmada ise etkili mal taşıma kuralları tasarımı tamamlanması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamı kapıdan kapıya mantığı temel alınarak güney batı Avrupa Denizi (İspanya) olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda bir noktadan diğer noktaya tamamen karayolu ile taşıma sağlamak yerine hem karayolu hem de denizyolu taşıma seçeneğinin daha verimli olduğunu kanıtlamıştır (Feo ve diğ., 2011).

Yapılan bir diğer deneysel çalışma ise teorik kanıtlar da kullanılarak taşımacılık firmaları ve müşteriler arasındaki ilişkinin çıktıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda bu etkileşimin daha çok gönderi boyutuna göre değiştiği belirtilmiştir (Holguín-Veras ve diğ., 2011).

Birleşik Devletler’de yapılan karayolu ve demiryolu taşımacılığı seçimi konulu çalışmada kriter olarak uzaklık, ağırlık, masraf, mal değeri ve nakliye zamanı değerlendirilmiştir. Bunların dışında kalan diğer kriterler ise makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Demiryolu taşımacılığı için taşıma maliyeti en

önemli kriter olarak bulunurken karayolu için ise nakliye zamanı olduğu vurgulanmıştır (Samimi ve diğ., 2011).

Kısa ve uzun mesafe birden fazla taşıma seçeneği olan taşımacılık üzerine yapılan başka bir çalışmada karayolu dört temel kritere göre analiz edilmiştir. Maliyet, zaman, güvenilirlik ve esneklik kriterleri kullanılarak yeni ajan temelli modelleme ile çalışma tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda farklı durumlar için hem sadece karayolu hem de çok seçenekli taşımacılık durumlarının performansının analiz edilmesi sağlanmıştır (Reis, 2014).

3. Metodoloji

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde farklı ÇKKV yöntemlerinden taşıma modu seçimi konusunda bir karar mekanizması oluşturmak için faylanıldığı görülmektedir. EDAS yöntemi, VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği) gibi ortalama çözümden uzaklıkların hesaplanmasına dayanan yeni nesil ÇKKV yöntemlerindedir ve Keshavarz Ghorabae ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada VIKOR, TOPSIS, SAW (Basit Toplamı Ağırlıklandırma) ve COPRAS (Karmaşık Oransal Değerlendirme) gibi ÇKKV yöntemleriyle kıyaslandığında en az bu yöntemler kadar güvenilir ve geçerli sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

İnsanın karar verme sürecine yakın bir karar verme mekanizması geliştirmek için de ÇKKV yöntemleri bulanık mantık ortamında kullanılarak, karar verme sürecinin karmaşık yapısı modellenmeye çalışılmaktadır. Zadeh (1965) tarafından literatüre kazandırılan bulanık mantık yaklaşımı, Zadeh'in genişletme prensibi (Extension Principle) ve bu alandaki araştırmacıların katkısıyla daha karmaşık modellemelere imkan tanıyan bulanık mantık yaklaşımlarının bulunmasına sebep olmuştur.

Tüm bu gelişmeler sonucunda da literatürde karmaşık karar verme sürecinin özünü daha fazla kavramayı amaçlayan bulanık mantık ortamında ÇKKV yöntemleri yer edinmeye başlamıştır.

3.1. EDAS yöntemi

Geleneksel EDAS yöntemi Keshavarz Ghorabae ve diğ. (2015) tarafından literatüre kazandırılan bir yöntemdir ve ÇKKV amaçlı bir çok çalışmada kullanılmıştır. Yöntem aşağıdaki gibi 6 adımda özetlenebilir:

Adım 1: İlk adımda KVM (Karar Verme Matrisi (Y)) oluşturulur.

$$Y = [Y_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1m} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de Y_{ij} j 'nci kriter altında i 'nci alternatifin performansını göstermektedir.

Adım 2: Kriterler bazında alternatiflere ait performans değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama değerler matrisi (AV) oluşturulur.

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (2)$$

Adım 3: Bu adımda kriterlerin faydalı (Benefit) veya faydasız (Cost) olmalarına göre ortalamadan pozitif uzaklık ($PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m}$) ve ortalamadan negatif uzaklık ($NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m}$) matrisleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilir.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (Y_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (3)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - Y_{ij}))}{AV_j} \quad (4)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - Y_{ij}))}{AV_j} \quad (5)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (Y_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (6)$$

Burada j 'nci kriter altındaki i 'nci alternatifin j 'nci kriterin ortalamasından farkı elde edilmektedir ve bu adımda Eşitlik (3) ve (4) faydalı (Benefit) kriterler için kullanılırken, Eşitlik (5) ve (6) faydasız (Cost) kriterler için kullanılmaktadır.

Adım 4: Bu adımda her alternatifin PDA ve NDA değerleri kriterlere ait ağırlıklar λ_j ile çarpılıp toplanarak ağırlıklı toplam pozitif değer (SP_i) ve ağırlıklı toplam negatif değer (SN_i) elde Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) kullanılarak elde edilir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \times PDA_{ij} \quad (7)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \times NDA_{ij} \quad (8)$$

Adım 5: Bütün alternatifler için hesaplanan SP_i ve SN_i değerleri Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (9)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (10)$$

NSP_i ve NSN_i değerleri i 'nci alternatife ait en büyük değer ile normalize edilerek elde edilmiş ağırlıklı toplam pozitif ve negatif değerlerdir.

Adım 6: Son adımda ise her bir alternatif için değerlendirme skorları (Appraisal Scores) (AS_i) aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilir.

$$AS_i = \frac{1}{2} \times (NSP_i + NSN_i) \quad (11)$$

Burada $0 \leq AS_i \leq 1$ şartı sağlanmalıdır ve her alternatif için elde edilen değerlendirme skorları büyükten küçüğe doğru alternatiflerin sıralanması için kullanılır. En yüksek skora sahip olan alternatif en iyi alternatiftir.

3.2. PFS

PFS (Picture Fuzzy Sets) Cuong ve diğ. (2013) tarafından Zadeh (1965) genişleme prensibi ve Atanassov (1983) IFS (Sezgisel Bulanık Kümeler) motivasyonu ile literatüre kazandırılmıştır. Zadeh'in (1965) tanımladığı bulanık mantık, üyelik derecesi (Membership Degree) olarak kümenin her elemanı için sadece o kümeye üyeliğinin derecesinin belirtildiği bir yaklaşımdır. Daha sonra Atanassov 1983 yılında üyelik derecesinin yanında bir de o kümeye üye olmama derecesinin (Non-membership Degree) tanımlanması gerektiğini savunmuştur. 2013 yılında geldiğinde ise Cuong ve diğ. (2013) tarafından bu iki yaklaşımdan motivasyonla 3 farklı üyelik derecesi içeren PFS yaklaşımı literatüre kazandırılmıştır. A bulanık küme evreninde bir nesne olan X aşağıdaki eşitlikte görüldüğü şekilde tanımlanmaktadır:

$$A = \{(x, \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x) | x \in X)\} \quad (12)$$

Burada $\mu_A(x) \in [0,1]$ x 'in A kümesindeki pozitif üyelik derecesini, $\eta_A(x) \in [0,1]$ x 'in A kümesindeki nötr (neutral) üyelik derecesini ve

$\nu_A(x) \in [0,1]$ x 'in A kümesindeki negatif üyelik derecesini temsil etmektedir. Görüldüğü üzere tüm üyelik değerleri kendi başlarına 0 ve 1 arasında olma şartını sağlamalarına ek olarak

$0 \leq \mu_A(x) + \eta_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ bu şartı da sağlamaları gerekmektedir. Ayrıca $(1 - (\mu_A(x) + \eta_A(x) + \nu_A(x)))$ değeri de reddetme (refusal) üyelik derecesidir. Bu yaklaşımın klasik örneği oylama örneğidir. Bir oylama faaliyeti olduğunda bir kişinin bu oylamaya olumlu oy kullanması pozitif üyelik derecesi, olumsuz oy kullanması negatif üyelik derecesi, çekimsiz oy kullanması nötr üyelik derecesi ve oy kullanmayı reddetmesi ise reddetme üyelik derecesi için örnek gösterilebilir.

PFS için tanımlanan operatörler ve yaklaşım hakkında daha fazla bilgi edinmek için Cuong ve diğ. (2013) makalesi incelenebilir. Bu çalışmada birleştirme operasyonu (Aggregation Operation)\ Skor fonksiyonu (Score Function) ve ortalama almak amacıyla geometrik birleştirme (Geometric Aggregation) kullanıldığı için bu bölümde sadece bu üç operasyon tanımlanacaktır.

Farklı karar vericilerden gelen değerlendirme matrislerini birleştirmek için PFWA (Picture Fuzzy Weighted Aggregation) birleştirme operasyonu kullanılabilir.

$$PFWA_w = (a_1, a_2, \dots, a_n) = \bigotimes_{j=1}^n (w_j a_j) \quad (13)$$

$$= \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{a_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n (\eta_{a_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n (\nu_{a_j})^{w_j} \right)$$

Burada $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ a_j ($j=1, 2, \dots, n$)'e

ait olan ve $w_j > 0, \sum_{j=1}^n w_j = 1$ şartını sağlayan ağırlık vektörüdür.

Ayrıca aşağıdaki eşitlik kullanılarak da skor matrisi elde edilir.

$$S(\alpha) = \mu_\alpha - \nu_\alpha \quad (14)$$

3.3. PFN-EDAS Yöntemi

Geleneksel EDAS yöntemini PFN ile hibrit bir şekilde kullanabilmek için aşağıda belirtilen adımlar takip edilmelidir.

Adım 1: k karar verici tarafından j 'inci kriter göz önünde bulundurularak i 'nci alternatif için yapılan değerlendirme matrisi olan $R^k = (r_{ij}^k), k = (1, 2, \dots, t)$ matrisi elde edilmelidir.

Adım 2: Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi ve $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ vektörünün elde edilmesi. Ağırlık vektörünün uzmanların subjektif yorumlarına göre elde edilebilmesinin yanı sıra, Li ve diğ. (2019) çalışmasında belirtildiği gibi de elde edilebilir.

Adım 3: Eğer kriterler arasında faydasız kriterler mevcutsa bütünleştirilmiş matris oluşturulmadan önce negatif üyelik derecesi ile pozitif üyelik derecesinin değiştirildiği aşağıda belirtilen normalizasyon işlemi yapılmalıdır.

$$A = \langle \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x) \rangle$$

$$A = \langle \nu_A(x), \eta_A(x), \mu_A(x) \rangle$$

Adım 4: Eşitlik (13) kullanılarak bütünleştirilmiş değerlendirme matrislerinin elde edilir.

Adım 5: Değerlendirme matrisinin oluşumunda kullanılan kriterlere ait ağırlıklar belirlenir. Bu ağırlıkları da karar vericilerin subjektif şekilde belirleyebilmesinin yanı sıra yine Li ve diğ. (2019) çalışmasında olduğu gibi bütünleştirilmiş R matrisindeki değerler yardımıyla kurulan bir doğrusal programlama sonucu da elde edilebilir.

Adım 6: Bu adımda geleneksel EDAS yönteminde olduğu gibi elde edilen bütünleştirilmiş matriste j 'inci kriterle ait ortalamalar AV matrisi aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmektedir.

$$AV = [AV_j]_{1 \times n} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m Y_{ij}}{m} \right]_{1 \times n} \quad (15)$$

$$= \left\{ 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_{ij})^{\frac{1}{m}}, \prod_{i=1}^m (\eta_{ij})^{\frac{1}{m}}, \prod_{i=1}^m (\nu_{ij})^{\frac{1}{m}} \right\}_{1 \times n}$$

Adım 7: 5. adımda skor matrisi elde edildikten sonra bulanık mantık formundan tam sayı

formuna dönülür ve aşağıdaki eşitlikler ve 6. adımda elde edilen ortalamalar kullanılarak PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri elde edilir.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (S(Y_{ij}) - AV(Y_j)))}{AV(Y_j)} \quad (16)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV(Y_j) - S(Y_{ij})))}{AV(Y_j)} \quad (17)$$

Adım 8: PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri elde edildikten sonra eşitlik (7) ve eşitlik (8) ve ayrıca 4. adımda elde edilen kriter değerleri kullanılarak SP_i ve SN_i vektörleri elde edilir. Bu PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerlerinin ağırlıklarla çarpılıp toplanarak elde edilen ağırlıklandırılmış uzaklık değerleridir.

Adım 9: SP_i ve SN_i değerleri eşitlik (9) ve eşitlik (10) kullanılarak normalize edilir ve her kriter için normalize edilmiş ağırlıklandırılmış uzaklık değerleri olan NSP_i ve NSN_i elde edilir.

Adım 10: Eşitlik (11) kullanılarak her alternatife ait olan AS_i değerlendirme skorları elde edilir. Elde edilen bu değerler

$$0 \leq AS_i \leq 1 \text{ şartını sağlamalıdır.}$$

Adım 11: AS_i değerlerine göre alternatifler sıralanır. En büyük AS_i değerine sahip olan alternatif, alternatifler arasında en iyi olanıdır.

4. Bulgular ve Değerlendirme

Yük taşımacılığında taşıma modu seçimi seçilebilecek alternatifler arasından çok sayıda kriteri göz önünde bulundurularak en iyi alternatifi seçmeyi amaçlayan bir konudur. Bu çalışmada İstanbul'dan Hollanda'ya yük göndermek için hangi taşıma modunun seçilebilecek en iyi alternatif olduğunu araştırmak amacıyla EDAS yöntemi bulanık formda uygulanmıştır. Demiryolu, denizyolu, karayolu ve havayolu alternatifleri arasında seçim yapabilmek için göz önünde bulundurulmuş taşıma maliyeti, teslimat süresi, güvenilirlik ve haftalık sefer frekansı (sıklık) kriterli literatürde taşıma modu seçimi üzerine gerçekleştirilen çalışmalardan seçilmiştir.

Bu çalışmada farklı şirketlerde aynı pozisyonda çalışan 3 farklı karar verici belirlenen kriterlerde taşıma modu alternatiflerini PFN formunda değerlendirmişlerdir ve PFN bulanık mantık formunda EDAS yönteminin adım adım uygulanışı aşağıdaki gibidir:

Adım 1: 3 farklı karar verici tarafından 4 farklı kriter göz önünde bulundurularak 4 farklı taşıma modu için oluşturulan değerlendirme matrisleri aşağıda belirtildiği gibi elde edilmiştir:

Tablo 1. Karar verici 1'e ait değerlendirme tablosu

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.2, 0.3, 0.5>	<0.6, 0.3, 0.1>	<0.5, 0.3, 0.2>
Denizyolu	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.1, 0.2, 0.7>	<0.4, 0.4, 0.2>	<0.3, 0.3, 0.4>
Karayolu	<0.1, 0.4, 0.5>	<0.4, 0.3, 0.3>	<0.3, 0.4, 0.3>	<0.8, 0.1, 0.1>
Havayolu	<0.1, 0.2, 0.6>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.7, 0.2, 0.1>	<0.8, 0.1, 0.1>

Tablo 2. Karar verici 2'e ait değerlendirme tablosu

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.6, 0.2, 0.2>	<0.1, 0.3, 0.5>	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.4, 0.3, 0.2>
Denizyolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.1, 0.1, 0.8>	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.2, 0.1, 0.6>
Karayolu	<0.3, 0.3, 0.4>	<0.4, 0.3, 0.3>	<0.4, 0.3, 0.3>	<0.7, 0.1, 0.1>
Havayolu	<0.2, 0.1, 0.6>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.5, 0.3, 0.1>	<0.8, 0.1, 0.1>

Tablo 3. Karar verici 3'e ait değerlendirme tablosu

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.1, 0.1, 0.5>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.4, 0.2, 0.2>
Denizyolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.1, 0.1, 0.6>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.2, 0.1, 0.5>
Karayolu	<0.4, 0.2, 0.3>	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.5, 0.1, 0.3>	<0.7, 0.1, 0.1>
Havayolu	<0.1, 0.1, 0.8>	<0.8, 0.1, 0.1>	<0.8, 0.1, 0.1>	<0.7, 0.1, 0.1>

Tablo 4. Karar vericilere ait değerlendirme tablolarının bütünleştirilmiş hali

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.13, 0.13, 0.67>	<0.50, 0.21, 0.13>	<0.64, 0.18, 0.10>	<0.44, 0.26, 0.20>
Denizyolu	<0.10, 0.13, 0.66>	<0.71, 0.13, 0.10>	<0.58, 0.20, 0.13>	<0.24, 0.15, 0.49>
Karayolu	<0.41, 0.29, 0.18>	<0.24, 0.26, 0.46>	<0.40, 0.23, 0.30>	<0.74, 0.10, 0.10>
Havayolu	<0.68, 0.13, 0.13>	<0.10, 0.10, 0.73>	<0.69, 0.18, 0.10>	<0.77, 0.10, 0.10>

Adım 2: Karar vericilere air ağırlık vektörü bu çalışmada subjektif olarak $w = (0.34, 0.33, 0.33)$ olarak belirlenmiştir. Karar vericilerin buldukları departmanlar ve çalıştıkları pozisyonlar açısından birbirlerine üstünlükleri

bulunmadığından ağırlıkları eşit olacak şekilde oluşturulmuştur.

Adım 3: Maliyet ve Zaman kriterleri faydasız kriterler oldukları için aşağıda belirtildiği gibi pozitif ve negatif üyelik derecelerinin yerleri

değiştirilerek normalizasyon işlemi yapılmıştır:

$$A \Leftarrow \langle \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x) \rangle$$

$$A \Leftarrow \langle \nu_A(x), \eta_A(x), \mu_A(x) \rangle$$

Adım 4: Eşitlik (13) kullanılarak Tablo 4'te yer alan bütünleştirilmiş değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Örneğin ilk taşıma modu olan demiryoluna ait pozitif üyelik derecesinin birleştirilmiş hali olan 0.13 değerinin elde edilmesi aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$(1 - ((1 - 0.7)^{0.34} \times (1 - 0.6)^{0.33} \times (1 - 0.7)^{0.33})) = 0.13$$

Ayrıca negatif üyelik derecesinin bileştirilmiş hali de aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$0.1^{0.34} \times 0.2^{0.33} \times 0.1^{0.33} = 0.67$$

Bütünleştirilmiş matrisi elde etmek için her alternatif altında yer alan her taşıma modunun pozitif, nötr ve negatif üyelik dereceleri Eşitlik (13) kullanılarak yukarıda gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Adım 5: Kriterlere ait ağırlıklar eşit kabul edilmiştir ve ağırlık vektörü $\lambda = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$ şeklinde elde edilmiştir.

Adım 6: Eşitlik (14) kullanılarak aşağıda görülen skor matrisi elde edilmiştir.

$$S = \begin{bmatrix} -0.53 & 0.37 & 0.54 & 0.24 \\ -0.56 & 0.61 & 0.46 & -0.26 \\ 0.23 & -0.22 & 0.10 & 0.46 \\ 0.56 & -0.63 & 0.59 & 0.67 \end{bmatrix}$$

Ayrıca eşitlik (15) kullanılarak aşağıdaki ortalama PFN değerleri elde edilmiştir.

$$AV = \begin{bmatrix} 0.38 & 0.16 & 0.32 \\ 0.29 & 0.16 & 0.26 \\ 0.27 & 0.20 & 0.14 \\ 0.25 & 0.14 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Birleştirilmiş matrisine ait ortalamalar vektörü de $AV(Y_j) = (0.06, 0.04, 0.13, 0.25)$ şeklinde elde edilen ortalamaların skor değerleridir. Örneğin 0.06 değeri 0.38 ve 0.32 değerinin arasındaki farktır.

Adım 7: PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri elde edilirken Eşitlik (16) ve (17) ve ayrıca 6. adımda elde edilen ortalama değerler kullanılmıştır. Elde edilen matrisler aşağıdaki gibidir:

$$PDA_{ij} = \begin{bmatrix} 0.00 & 8.51 & 3.16 & 0.00 \\ 0.00 & 14.57 & 2.54 & 0.00 \\ 2.52 & 0.00 & 0.00 & 1.57 \\ 7.66 & 0.00 & 3.57 & 1.70 \end{bmatrix}$$

$$NDA_{ij} = \begin{bmatrix} 9.27 & 0.00 & 0.00 & 0.05 \\ 9.79 & 0.00 & 0.00 & 2.03 \\ 0.00 & 6.55 & 0.19 & 0.00 \\ 0.00 & 17.08 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Adım 8: 5. adımda elde edilen $\lambda = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$ vektörü ile PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerlerinin çarpımı sonucu $SP_i = (2.92, 4.28, 1.02, 3.23)$ ve $SN_i = (2.33, 2.95, 1.68, 4.26)$ vektörleri elde edilmiştir.

Adım 9: SP_i ve SN_i değerleri eşitlik (9) ve eşitlik (10) kullanılarak normalize edilmiştir ve her kriter için normalize edilmiş ağırlıklandırılmış uzaklık değerleri olan $NSP_i = (0.68, 1, 0.24, 0.75)$ ve $NSN_i = (0.45, 0.30, 0.60, 0)$ vektörleri elde edilmiştir.

Adım 10: Eşitlik (11) kullanılarak her alternatife ait olan $AS_i = (0.57, 0.65, 0.42, 0.37)$ değerlendirme skorları elde edilmiştir.

Adım 11: AS_i değerlerine göre alternatifler Denizyolu > Demiryolu > Karayolu > Havayolu şeklinde sıralanmıştır.

5. Sonuç

Üç farklı uzman tarafından oluşturulan karar verme matrisleri yardımıyla PFN ortamında EDAS yöntemi kullanılarak İstanbul çıkış ve Hollanda varış noktası olacak şekilde yük göndermek amacıyla bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Maliyet, zaman, güvenilirlik ve sıklık kriterleri göz önünde bulundurularak uzmanların oluşturduğu karar matrisleri ve toplam 11 adımdan oluşan yöntemin uygulanması sonucunda İstanbul çıkış Hollanda varış noktası olacak şekilde bir yük gönderimi yapmak için en iyi taşıma modunun denizyolu olduğu sonucunda varılmıştır. Denizyolundan sonra ikinci en iyi alternatif ise demiryolu olmuştur. Bu alternatifleri üçüncü olarak karayolu ve sonuncu olarak ise havayolu takip etmiştir. Kullanılan yöntemde karar vericilerin ve kriterlerin ağırlıkları direkt olarak sonuca etki etmektedir. Bu çalışmada hem karar vericiler hem de kriterlerin ağırlıkları eşit kabul edilerek denizyolunun en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalarda

öncelikli olarak bu ağırlıkların literatürde yer alan çalışmalar ile belirlenmesi yoluyla ya da subjektif şekilde belirlenmesi yoluyla değiştirilerek alternatiflerin nasıl sıralandığı gözlemlenebilir. Ayrıca diğer bulanık mantık setleri veya ÇKKV yöntemleri kullanılarak da alternatifler arasında yapılan seçimlerin nasıl farklılaştığı gözlemlenebilir.

Kaynakça

Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3).

Barnhart, C., Belobaba, P., & Odoni, A. R. (2003). Applications of operations research in the air transport industry. *Transportation Science*, 37(4), 368–391. <https://doi.org/10.1287/trsc.37.4.368.23276>

Berle, Ø., Asbjørnslett, B. E., & Rice, J. B. (2011). Formal Vulnerability Assessment of a maritime transportation system. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(6), 696–705. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.12.011>

Byon, Y.-J., Abdulhai, B., & Shalaby, A. (2009). Real-Time Transportation Mode Detection via Tracking Global Positioning System Mobile Devices. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 13(4), 161–170. <https://doi.org/10.1080/15472450903287781>

Cuong, Bui Cong, and Vladik Kreinovich. "Picture Fuzzy Sets-a new concept for computational intelligence problems." *2013 Third World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2013)*. IEEE, 2013.

Feo, M., Espino, R., & García, L. (2011). An stated preference analysis of Spanish freight forwarders modal choice on the south-west Europe Motorway of the Sea. *Transport Policy*, 18(1), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.05.009>

García-Menéndez, L., Martínez-Zarzoso, I., & Pinero De Miguel, D. (2004). Determinants of mode choice between road and shipping for freight transport: Evidence for four Spanish exporting sectors. *Journal of Transport Economics and Policy*, 38(3), 447–466.

Holguín-Veras, J., Xu, N., de Jong, G., & Maurer, H. (2011). An Experimental Economics Investigation of Shipper-carrier Interactions in the Choice of Mode and

Shipment Size in Freight Transport. *Networks and Spatial Economics*, 11(3), 509–532. <https://doi.org/10.1007/s11067-009-9107-x>

Jeffs, V. P., & Hills, P. J. (1990). Determinants of modal choice in freight transport - A case study. *Transportation*, 17(1), 29–47. <https://doi.org/10.1007/BF02125502>

Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435–451.

Li, X., Ju, Y., Ju, D., Zhang, W., Dong, P., & Wang, A. (2019). Multi-Attribute Group Decision Making Method Based on EDAS Under Picture Fuzzy Environment. *IEEE Access*, 7, 141179-141192.

Matear, S., & Richard, G. (1993). Factors Influencing Freight Service Choice for Shippers and Freight Suppliers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 23(2), 25–35. <https://doi.org/10.1108/09600039310038198>

Qu, L., Chen, Y., & Mu, X. (2008). A transport mode selection method for multimodal transportation based on an adaptive ANN system. *Proceedings - 4th International Conference on Natural Computation, ICNC 2008*, 3, 436–440. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2008.165>

Reis, V. (2014). Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 100–120. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.002>

Rietveld, P. (2000). The accessibility of railway stations: The role of the bicycle in The Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(1), 71–75. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(99\)00019-X](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(99)00019-X)

Samimi, A., Kawamura, K., & Mohammadian, A. (2011). A behavioral analysis of freight mode choice decisions. *Transportation Planning and Technology*, 34(8), 857–869. <https://doi.org/10.1080/03081060.2011.600092>

Vannieuwenhuysse, B., Gelders, L., & Pintelon, L. (2003). An online decision support system for transportation mode choice, 16(2),

125–133.

<https://doi.org/10.1108/09576050310467269>

Yedla, S., & Shrestha, R. M. (2003). Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 717–729. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(03\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(03)00027-2)

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353. Zhang, Siqi, et al. "EDAS method for multiple criteria group decision making with picture fuzzy information and its application to green suppliers selections." *Technological and Economic Development of Economy*, 25, 6, 2019, 1123-1138.

Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar

Harun Özbay^{1,*}, Cemil Közkurt², Adem Dalcalı³, Mehmet Tektaş²

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

² Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

³ Department of, Electrical and Electronics Engineering Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

*Correspondence: hozbay@bandirma.edu.tr

Özet: Fosil yakıtlar, ulaşım sektörü başta olmak üzere birçok uygulamada birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlara bir alternatif olarak düşünülen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ise gün geçtikçe artmaktadır. Ulaşım sektöründe de benzer etkiyi içten yanmalı motorların yerine alternatif olarak düşünülen elektrikli araçların (EA) kullanımı almaktadır. Bu amaçla, çalışmada öncelikle fosil yakıtların mevcut kullanım durumu, gelecek projeksiyonu ve doğaya etkisi özetlenmiştir. Daha sonra, klasik tip içten yanmalı araç teknolojisinin gelişimi, özellikleri ve verimleri sunulmuştur. Elektrikli araçların tarihsel gelişimi incelenerek, mevcut durumda kullanılan tümü elektrikli, hibrit elektrikli ve yakıt hücreli EA'ların yapıları avantajları ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca, çalışmada EA'larda kullanılan batarya teknolojileri ve elektrik motor çeşitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Son olarak, içten yanmalı ve elektrikli araçlar çevresel etki, enerji verimliliği, menzil ve seyir dinamikleri yönünden karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlar, hibrit elektrikli araçlar

Abstract: Fossil fuels are used as the primary energy source in many applications, especially in the transportation sector. The use of renewable energy sources, considered as an alternative to these fuels, is increasing day by day. Similar effect in the transportation sector is seen in the use of electric vehicles (EV), which are considered as an alternative to internal combustion engines. For this purpose, firstly, the impact of fossil fuels on environment, the current usage status and future projection of fossil fuels are summarized in the study. Then, the development, features and efficiency of classical type internal combustion vehicle technology are presented. By examining the historical development of electric vehicles, the advantages and disadvantages of all-electric, hybrid electric and fuel cell vehicles are given comparatively. In addition, battery technologies and electric motor types used in EA's are examined in detail. Finally, internal combustion and electric vehicles have been compared in terms of environmental impact, energy efficiency, range and navigational dynamics.

Key words: Electric vehicles, internal combustion vehicles, hybrid vehicle

1. Giriş

Küreselleşen dünya, hızla gelişen teknoloji ve artan nüfus, özellikle petrol ürünleri olmak üzere yüksek enerjili ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmıştır. Küresel birincil enerji tüketimi büyümesi 2017 yılında ortalama %2,2 olmuştur. Bu büyüme ortalaması son 10 yıllık dönemde yıllık %1,7'dir (IEA, 2019). Özellikle araçlar enerji tüketimi konusunda büyük paya sahiptir. Bilindiği gibi, araçların hareket üretmek için bir tahrik sistemine ihtiyacı vardır ve bu hareket genellikle iki yöntemle sağlanır. Birincisi ve en önemlisi bir içten yanmalı motor ve ikincisi de bir elektrik motorudur.

Başlangıçta araçların elektrikli motorlarla çalıştırılabileceği düşünülmeye rağmen, rota tamamen içten yanmalı motorlara çevrilmiştir. Bunun başlıca temel nedenleri, yarı iletken teknolojisinin ihtiyacı karşılayabilecek düzeyde olmaması, düşük pil kapasitesi ve mevcut olmayan şarj istasyonlarıdır. Fakat içten yanmalı motorlar, daha karmaşık sistemlere sahiptirler. Ayrıca, içten yanmalı motorların kullanılması, uzun vadede tüm insanlık ve dünyanın ekolojik dengesi için daha fazla soruna yol açmaya devam etmektedir (IEA, 2019).

Fosil yakıtlar günümüzde, özellikle üretim, ısıtma, ulaşım ve diğer birçok faaliyette birincil enerji kaynağı olarak (yaklaşık %85) en çok kullanılan yakıt çeşididir (IEA, 2019). İnsan ve ürün taşınması, tüketilen birincil enerjinin yaklaşık %20'sini, CO₂ emisyonlarının yaklaşık %23'ünü ve toplam küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır (IEA, 2019). Ancak, fosil yakıtlar 2016 yılında tüm tüketimin temel ve baskın payını korumaya devam etmiştir (BP, 2020). Petrol, tüm küresel enerji tüketiminin üçte birini oluşturmuştur ve 2017 yılında da fosil yakıtlar sektörüne göre tüm enerji tüketiminin %85'ini oluşturmaktadır (BP, 2020).

Uluslararası projeksiyonlara göre, dünyadaki petrol rezervlerinin bilinen rezervlerle birlikte ömrünün yaklaşık 50 yıl olduğu öngörülmektedir (Jannatkah, 2020). Son 50 yıllık dönemde içten yanmalı araçlar kullanılmasına rağmen, benzinli araçların verimi %25-28 arasında değişmekte ve dizel

araçların verimi %34-38 arasında değişmektedir (Jannatkah, 2020). Literatürde içten yanmalı motorların verimliliğini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır ve maalesef, verimlilik hala %40 seviyesine ulaşmamıştır. Bu kadar verimsiz olmasına rağmen, dünya genelinde kullanılan yakıtın yaklaşık %62'si nakliye araçlarında tüketilmektedir. Azalan rezervlere ve artan talebe bağlı olarak, petrol fiyatlarının 20 yıl içinde 200 \$'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Bottery, 2008; Weform, 2016).

Özetle, içten yanmalı motorların verimleri oldukça düşüktür ve insan sağlığı ve çevre için de zararlı gaz emisyonlarına (özellikle sera gazı emisyonları) neden olmaktadır (Khan ve Bohnsack, 2020). Çünkü sadece 1 litre dizel yakıt yakmak, atmosfere yayılan 2,7 kilogram sera gazı emisyonuna eşit olması demektir. Ayrıca, içten yanmalı motorlu araçlar yüksek titreşimde çalışmaktadır ve aslında yüksek gürültü kaynaklarıdır. Bunun yanında, sürekli olarak azalan ve sınırlı rezervlere ve özellikle Türkiye gibi ülkeler için fosil yakıtların taşınması ve dolar kuruna bağlı olarak fiyat artışlarına sahip olması da bir diğer olumsuz etkidir. Bu nedenlerle, neredeyse tüm otomobil endüstrisi tekrar elektrikli ve hibrid araçlara yönelmiştir (Luin ve diğ, 2019). Buna paralel olarak, atılacak en büyük adım kuşkusuz, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için içten yanmalı motorların yerini alabilecek yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı ile mümkündür. Bunun nedeni, mevcut araçlara güç sağlamak için gereken enerjinin yaklaşık %95 oranında petrolden elde edilmesidir (BP, 2020).

Bazı pratik uygulamalarla mevcut içten yanmalı motorların yakıt tüketimini, titreşimlerini, gürültüsünü ve zararlı gaz emisyonlarını iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır (Ahmed ve diğ, 2020; Patel ve diğ, 2016). Ayrıca, petrol bazlı yakıtlara alternatif yakıt arayışları devam etmiş, ancak iyi sonuçlar elde edilememiştir.

Günümüzde petrol bazlı yakıtlara ana alternatifler, toplam küresel ulaşım enerjisinin yaklaşık %5'ini oluşturan biyoyakıtlar, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış petrol gazıdır (LPG) (Naik ve diğ, 2018).

2. Otomobil ve içten yanmalı motor teknolojisi

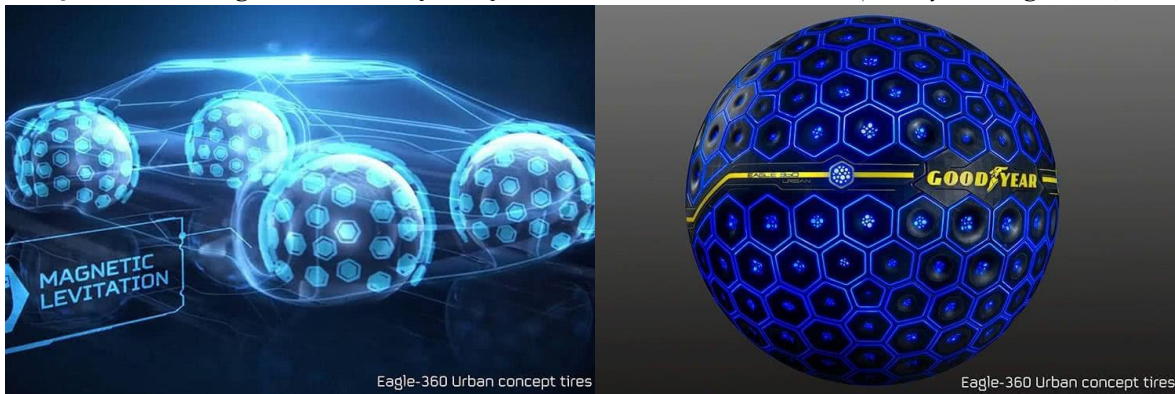
Çağımızın vazgeçilmez ulaşım araçları olan otomobiller, Endüstri 1.0 döneminin tahrik patronu olan dıştan yanmalı buharlı motorlarla hayat bulamamıştır. 19. yüzyılın sonlarında içten yanmalı motor teknolojisinin gelişmesiyle otomobillerde seri üretime başlanmıştır (Alizon ve diğ. 2009) Otomotiv sektörü 20. yüzyılın parlayan yıldızı, Endüstri 2.0 ve 3.0 dönemlerinin de lokomotifidir (Yin ve diğ. 2018).

Günümüzdeki otomobiller en ilkel buluşlardan olan disk şekilli tekerleklerin yuvarlanma hareketi sayesinde yolda ilerlemektedir. Son yıllarda gelecekte otonom araçlarda kullanılmak üzere küre şekilli elektrik motorlu tekerleklerin de konsept olarak tasarlandığı görülmektedir (Anckaert ve diğ. 2017). Şekil 1'de Goodyear Tekerlek ve Lastik Üreticisi tarafından 2016 yılında tasarlanan Eagle-360 konsept küresel tekerlek görülmektedir. Küresel tekerleklerin kullanımı taşıt mekaniği temellerinin birçoğunu değiştirecek niteliktedir. Günümüzdeki otomobiller üzerindeki disk tekerlekler dönme hareketi üreten içten yanmalı motorlarla, dairesel elektrikli motorlarla ya da her ikisi ile de tahrik edilmektedir.

Otomobillerdeki tahrik sistemi birçok direnç kuvvetine karşı koyabilmektedir. Bu direnç kuvvetleri; yuvarlanma kuvveti, (hava) sürüklenme kuvveti, yokuş kuvveti ve ivme kuvvetidir. Otomobiller bu kuvvetlere karşı koyabilmek üzere gerçekleştirilen teknik

hesaplamalar sonucunda tasarlanır ve üretilir (Gillespie, 1992). Ayrıca yolların eğim, kurp, dever gibi taşıtların seyir dinamiğini etkileyecek yol bileşenlerinin hesapları, otomobillerin teknik özellik ve kabiliyet sınırları da dikkate alınarak yapılabilmektedir. Otomobillerde konfor ve verimi sağlamak amacıyla yoldaki engebelerin titreşimini azaltan aktif ve pasif amortisörler, süspansiyon sistemleri olarak kullanılmaktadır. Yeni nesil bir çok rejeneratif amortisör de yoldaki titreşimlerin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için önerilmektedir (Abdelkareem ve diğ. 2018). Yatay kurplarda farklı hızlarda dönen iç ve dış tekerleklerin tek milden döndürülmesini sağlayan mekanik diferansiyel dişli sistemleri taşıtların yolda kayıp savrulmasını önler. EA'larda dönüşlerdeki kayma ve savrulma problemi elektronik diferansiyel adı verilen motorları dönüş açısına göre ayrı hızlarda kontrol edebilen elektronik sürücülerle sağlanır (Tian ve diğ. 2019). Salıncak sistemleri, aktif ve pasif süspansiyon sistemleri de sürücünün konforunu sağlayarak sürüş güvenliğini artırır, yola tutunmayı yükselterek kayma kayıplarını azaltır. Ayrıca otomobil sürücüsünün, yolcuların ve yayaların can güvenliğini sağlamak amacıyla kabin içi ve kabin dışı güvenlik bileşenleri ya da sistemleri kullanılmaktadır. Kabin içinde hava yastıkları, yorgunluk algılama ve uyarı sistemleri, hız sınırlayıcılar, emniyet kemerleri gibi güvenlik sistemleri bulunur. Kabin dışında ise, adaptif hız kontrol sistemleri, kör nokta sensörleri, çarpışmada darbe emen ezilme kutuları gibi sistemler kullanılmaktadır.

Şekil 1. Geleceğin otonom araçları için tasarlanan küresel tekerlek (Goodyear Eagle-360).



İçten yanmalı motorlar benzin, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), biyodizel, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) gibi farklı fosil

ya da organik temelli yakıtlarla çalışabilmektedir. Hava ile yakıt karışımının yanma silindirlerinde yakılması sonucunda

oluşan itici kuvvet piston yoluyla krank milinde dönme hareketine dönüştürülür. Yakıtın türüne göre yanma teknolojisi de elektrikli ateşleme ya da sıkıştırılmalı patlatma şeklinde olabilmektedir. İçten yanmalı motora sahip araçlarda, yanma ve aktarma kayıpları sonucunda elde edilen azami enerji verimi yaklaşık %20 olmaktadır. Ayrıca bu araçlarda, atmosfere atılan karbon ve NOx gaz salınımları çevreye zarar verdiğinden içten yanmalı motorların tercih edilmesi gün geçtikçe azalmaktadır.

3. Elektrikli araç teknolojisi

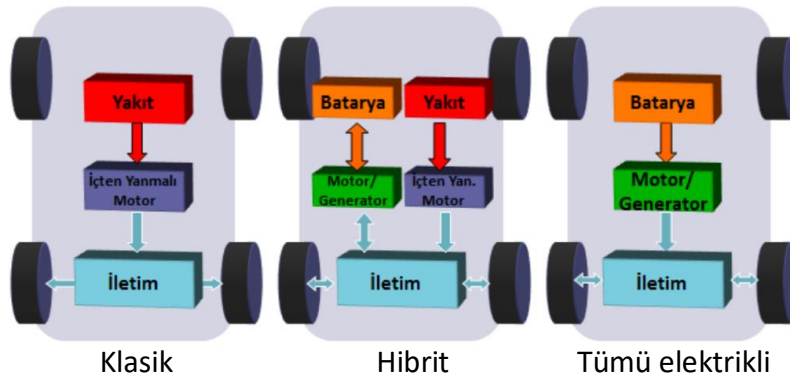
Tarihsel gelişimi 19. yüzyılda başlayan elektrikli araçlar (EA), günümüzde özellikle, içten yanmalı motorların (İYM) sebep olduğu sera gazlarının ve hava kirliliğinin artmasıyla popüler hale gelmiştir. Farklı EA türleri üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır. Mevcut şartlarda kullanılan EA çeşitleri üç ana grupta toplanabilir. Genellikle akla ilk gelen enerjisini tamamen batarya grubundan sağlayan Tümü Elektrikli Araçlar (TEA) olarak adlandırılan EA'lar gelmektedir. Son zamanlarda batarya teknolojisindeki gelişmelerin artmasıyla TEA'lara olan ilgi giderek artmaktadır. Fakat hem İYM'yi hem de elektrik motorunu aracın tahrik sisteminde birlikte kullanan Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA) günümüzde en yaygın kullanılan EA'lar sınıfındadır. Diğer EA türü ise hidrojen enerjisi ile çalışan Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (YHEA) olarak literatürde yer almaktadır (Ehsani ve diğ. 2009). Söz konusu EA türlerinin dışında, güneşten enerjisini sağlayan, doğrudan

elektrik hatlarından enerjisini sağlayan, volan veya ultrakapasitör gruplarından enerjisini sağlayan kısıtlı uygulama alanlarında kullanılan EA türleri de mevcuttur (Westbrook, 2001). Çalışma şekillerine göre klasik, hibrit ve tümü elektrikli araçların mekanik detayları Şekil 2'de sunulmuştur (Ocak, 2013).

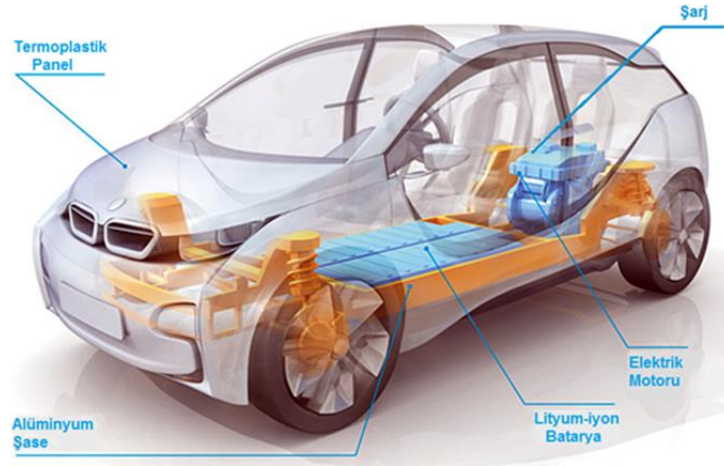
3.1. Tümü elektrikli araçlar

İYM'li araçların çevreye zarar vermesi nedeniyle karbon salınımı sıfır olan TEA'lar, ulaşım sektöründe hızla yer almaktadırlar. Düşünülenin aksine, kontrol sistemlerinin karmaşıklığı sayılmazsa, oldukça da basit bir yapıya sahiptirler. Şekil 3'te gösterilen TEA'ların yapısında elektrik motoru, güç dönüştürücüleri içeren kontrolcü ve batarya ünitesi bulunmaktadır (Mahmoudi ve diğ. 2014; Özby, 2017). TEA bataryaları genellikle araç üzerinde bulunan fiş girişiyle şebekeden şarj edilir. Kontrol ünitesi ise, aracın ileri ya da geri gitme hareketlerinin, hız ayarının yapılmasının, frenleme için rejeneratif frenleme yaparak enerjinin geri kazanılmasının kontrollerini yapan sistemdir (Demir, 2011).

TEA'larda elektrik motoruna aktarılan güç, batarya ünitesinden elde edilen elektrik enerjisinden karşılanır. TEA'larda benzin, dizel veya diğer yakıtların kullanılması söz konusu değildir. Bu nedenle, TEA'lara hiçbir yakıt tüketmediğinden "sıfır emisyonlu araçlar" denilmektedir. TEA bataryalarının şarj edilmesi sırasında tüketilen elektrik enerjisinin üretilmesinde oluşan zararlı emisyonlar, İYM'li araçlara oranla çok daha az seviyede olmaktadır.



Şekil 2. Çalışma şekline göre araçlar.



Şekil 3. TEA'ların basit gösterimi (BMW i3).

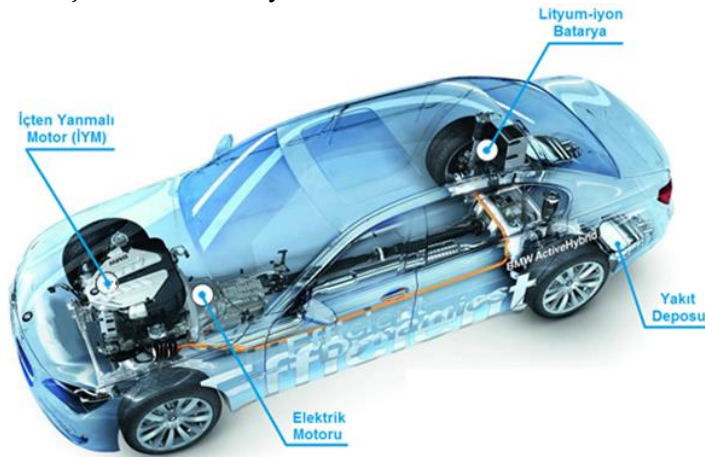
Ayrıca TEA'larda İYM yerine elektrik motoru olduğundan oldukça sessiz çalışırlar (Foley, 2010). Frenleme sırasında ise rejeneratif frenleme ile elektrik motorunu bir generatör gibi kullanarak kinetik enerji bataryalara elektrik enerjisi olarak aktarılmaktadır. Böylece bataryalardaki enerji çok daha verimli kullanılmakta ve mekanik fren sistemi daha uzun ömürlü olmaktadır.

Günümüzde TEA'ların birçok avantajı olmasına rağmen kullanımını sınırlayan birtakım faktörler bulunmaktadır. Bu kısıtlamaların en başında TEA'ların menzillerinin yeterli miktarda olmaması ve batarya maliyetlerinin ise fazla olması gelmektedir (Gomez ve Medhat, 2010). Fakat, teknolojiye gelişmeler hızla ilerlediği için batarya sistemlerindeki gelişim de hızla artmaktadır. Ayrıca gelişen batarya teknolojisi ile çok daha uzun menzilleri çok daha az maliyetle kat etmek mümkün olacaktır (Özby, 2017). Dolayısıyla, TEA'ların tercih sebebi olmasında bu gelişmeler çok önemli bir yer

almakta ve TEA'ların popülerlikleri de her geçen gün artmaktadır (Morcos, 2000).

3.2. Hibrit elektrikli araçlar (HEA)

Bir HEA'nın iki veya daha fazla güç kaynağına sahip farklı varyasyonları olsa da en yaygın HEA türü, Şekil 4'te de gösterilen bir İYM, bir batarya grubu ve bir elektrik motoru bileşenlerinden oluşur (Emadi ve diğ. 2008). Seri HEA ve paralel HEA olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Seri HEA'da İYM'nin generatörü çalıştırması sonucu üretilen elektrik enerjisi hem batarya gruplarını şarj eder hem de aracın tahrik sisteminde kullanılan elektrik motoruna aktarılır. Dolayısıyla, HEA'nın hareket ettirilmesi için gerekli itici güç sadece elektrik motorundan sağlanmaktadır. Paralel HEA'da ise itici güç hem İYM'den hem de elektrik motorundan aynı anda sağlanmaktadır. Bir veya daha fazla elektrik motorunun ve İYM'nin birlikte bağlandığı bir güç aktarma organı ile araç hareket ettirilmektedir (Uçarol ve Kural, 2009).



Şekil 4. HEA'ların basit gösterimi (BMW 5 active hybrid).

Her iki HEA türünde de araçtaki batarya grupları generatör tarafından şarj edildiği için, batarya grupları TEA'lardaki gibi büyük boyutlarda olması gerekmemektedir. Ayrıca, HEA'larda da rejeneratif frenleme ile aracı yavaşlatırken veya durdururken batarya grupları şarj edilmektedir (Lai, 2001). Paralel HEA'lar tüm enerjini dönüştürmek zorunda kalmadıklarından kullanılan elektrik motorları da daha küçük güçlerde olmaktadır (Özbay, 2017). Dolayısıyla paralel HEA'ların daha geniş uygulama alanı bulunmaktadır. Seri HEA'lar ise, bazı gemi ve demiryolu taşıtları gibi özel uygulama alanlarında tercih edilmektedirler. Fakat, her iki HEA'da da amaç, İYM'yi olabildiğince az çalıştırarak emisyon salınımını en aza indirmektir. Özellikle egzoz emisyonunun istenmediği şehir içi sürüşte elektrik motorunun daha çok kullanımı ve hız/güç istenen şehir dışı sürüşte ise İYM'nin daha çok kullanımı modern kontrol teknikleri ile mümkündür (Moreno ve diğ. 2006). Ayrıca, egzoz emisyonlarının daha da düşürülmesi için son zamanlarda HEA'lardaki bataryanın şebekeden şarj edilmesi üzerine çalışmalar artmıştır (Martinez ve diğ. 2017). Böylece bataryanın şarjı için İYM daha az kullanılmaktadır. Bu teknolojiye sahip HEA'lara şarj edilebilir (Plug-in) HEA (PHEA) denilmektedir. Diğer HEA'ların sahip olduğu özelliklerin yanında yapısındaki değişiklik ile şebekeden de şarj edilebilmektedir (Martinez ve diğ. 2017).

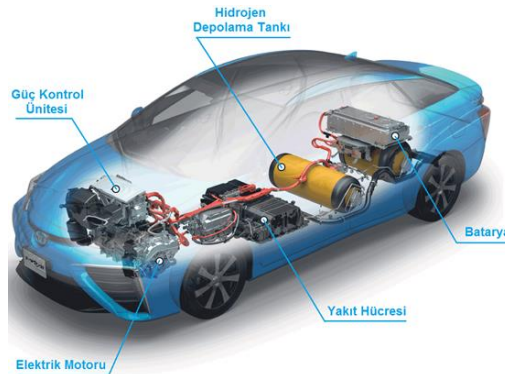
3.3. Yakıt hücreli elektrikli araçlar (YHEA)

Benzer hareket sistemine sahip olan YHEA'lar, yakıt olarak doğrudan hidrojen kullanarak kimyasal enerjini elektrik enerjisine dönüştürürler. Şekil 5'ten görüldüğü üzere TEA'larda kullanılan yüksek kapasiteli batarya grubu, YHEA'larda yakıt hücresi ile yer değiştirmiştir. Ayrıca yakıt hücresinin kullanacağı hidrojenin depolanması için de bir tank eklenmiştir (Şenol ve diğ. 2006).

Ancak özellikle geleceğin teknolojisi olarak düşünülen YHEA'lar için günümüzde hala çeşitli sorunlar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi yakıt hücresi teknolojisinin nispeten pahalı olmasıdır (Özbay, 2017). Ayrıca yakıt olarak kullanılan hidrojenin araca yüklenebileceği hidrojen istasyonlarının sayısı oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla YHEA'lar gelecek için uzun vadeli bir çözüm olarak görülmektedir (Larminie ve Dicks, 2000).

4. EA'ların avantaj ve dezavantajları

Çevreye verilen zararın en aza indirilmesi için yapılan çalışmalar EA'ların yaygınlaşmasını tetiklemektedir. Bunun için gerekli teknolojik gelişimin büyük bölümü tamamlanmasına rağmen henüz yeterince talep görmemektedir. Bunun sebebinin öncelikle yüksek maliyet ve yedek parça yetersizliği olduğu görülmektedir. EA talebindeki artışa bağlı olarak üretim miktarının artması sonucu maliyetlerin düşmesi ve yedek parça ulaşımının da artması muhtemeldir. Dolayısıyla EA teknolojilerinin birçok önemli avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Tablo 1'de, TEA, HEA, PHEA ve YHEA teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir (AVERA, 2010).



Şekil 5. YHEA'ların basit gösterimi (Toyota Mirai).

Tablo 1. EA'ların avantaj ve dezavantajları

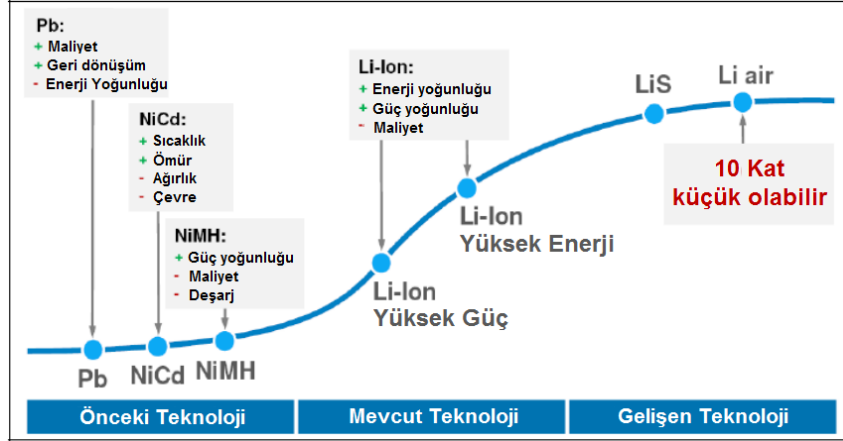
Teknoloji	Avantajları	Dezavantajları
TEA	– Sıfır egzoz emisyonu	– Kısıtlı menzil
	– Sessiz çalışma	– Batarya teknolojisinin geliştirilmeye olan ihtiyacı
	– Hızlı batarya şarjı	– Kamusal alanlarındaki şarj istasyonu alt yapısının kısıtlı olması
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	
HEA	– Düşük yakıt ve işletme maliyetleri	– Yüksek üretim maliyetleri
	– Düşük yakıt masrafı	– İki farklı motorun güç aktarımındaki karmaşıklık
	– Az yakıt tüketimi sonucu düşük egzoz emisyonu	– Kısıtlı yedek parça ulaşımı
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	
PHEA	– Şebekeden şarj imkânı	– Daha yüksek üretim maliyeti
	– Yakıt tüketiminde azalma sonucu sıfır egzoz emisyonu olanağı	– İki farklı motorun güç aktarımındaki karmaşıklık
	– Optimum yakıt kullanımı ile performans verimliliği	– Bataryaların maliyeti ve değişimi
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	– Batarya ve güç elektroniğinin ekstra getirdiği ağırlıklar
YHEA	– Petrole bağımlılığının olmaması	– Çok yüksek üretim maliyeti
	– Sıfır egzoz emisyonu	– Hidrojen üretimi ve depolama işlemindeki zorluklar
	– Rejeneratif frenleme ile geri enerji kazanımı	– Hidrojenin yakıt ikmalindeki zorluk
	– IYM'ye göre daha yüksek enerji verimliliği	– Kullanılan kodların ve standartların hala geliştirilme aşamasında olması
		– Hidrojen kullanımındaki yüksek basınç dolayısıyla artan güvenlik tedbirleri

5. EA'larda kullanılan bataryalar

Günümüzde çok çeşitli EA batarya teknolojileri mevcuttur. Kurşun-Asit (Pb) bataryalar, araçların elektrik ihtiyacını tedarik etmede yıllarca kullanılmıştır. 1980'lerde ilk modern EA'ların devreye girmesiyle birlikte, daha güçlü bataryalara duyulan ihtiyaç artmıştır. Böylece ilk olarak Nikel-Kadmiyum (NiCd) bataryalar ve sonrasında ise HEA'larda kullanılmak üzere Nikel-Metal-Hidrit (NiMH) bataryalar geliştirilmiştir. Fakat bu batarya teknolojilerinin hiçbiri EA'ların yeterli sürüş mesafesi için gerekli enerji yoğunluğuna sahip değildir (SEI, 2007).

Son zamanlarda ise, Lityum iyon (Li-ion), Lityum iyon polimer (Li-Po), Sodyum Nikel Klorür (NaNiCl), Lityum demir fosfat (LiFePO₄), Çinko Hava (Zn-air), Lityum sülfür

(LiS), Lityum hava (Li-air) ve ultra-kapasitör üzerine yapılan çalışmalar sonucu EA'larda bu bataryalar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, silikon, kükürt ve hava (oksijen) içeren lityum bataryalar ise gelecekte en umut verici bataryalar olarak görülmektedir. Ayrıca nano-teknolojideki gelişmeler de batarya gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Duleep ve diğ. 2011). Şekil 6'da EA bataryalarının teknoloji yol haritası görülmektedir (Özbay, 2017).



Şekil 6. EA bataryalarının teknoloji yol haritası.

6. EA'larda kullanılan elektrik motorları

Elektrikli araçlarda ihtiyaç duyulan tork, kullanılan elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Bu yüzden elektrikli araçlarda, performans direkt olarak kullanılan elektrik motorunun seçimi ile ilişkilidir. Bu ilişkiden dolayı, elektrik motorunun seçimi büyük önem arz etmektedir. Elektrikli araçlarda asenkron, senkron, DA ve anahtarlamalı relüktans motorlar tercih edilmektedir (Rahman ve diğ. 2000; Dalcalı, 2018; Abdelghani ve Boumediene, 2019; Zhang ve diğ. 2019; Grilo ve diğ. 2012).

Sabit mıknatıslı klasik tip DA motorlar, ikinci bir uyarıma gerek duymadıklarından uyarım kaynağına olan ihtiyaç ortadan kalkmakta ve böylelikle bu kısımda oluşacak güç kaybı önlenmektedir. DA motorların diğer bir tipi de alan sargılı motorlardır. Sabit mıknatıslıdan farklı olarak hem stator hem rotorunda sargılar bulunmaktadır. Bu tip motorların komütatör ve fırçaya sahip olması bakıma fazla ihtiyaç duymalarına neden olmaktadır. Anahtarlamalı relüktans motor senkron motorun bir türü olup sürekli yarı iletken anahtarlarla kontrol sağlanmalıdır. Bu tür motorlarda sadece statorda sargı olup rotor masif demir veya sac paketinden meydana gelmektedir. Bu durum rotorda daha az elektriksel güç kaybı olmamasına öncülük etmektedir. Bu motorlar düşük üretim maliyeti, dayanıklı yapısı ve kolay soğutma olanağı mevcuttur (Vatani ve diğ. 2019). Ancak relüktans motorların tork dalgalanmaları bu motorların dezavantajlı olmalarına neden olmuş ve elektrikli araçlarda kullanımını sınırlandırmıştır (Nanda ve Kar, 2006). Diğer bir alternatif olan asenkron

motorlar kolay üretim, az bakım ihtiyacı, düşük maliyet gibi faktörlerden dolayı sanayide yoğunlukla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, asenkron motorlar, elektrikli araç için yüksek kontrol kabiliyeti, basit ve kararlı tasarıma sahip olduklarından EA'larda sıklıkla tercih edilen motorlardır (Palacky ve diğ. 2014; Damiano ve diğ. 2014). Amacına uygun olarak tasarlanan bir asenkron motor, kalıcı mıknatıslı motorlardan daha güvenilir ve sağlamdır. Asenkron motorlar, kalıcı mıknatıslı motorlara kıyasla neredeyse ömrü boyunca herhangi bir düşüş olmaksızın nominal performans gösterebilirler. Ancak asenkron motorlarda ise güç yoğunluğunun mıknatıslı motorlara göre çok daha az olması bu motorların kullanımını kısıtlamaktadır (Ehsani ve diğ. 2003).

Kalıcı mıknatıslı teknolojisinde yaşanan gelişmelere paralel olarak, nadir toprak malzemelerin elektrik motorlarında kullanımı artmaktadır. Yüksek güç yoğunluklarından dolayı, düşük ağırlık ve hacim istenen uygulamalarda nadir toprak mıknatıslar tercih edilebilir. Sabit mıknatıslı senkron motorlar verimlerinin yüksek olması, hacimlerinin ve ağırlıklarının az olması, tork yoğunluklarının ve tork/ağırlık oranlarının yüksek olmasından dolayı elektrikli araçlarda tercih edilebilmektedir. Bu tip motorlarda ise nadir toprak malzemelerin dengesiz olan fiyat politikası, mıknatısların demanyetizasyon riski ve zamanla mıknatıslık özelliğini kaybetmesi sabit mıknatıslı motorları sınırlamaktadır (Ocak, 2013; Zhang ve diğ. 2016). Genel olarak motorların tork yoğunluğunu Tablo 2 ile özetleyebiliriz (Ehsani ve diğ. 2003).

Tablo 2. Motorların tork yoğunlukları

Makine Tipi	Tork/ Hacim (Nm/m ³)	Tork/Bakır (Nm/kg)
Sabit mıknatıs	28860	28,7-48
Asenkron	4170	6,6
Anahtarlamalı relüktans	6780	6,1

Tablodan sabit mıknatıslı motorların yüksek tork yoğunluğuna sahip oldukları görülmektedir. Kalıcı mıknatıs motorlar, asenkron ve anahtarlamalı relüktans motorlara oranla daha düşük ağırlıklarda daha yüksek tork ihtiyacını karşılayabilmektedirler.

7. İçten yanmalı ve EA'ların karşılaştırılması

Bu kısımda içten yanmalı motorlara sahip araçlar ile elektrikli araçlar birçok farklı açıdan ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır.

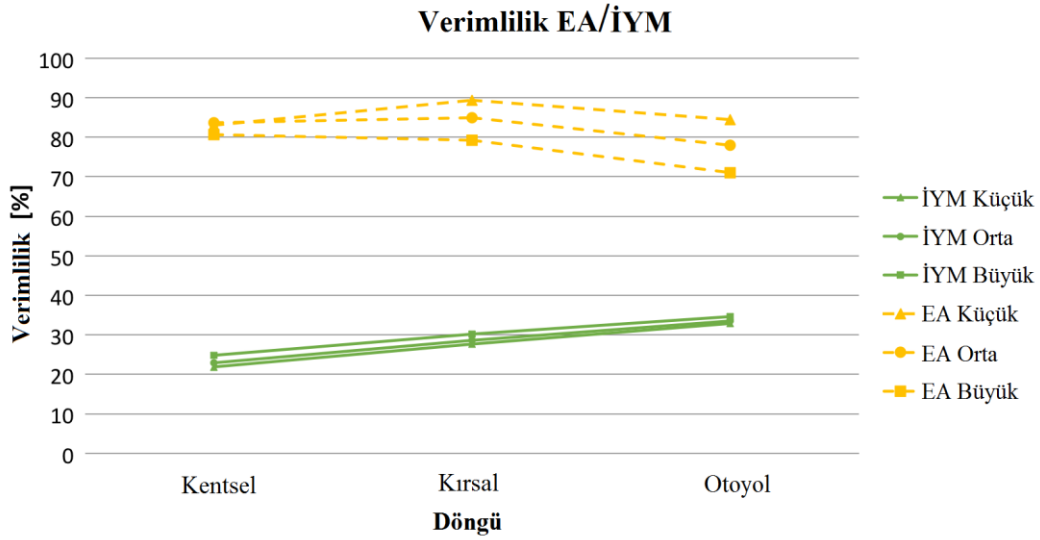
7.1. Çevresel etkiler

Literatürdeki çalışmalarda, girdi faktörleri (malzeme, enerji üretim yöntemi) ve çıktı faktörleri (emisyon ve atıklar) arasındaki ilişkiyi değerlendirerek çevresel etkilerin incelenmesi amacıyla “yaşam döngüsü değerlendirmesi” yaklaşımı kullanılmaktadır (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Bu yaklaşımdan da anlaşılacağı üzere çevre etkisini değerlendirirken sadece üretimde, kullanımda veya kullanım sonrası safhaları ele almak yanlış bir değerlendirmeye neden olmaktadır. Günümüzde, içten yanmalı motorlu araçların alternatifleri olan bataryalı ve hibrit elektrikli araçların kullanımının artması ile hava kirliliği, fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınma gibi problemlere çözüm oluşturulabilir. Ancak, elektrik üretim kaynağının bu süreçten bağımsız olduğu unutulmamalıdır. Çünkü yenilenebilir enerji kaynağı dışındaki kaynakların kullanımı ile üretilen elektriğin bahsedilen problemleri arttırdığı bilinmektedir. Elektrikli araçların çevresel değerlendirmesinde, batarya en önemli çevresel etken olarak karşımıza çıkmaktadır. (Matheys ve diğ, 2006; Manzetti ve Mariasiu, 2015). Araç batarya bileşenlerinin atık yönetimi ve bunların geri dönüşümünün sağlanması çevre problemlerini sınırlamak açısından önem arz etmektedir.

Avrupa'nın mevcut elektrik üretimi altyapısı ile 150000 km'lik ömre sahip bir elektrikli aracın dizel ve benzinli araçlara kıyasla küresel ısınma potansiyelinde %10 ile %24'lük, 200000 km'lik ömre sahip bir elektrikli araçta ise benzinli araca nazaran %27-29 oranında azalma sağladığı rapor edilmiştir (Hawkins ve diğ, 2012). Ancak belirtilen etkinin sağlanması için, üretim süreçleri (elektronik ekipman, batarya vb.) ve elektrik üretimindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının etkisi büyüktür.

7.2. Enerji Verimliliği

İçten yanmalı motorların verimi %25-38 arasında değişmektedir. İçten yanmalı motora sahip araçlarda verim, artan araç ağırlığı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ekstra ağırlık, daha yüksek tork talebi anlamına geldiğinden, seçilen motorun daha optimum yükte çalışmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda araç, daha düşük yakıt tüketimi ile hareket etmesi mümkündür. Fakat artan ağırlıkla daha yüksek bir verimlilik elde edilmesine rağmen, daha ağır bir araç daha fazla enerji tüketmektedir. Elektrikli araçlar ise maksimum %89'dan minimum %71'e kadar çok yüksek bir verimlilik göstermektedir. EA'ların yüksek verimliliği, elektrikli motorun tüm çalışma bölgelerinde çok yüksek motor verimliliği nedeniyle mümkün olmaktadır. İYM'ler ve EA'lar arasındaki enerji kullanımındaki bu büyük farklılıklar ve verimlilikleri Şekil 7'de verilmiştir (Gustafsson ve Johansson, 2015). Farklı büyüklükteki EA'lar kentsel döngüde benzer verimliliğe sahipken, kırsal ve otoyol döngülerinde daha yüksek yükler daha büyük kayıplara neden olduğundan mevcut iç kayıplara bağlı olarak verim düşmesi görülmektedir. Bu aynı zamanda, farklı büyüklüklerdeki içten yanmalı araçların verim eğrilerinin eğiminin neden EA'lardan daha yüksek olduğunu açıklar (Howey ve diğ, 2011). Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek, içten yanmalı motorlarda olduğu gibi ekzotermik bir reaksiyon gerekli değildir. EA'ların enerji dönüşümünde sürtünme yoluyla ısı ortaya çıkmaktadır, fakat içten yanmalı motora sahip araçlardaki yanma işleminden çok daha düşüktür.



Şekil 7. İYM'ler ve EA'lar arasındaki verimlilik.

Ayrıca EA'lar, içten yanmalı araçlarda kullanılan en uygun çalışma noktası için kullanılan vites dişlileri yerine sadece bir vites kullanma imkânı ile şanzımanda da daha yüksek bir verimliliğe sahiptir (Thomas, 2009).

Küçük boyutlu EA'nın verimliliği, şehir (kentsel) döngüde orta büyüklükten daha düşüktür, ancak diğer iki döngüde daha büyük araçlara göre daha verimli olduğu görülmektedir. Bu durum, mevcut kütleyle bağlı olarak rejeneratif frenlemenin etkisinden kaynaklanmaktadır. Daha büyük kütleyle sahip araçlar hızlandığında daha yüksek kinetik enerji depolarlar, dolayısıyla frenleme sırasında daha fazla enerji bataryalarda geri kazanılır. Fakat daha büyük kütle için daha büyük batarya gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Ancak büyük boyutlu bataryanın doğal olarak daha fazla kayıpları olacaktır. Bu da kentsel ve otoyol döngülerinde verim kaybına yol açacaktır (Gondelach ve Faaij, 2012).

İYM'lerdeki krank mili, piston, silindir, kam mili, sübap gibi parçaların ve diferansiyel, şanzıman gibi aktarma organlarının otomobillerin verimini düşürmemesi için yüksek doğruluk ve düşük pürüzlülük sağlayan hassas CNC üretim sistemlerinde üretilmesi gerekir (Közkurt ve diğ., 2017). Elektrikli motorlar, az hareketli parçaya sahip olduklarından enerji verimliliği açısından İYM'lere bir kez daha üstünlük sağlamaktadır.

7.3. Menzil ve seyir dinamikleri

Elektrikli araçlardaki menzil değerleri bataryaların şarj kapasitelerine ve motorun

çektığı akıma bağlıdır. Motorun çektiği akım, motorun anma gücüne, motorun sürücüsüne, aracın sürülme tarzına, sürüklenme katsayısına ve ağırlığına bağlıdır. Batarya kapasitesi bu parametrelerden bağımsız olarak ağırlığın izin verdiği oranlarda artırılabilir. Bu yüzden bataryaya yapılan yatırım ile menzil doğru orantılıdır denebilir. Elektrikli araçlarda enerji verimliliği yüksek olsa da enerji depolama maliyetleri henüz fosil yakıt motorlu araçların seviyelerine düşmemiştir. Ancak hızlı şarj istasyonları, paylaşımlı hareketlilik araçları gibi uygulamalar yaygınlaştıkça, elektrikli araçlar daha düşük maliyetlerle trafikte seyredebileceklerdir. Hızlı şarj istasyonlarının artışı daha düşük menzilli dolayısıyla daha ucuz araçların kullanımını yaygınlaştırabilecek, paylaşımlı hareketlilik uygulamaları da araç sahiplenme maliyetlerini azaltarak daha fazla insanın elektrikli araçlardan faydalanabilmesini sağlayabilecektir (Feigon ve Colin, 2016). Elektrikli araçların menzillerinde son yıllarda önemli artışlar olmuştur. Tablo 3'te verilen üretimdeki TEA menzil verilerinde de görüldüğü gibi değerler 198 km ile 600 km arasında değişmektedir. Buna göre günümüzde şehirler arası yolculuklarda elektrikli araçların kullanımı oldukça yeterli düzeye gelmiştir.

Tablo 4'te fosil yakıtlı ve hibrit araçlardan bazılarının verileri görülmektedir. Elektrikli araçlarla hızlanma süresi, tüketim ve menzil değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında elektrikli araçların hızlanma sürelerinde ve eşdeğer tüketimde üstün olduğu görülmektedir.

Menzil açısından fosil yakıtlı ya da hibrit araçların daha üstün olduğu görülmektedir.

Geleceğin otonom araçlarına yönelik küresel tekerlek tasarımı (Goodyear Eagle-360) yatay kurplarda ve park esnasında otomobilin köşegenleri doğrultusunda değişken açılarda ya da eni doğrultusunda direksiyon mekanizması kullanmadan hareket etmesine olanak tanır. Böylelikle hem mekanizmadan bağımsız bir çalışma hem de dönüşteki alan gereksinimin ortadan kalkmasıyla otoparklarda alan açılması sağlanmış olur. Bu avantajlarına rağmen küresel tekerlek bir motorun rotor kısmını oluşturduğundan dış etmenlere karşı korunması için maliyetli malzemeler ile kaplanması gerekebilir. Tekerleğin kaplama kalınlığı arttıkça elektrik motorunun hava aralığı artacağından verimi de düşecektir. Ayrıca kaplama malzeme manyetik yataklama zorluklarında neden olabilecektir. Tekerleğin küresel yapısından dolayı temas yüzeyi azalacağından zemine tutunma kabiliyeti de düşecektir. Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle hayata geçirilmesi mümkün olabilecek küresel tekerlekler gelecekte sıra dışı bir taşıt dinamiği vaad etmektedir.

Rejeneratif amortisörler, elektrik enerjisine ihtiyaç duyan TEA'larda menzili uzatmak adına daha fazla gündeme gelme potansiyeline sahiptirler. Rejeneratif süspansiyon teknolojisi elektrik motorlarına benzer sistemlerden oluştuğundan bu sistemlerin verimlilikleri EA motorlarının gelişimine paralel olarak artabilir. Ancak rejeneratif amortisörlerle ilgili gelecekteki sorunlardan en önemlilerinden biri, yeterli hareket, sınırlı ağırlık ve boyutlara sahip kompakt bir rejeneratif amortisör geliştirmektir (Abdelkareem ve diğ, 2018).

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar araç içinde farklı konumlara yerleştirilebilmektedir. Ön kaput altı, arka bagaj altı ya da kabin altı olmak üzere değişen bu konumlardan en çok kullanılanı kabin altı konumdur. Bu seçenek aracın ağırlık merkezini yere yaklaştırarak yatay kurplarda daha yüksek hızlarla devrilmeden ilerlemeyi sağlamaktadır. Fosil yakıtlı araçlarda ise şanzıman ve motor gibi yüksek ağırlık oluşturan bileşenler yapısı gereği elektrikli araçlara göre ağırlık merkezinin hem daha yüksekte hem de daha önde olmasına sebep olmaktadır. Geometrik olarak ağırlık merkezinin orta altta olması

dinamik açıdan da avantaj oluşturmakta ve bu seçeneklerdeki bir aracın seyir dinamikleri daha stabil olmaktadır.

EA'ların karavan, otobüs, UTV, jet ski, mobil konteynır gibi gelecekteki farklı kullanım alanlarına yönelik tasarımlarını yapan firmalar da bulunmaktadır (Nikola, NeuronEV). Bu tasarımlara bakıldığında trafikte seyredirken ofis ortamı ya da konaklama ortamı sunan konteynır şeklinde araçların olduğu görülmektedir. Seyir halinde çalışma ya da konforlu dinlenme de EA'lar ile mümkün görülmektedir.

7.4 AUS ile adaptasyon

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); sürücü, yolcu ve trafik güvenliğinin artırılması, kazaların önlenmesi, seyahat sürelerinin azaltılması, enerji verimliliğinin sağlanması ve çevreye verilen zararların azaltılması amacıyla kurulan bir sistemdir. Bu sistemde kullanıcı, araç, altyapı ve merkez arasında çok yönlü veri iletişimi sağlanarak belirtilen amaçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır (Tektaş ve diğ, 2016). AUS'un kullanımı ile trafikte geçen zaman ve trafikte ortalama durma süresi azaltılabilmekte iken acil durumlara tepki hızında ise ciddi artış sağlanabilmektedir (Singh & Gupta, 2015). Akıllı ulaşım teknolojileri; toplu ulaşımın iyileştirilmesi, otomobillerin otomasyonu ve otonom araçların geliştirilmesi gibi kritik teknolojilere katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda otomatik plaka okuma sistemleri, otomatik navigasyon sistemleri, otomatik geçiş sistemleri, dinamik trafik ışığı kontrol sistemleri gibi uygulamaları yıllar içerisinde kullanıma sunulmuştur.

Alternatif enerji kaynakları ile enerji üretimi ve elektrikli araçların artması ile petrol tüketiminin buna bağlı olarak azalacağı aşikârdır. Bu durumda AUS'un temel amaçlarından olan insan ve çevre dostu sistemler kapsamında karbon salınımının azaltılması önemlidir. Ayrıca AUS'da, yazılım içeren uygulamalar ile araç-arac, araç-sürücü, araç-merkez haberleşmeleri ile trafik güvenliğine katkı sağlanabilmektedir (Tektaş ve Tektaş, 2019). Tüm bu dinamikler değerlendirildiğinde elektrikli araçların AUS uygulamalarına daha kolay adaptasyonun sağlanacağı düşünülmektedir.

Tablo 3. 2020 yılında üretilen ve sonrasında üretimi planlanan bazı TEA'ların teknik özellikleri (Fuel Economy. EV database. Edmunds. Plugincars. TOGG. Tesla)

Otomobilin markası ve modeli	Bataryaya kapasitesi (kWh)	0–100km hızlanma (s)	Toplam Menzil (km)	Tüketim (kWh / 100 km)	Eşdeğer ortalama tüketim (litre / 100 km _e)	Motor gücü (Kw)	Motor tipi	240 V'da Şarj Süresi (Saat)
Tesla Model 3 Standard Range Plus	50	5,6	402	14,91	1,67	211	AA 3 Faz	8,5
Hyundai Ioniq Electric	38,3	9,9	274	24,38	1,77	100	AA DMSM	5,8
Tesla Model 3 Long Range	75	4,6	531	16,16	1,81	211	AA 3 Faz	10
Hyundai Kona Electric	67,1	7,9	415	16,78	1,96	150	AA DMSM	9
Chevrolet Bolt EV	60	6,7	417	18,02	1,99	150	AA DM	10
Kia Soul Electric	64	7,6	391	18,64	2,06	201	AA DMSM	9,5
BMW i3	42,2	7,3	246	18,64	2,06	125	AA İnd.	7
Volkswagen e-Golf	35,8	9,6	198	18,64	2,06	100	AA DMSM	5,3
Kia Niro Electric	67,1	7,8	385	18,64	2,1	150	IDMSM	9,5
Tesla Model S Long Range	100	3,8	600	18,64	2,12	193	AA 3 Faz	12
MINI Cooper SE Hardtop 2 door	32,5	7,3	177	19,26	2,18	135	DA DM	4
Jaguar I-Pace	90	4,8	377	27,34	3,09	147	AA 3 Faz	13
Porsche Taycan Turbo	93,4	3,2	323	30,45	3,41	170	AA DM	10
TOGG AWD**	-	4,8	500	-	-	294	-	-
Tesla Cybertruck AWD**	-	2,9	800	-	-	-	AA 3 Faz	-
Tesla Semi**	~1000	20,7	805	124,27	13,96	-	AA 3 Faz	-

*litre/100km_e : Bir galon benzin başına gidilen mil eşdeğeri (MPG_e - Mile per gallon gasoline equivalent) ölçü biriminin karşılığı (EPA, 2011)

**Henüz aracın satışı olmadığından veriler değişebilir

Tablo 4. 2020 yılında üretilmekte olan bazı şarjlı hibrit, hibrit ve İYM tahrikli araçların teknik özellikleri (Fuel Economy. Edmunds. Plugincars.)

Marka / Model	Batarya kapasitesi (kWh)	0 – 100 km hızlanma (s)	Toplam menzil (km)	Ortalama yakıt tüketimi (litre / 100 km)	Elk.+Yakıt eşd. ort. tüketim (litre / 100 km)	Güç (kW)	Elektrik Motor tipi	Tahrik tipi
Toyota Prius Prime	8,8	10,9	1030	4,36	1,77	37	AA İnd.	Şarjlı Hibrit
Ford Fusion Enerji Plug-in Hybrid	7,6	8,5	982	5,6	2,28	68	AA DM	Şarjlı Hibrit
Toyota Prius Eco	-	10	1019	4,2	-	53	-	Hibrit
Honda Insight	-	8,4	887	4,52	-	79	-	Hibrit
Ford Fusion Hybrid FWD	-	9,3	946	5,6	-	104	-	Hibrit
Nissan Altima AW	-	8,7	773	7,84	-	138	-	İYM
Volkswagen Arteon	-	6,8	1138	9,41	-	197	-	İYM
Ford Fusion FWD	-	9,2	681	9,41	-	170	-	İYM
Ford Escape AWD	-	-	708	8,4	-	184	-	İYM
Ford F150 Pickup 4WD Limited	-	-	1100	12,38	-	331	-	İYM

8. Değerlendirme

EV teknolojisi, otomotiv sanayinde yaşanan gelişmelere paralel olarak temiz enerji kaynağı ve enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalardan dolayı hızlanmıştır. Özellikle petrol kaynaklarının tükenme noktasına gelmesi ve artan çevresel kaygılar, araçlar için alternatif tahrik sistemlerinin gerekliliğini arttırmıştır.

Elektrikli araçlar fosil yakıtlı araçlara göre kısa sürede hızlanma, tüketim maliyeti, enerji verimliliği, enerji geri kazanımı, basit mekanik tahrik, sessiz çalışma ve gürültü kirliliğinin azaltılması gibi avantajları da sunmaktadırlar.

Enerji kullanım miktarını en aza indirmek ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkartmanın yolu EA'lar olduğu görülmektedir. Menzil söz konusu olduğunda İYM ön plana çıksa da verimsiz çalışması nedeniyle gelecekte tercih sebebi olmaktan da çıkacaktır. Özellikle batarya teknolojisinin gelişmesiyle EA'lar için problem olan menzil konusu da aşılabacaktır. Bu yüzden birçok büyük marka tarafından fosil yakıtlı araçlardan, elektrikli araçlara geçişin hızlandırıldığı görülmektedir. Türkiye de bu geçişte hamlesini yaparak yerli ve milli elektrikli araçlarını yakın gelecekte seri olarak üretmeyi hedeflemektedir.

Elektrik motorları, tahrik sistemlerinin en önemli elemanlarından biri olarak tanımlanabilir. Günümüze kadar elektrikli araçlarda pek çok farklı tipte tahrik motoru kullanılmıştır. Elektrikli araçlarda asenkron, senkron, DA ve anahtarlamalı relüktans tip elektrik motorları tercih edilebilmektedir. Bu motorların birbirlerine göre bakım gereksinimi, maliyet, dayanıklılık, verimlilik gibi avantajları mevcuttur. Elektrikli araçlar söz konusu olduğunda elektrik motorundan, yüksek bir kalkış performansı ve seyir halinde yüksek verimlilik beklenmektedir. Bu beklentiler doğrultusunda, elektrikli araçlar için seçilecek bir elektrik motorunda hem kalkış torku hem de nominal verim için makul olan en yüksek değerleri dengeli şekilde sağlayabilecek bir seçim gerçekleştirilmelidir.

EA teknolojilerinin sürdürülebilir olması günümüzde ulaşım tercihlerini değiştirdiği gibi gelecekte bu ulaşım sektöründe en büyük payı oluşturacaktır. Uluslararası rekabette geriye düşmemek, cari açığa katkı sağlanması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve gelecekte daha da önem kazanacak olan akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulamalarına adaptasyon amacıyla EA teknolojilerinin tercih edilmesi önem arz etmektedir.

Kaynaklar

Abdelghani, D. & Boumediene, A. (2019). Independent control of two induction motors fed by the nine- switch inverter for use in ev applications. *Journal of Engineering Science and Technology*. 14(5), 2991-3006.

Abdelkareem, M. A., Xu, L., Ali, M. K. A., Elagouz, A., Mi, J., Guo, S., ... & Zuo, L. (2018). Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review. *Applied energy*, 229, 672-699.

Ahmed, S.A., Zhou, S., Tsegay, A.S., Zhu, Y., Malik, A., Ahmad, N. & Legese, Z. (2020) Effects of CO2 ratio in Biogas on Performance, Combustion and Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine. *International Energy Journal*, 20, 15-38.

Alizon, F., Shooter, S.B. & Simpson, T. W. (2009). Henry Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization. *Design Studies*, 30(5), 588-605.

Anckaert, D., Fontaine, S., Besnoin, E., & Delu, J. (2017). Reinventing the Wheel

Innovations in the Tyre Industry. *ATZ worldwide*, 119(1), 36-41.

AVERA. (2010). Battery Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles are the keys to a sustainable mobility, European Association for Battery. Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles <http://www.avere.org/www/Images/files/about_ev/Brochure.pdf>, erişim tarihi 2. 11. 2011.

Bottery, M. (2008). Educational leadership, the depletion of oil supplies and the need for an ethic of global sustainability. *School Leadership and Management*, 28(3), 281-297.

BP <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>>, erişim tarihi 05.03.2020.

Dalcalı, A. (2018). Optimal Design of High-Performance Interior PM Motor for Electric Vehicle. *The International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 3(2) 26-35.

Damiano, A., Gatto, G., Marongiu, I., Porru, M. & Serpi, A. (2014). Real-time control strategy of energy storage systems for renewable energy sources exploitation. *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, 5(2), 567-576.

Demir, A. (2011). Güncel ve Gelecekteki Otomobil ve Otopark Trendleri. *Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.

Duleep, G., Essen, H.V., Kampman, B. & Grünig, M. (2011). Impacts of electric vehicles, Deliverable 2, Assessment of electric vehicle and battery technology. CE Delft.

Edmund <<https://www.edmunds.com/>> erişim tarihi 19.03.2020.

Ehsani, M., Gao, Y. & Emadi, A. (2009). Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design. CRC press.

Ehsani, M., Gao, Y., & Gay, S. (2003). Characterization of electric motor drives for traction applications. *Proceedings of The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Roanoke, VA, USA.

Emadi, A., Young, J. L. & Kaushik, R. (2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 55(6), 2237-2245.

EPA. (2011). New Fuel Economy and Environment Labels for a New Generation of Vehicles. Regulatory Announcement EPA-420-F-11-017. U.S. Environmental Protection Agency.

EV Database <<https://ev-database.uk/>> erişim tarihi 19.03.2020.

Feigon, Sharon, and Colin Murphy. Shared mobility and the transformation of public transit. No. Project J-11, Task 21. 2016.

Foley, A. M., Leahy, P., Mckeogh, E. & Gallachoir, B. O. (2010). Electric Vehicles And Displaced Gaseous Emissions. *Proceedings of the Vehicle Power and Propulsion Conference*, Lille, 1-3.

Fuel Economy

<<https://www.fueleconomy.gov/>> erişim tarihi 19.03.2020.

Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle Dynamics. SAE International

Gomez, J.C. & Medhat, M.M. (2008). Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(3), 975- 981.

Gondelach, S.J.G. & Faaij, A.P.C. (2012). Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. *Journal of Power Sources*, 212, 111-129.

Goodyear Eagle-360, 120 years of innovation. <<https://www.goodyear.hk/120-years-of-innovation/>> erişim tarihi 09.04.2020

Grilo, N., Sousa, D. M. & Roque, A. (2012). AC Motors for Application in a Commercial Electric Vehicle: designing aspects. *Proceedings of 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*. Tunisia.

Gustafsson, T. & Johansson, A. (2015). Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fueled by electrofuels. Master's Thesis in Sustainable Energy Systems, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Hawkins, T., Singh, B., Bettez, G.M. & Stromman, A. H. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64

Howey, D.A., Botas, R.F.M., Cussons, B. & Lytton, L. (2011). Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(6), 459-464.

IEA < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>, erişim tarihi 04.03.2020.

Jannatkah, J., Najafi, B. & Ghaebi, H. (2020). Energy and exergy analysis of combined ORC–ERC system for biodiesel-fed diesel engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 209, 112658.

Khan, S.A. & Bohnsack, R. (2020). Influencing the disruptive potential of sustainable technologies through value proposition design: The case of vehicle-to-grid technology. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120018.

Közkurt, C., Ertaş, H. A., & Yücel, S. (2017). Analysis of Graphical Approach for Cam Profile Determination. *Journal of New Results in Science*, 6(1), 32-46.

Lai, J. (2001). Electric Vehicles and Power Electronics. Universidad Technica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chili, 1-41

Larminie J. & Dicks A. (2000). Fuel Cell Systems Explained. *John Wiley&Sons Ltd*, London.

Luin, B., Petelin, S. & Mansour, F.A. (2019). Microsimulation of electric vehicle energy consumption. *Energy* 174, 24-32.

Mahmoudi, C., Flah, A. & Sbita, L. (2014). An overview of electric Vehicle concept and power management strategies. *Proceedings of the International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*, Tunisia.

Manzetti, S. & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004–1012.

Martinez, C.M., Hu, X., Cao, D., Velenis, E., Gao, B. & Wellers, M. (2017). Energy management in plug-in hybrid electric vehicles: recent progress and a connected vehicles perspective. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(6), 4534-4549.

- Matheys, J., Timmermans, J.M., Autenboer, W.V., Mierlo, J. V., Maggetto, G., Meyer, S., Groof, A.D., Hecq, W. & Bossche, P. V. D.** (2006). Comparison of the Environmental impact of 5 Electric Vehicle Battery technologies using LCA. *Proceedings of 13th International Conference on Life Cycle Engineering*, Belgium, 97-102.
- Morcós, M.M.** (2000). Battery Chargers for Electric Vehicles. *IEEE Power Engineering Review*, 20(11), 8-11.
- Moreno, J., Ortuzar, M. E. & Dixon L. W.** (2006). Energy Management System for an Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 53(2), 614-623.
- Naik, R.T., Babu, M.K.G. & Das, L. M.** (2016). Performance Studies on CNG Enriched with LPG Operated Variable Speed Spark Ignition Engine. *Asian Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 1(3), 1-6.
- Nanda, G. & Kar, N.C.** (2006). A survey and comparison of characteristics of motor drives used in electric vehicles. *Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Canada, 811-814.
- Neuron EV** <<https://www.neuronev.co/>> erişim tarihi 19.03.2020
- Nikola** <<https://nikolamotor.com>> erişim tarihi 19.03.2020
- Ocak, C.** (2013). Elektrikli araçlar için üç kademeli yeni bir fırçasız da motoru tasarımı, analizi ve uygulaması. Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özbyay, H.** (2017). Şebeke Etkileşimli Yenilenebilir Enerji Destekli Hızlı Batarya Şarj Sisteminin Gerçekleştirilmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Palacky, P., Brandstetter, P., Chlebis, P., Sladeczek, V., Simonik, P. & Slivka, D.** (2014). Control algorithms of propulsion unit with induction motors for electric vehicle. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 14(2), 69-76.
- Patel, C., Agarwal, A.K., Tiwari, N., Lee, S., Lee, C. S. & Park, S.** (2016). Combustion, noise, vibrations and spray characterization for Karanja biodiesel fuelled engine. *Applied Thermal Engineering* 106, 506-517.
- Plugincars** <<https://www.pluginCars.com/>> erişim tarihi 09.04.2020.
- Rahman, K. M., Fahimi, B., Suresh, G., Rajarathnam, A. V. & Ehsani, M.** (2000). Advantages of Switched Reluctance Motor Applications to EV and HEV: Design and Control Issues. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(1), 111-121.
- SEI.** (2007). Sustainable Energy. Hybrid electric and Battery Electric Vehicles-Technology, costs and Benefits. *Sustainable Energy Ireland*, Dublin.
- Şenol, R. Üçgöl, İ. & Acar, M.** (2006). Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makine*, 47(563), 37-50.
- Singh B. & A.Gupta, A.** (2015) Recent trends in intelligent transportation systems:A review. *Journal of Transport Literature*, 9(2), 30-34.
- Tektaş M. & Tektaş N.** (2019). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulamalarının sektörlere göre dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 32-41.
- Tektaş M., Korkmaz K. & Erdal H.** (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği Ekonomik ve Çevresel Faydaları. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi, Özel sayı*, 561-677.
- Tesla.** <<https://www.tesla.com>> erişim tarihi 19.03.2020
- Thomas, C. E.** (2009). Fuel cell and battery electric vehicles compared. *International journal of hydrogen energy*, 34(15), 6005-6020.
- Tian, H., Zhu, W., & Wang, S.** (2019). Adaptive electronic differential control of vehicle by torque balance. *Mobile Networks and Applications*, 1-7.
- TOGG,** Türkiye'nin Otomobil Girişim Gurubu <<https://www.togg.com.tr/content/otomobil>> erişim tarihi 19.03.2020
- Uçarol, H. & Kural, E.** (2009) Ulaşımında Enerji Verimliliği için Hibrid ve Elektrikli Araçlar. *Mühendis ve Makine*, 50(594), 66-71.
- Vatani, M., Mirsalim, M. & Zadeh, S. V.** (2019). A New Double-Layer Switched Reluctance Motor with a Low Torque Ripple. *Proceedings of 27th Iranian Conference on Electrical Engineering*, Iran.

Weform

<<https://www.weforum.org/agenda/2016/04/the-number-of-cars-worldwide-is-set-to-double-by-2040>>, erişim tarihi 05.03.2020.

Westbrook, M. H. (2001). The Electric Car: development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars. IET Power and Energy Series 38.

Yin, Y., Stecke, K. E. & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861.

Zhang, Y., Cao, W., McLoone, S. & Morrow, J. (2016). Design and flux-weakening control of an interior permanent magnet synchronous motor for electric vehicles. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 26(7).

Zhang, Q., Deng, J. & Fu, N. (2019). Minimum Copper Loss Direct Torque Control of Brushless DC Motor Drive in Electric and Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Access*, 7, 113264-113271.

Karayollarında kullanılan değişken mesaj sistemlerinin trafik güvenliği bakımından değerlendirilmesi

Fatih Ergezer^{1*}, Serdal Terzi¹, Ekinhan Erişkin¹, Şebnem Karahançer²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

*Correspondence: fergezer@bandirma.edu.tr

Özet: Akıllı ulaşım sistemleri, bilgi teknolojilerinin kullanılmasıyla tüm ulaşım sistemlerinin entegrasyonunu sağlayan sistemler bütünüdür. Otoyol yönetimi, arter yönetimi, acil durum yönetimi, kavşak yönetimi, toplu taşıma yönetimi, olay yönetimi gibi bileşenler başlıca Akıllı ulaşım sistemlerinin birer parçası olarak tanımlanmaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri dünya genelinde disiplinler arası özelliği ile trafiğin planlanması ve yönetimi gibi trafik mühendisliği alanlarında kullanılarak önemli bir konumda bulunmaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri içerisinde değerlendirilen yolcu bilgilendirme sistemleri, trafik güvenliği ve trafik yönetimi konularında akıllı ulaşım sistemleri kapsamında değerlendirilen önemli bir konudur. Bu çalışmada, literatürde bulunan karayolu ağlarındaki yolcu bilgilendirme sistemlerinden olan değişken mesaj sistemlerini konu alan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda değişken mesaj sistemleri ile trafik güvenliği arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında değişken mesaj sistemlerinin tanımlanması, tarihçesi, önemi hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci kısımda değişken mesaj sistemlerinin trafik güvenliği bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır. Üçüncü kısımda ise Türkiye’de değişken mesaj sistemlerine olan gereksinimler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak değişken mesaj sistemlerinin önemi ortaya konmuş, kaza potansiyeli fazla olan yol kesimlerinde ve kaza kara noktalarında uygulanması tavsiye edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, Değişken mesaj sistemleri, Trafik güvenliği, Kaza kara noktaları

Abstract: Intelligent transportation systems are systems that enable the integration of all transportation systems by using information technologies. Components such as highway management, artery management, emergency management, intersection management, public transportation management, incident management are defined as major parts of Smart transportation systems. With its interdisciplinary feature, intelligent transportation systems are used in traffic engineering fields such as planning and management of traffic. Regarding traffic safety and traffic management, passenger information systems are one of the most important elements of intelligent transportation systems. This paper investigates the relationship between variable message signs a commonly used passenger information systems, and traffic safety by examining the findings of previous studies. The definition of the variable message signs, the importance of its use and history are provided in the first section of the paper. The assessment of variable message signs with respect to traffic safety issues are given in the second section. Finally, the needs for the use of variable message signs in Turkey are discussed in the third section. The study suggests that using variable message signs at the road sections with a high risk of traffic accidents and at accident black spots, in particular, is crucial.

Key words: Intelligent transportation systems, Variable message signs, Traffic safety, Accident black spots

*Corresponding author, Tel: 0246 211 08 31

E-mail address: fergezer@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0001-8034-5743, 0000-0002-4776-824X, 0000-0002-0087-0933, 0000-0001-7734-2365

Received 28 Jan 2020, accepted 11 Apr 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), bilgi teknolojilerinin kullanılmasıyla tüm ulaşım sistemlerinin entegrasyonunu sağlayan sistemler bütünüdür. Otoyol yönetimi, arter yönetimi, acil durum yönetimi, kavşak yönetimi, toplu taşıma yönetimi, olay yönetimi gibi bileşenler başlıca AUS'nin birer parçası olarak tanımlanmaktadır. Bu bilgi ve haberleşme teknolojilerinin trafik ağlarında kullanımı ile trafiğin yönetim ve planlama işlemleri hız kazanmaktadır.

Çalışma kapsamında karayollarında sürücülere bilgilendirme yaparak sürüş güvenliğine katkı sağlayan Değişken Mesaj Sistemlerinin (DMS) öneminden bahsedilmiştir. DMS, AUS'nin önemli bileşenlerinden biridir. DMS trafik ile ilgili bilgileri sürücülere iletmek ve onlara rehberlik etmek amacıyla genellikle sürücülerin görebileceği baş üzerinde konumlandırılmıştır. DMS genellikle bir merkezden yönetilen elektronik işaret veya metindir (Chatterjee ve Mcdonald, 2004). DMS sistemleri programlanabilir trafik kontrol sistemleri olup pigtogramlar ya da yazılı sistemler aracılığıyla sürücülere bilgilendirmektedir. Bu sistemler yol üzerlerine kurulumu sağlanarak kalıcı şekilde tasarlanabileceği gibi yol kenarlarına geçici olarak da kurulabilirler. Bazen de taşınabilir olarak bir taşıt üzerinde arzu edilen bölgelerde kullanılmaktadır. Taşınabilir sistemler kalıcı sistemlere kıyasla daha küçük olup genellikle otoyollarda çalışma olduğunda kullanılmaktadır. Bu sistemler sürücülere yaklaşan olaylar karşısında gerçek zamanlı olarak bilgi sağladıkları ve tavsiye rotalar önerdikleri için oldukça önemlidir (CEDR, 2009). DMS ilk olarak 1960 yıllarında ABD'de kullanılmaya başlanmış olup daha sonra tüm dünya genelinde yaygınlaşmıştır. DMS, öncelikle şehirlerarası yollarda daha sonra da kent içi yollarda uygulanmaya başlamıştır (Mostofo ve diğ, 2016). DMS için 1977-1985 yılları arasında bilimsel ve teknolojik alanda Avrupa İşbirliği olarak adlandırılan European Cooperation in Science and Technology (COST) tarafından 12 ülkenin katıldığı bir eylem planı oluşturulmuştur. Bu eylem planında DMS de olay yönetiminin sağlanması için pigtogramların kullanımı, DMS panellerinin özellikleri gibi nitelikler ele alınarak DMS hakkında ilk kapsamlı rapor olan "Human Factors Requirements for Real-Time Motorist Information Displays" başlıklı çalışma

1978 yılında hazırlanmıştır. Hazırlanan raporda farklı trafik durumları için DMS sistemlerinin içerikleri, bu sistemlerin aktarımı için yazı tipleri, format, yükseklik, uzunluk, tekrarlanma sayıları gibi özellikler üzerinde durulmuştur. DMS ile ilgili olarak Avrupa ülkelerinde şuan yürürlükte olan EN 12966 standardı kullanılmaktadır (EN 12966, 2014). Bu standart DMS ile alakalı ihtiyaç duyulan gereksinimlere rehberlik etmektedir. Avrupa ülkelerinde yeni bir DMS kurulacağı zaman EN 12966 standardı teknik şartlarına uygun olarak kurulması gerekmektedir. Ülkemiz içinde DMS ile alakalı olarak Avrupa ülkerinde kullanılan EN 12966 standartını referans alan TS EN 12966+A1 standardı kullanılmaktadır.

DMS levhalarının kullanımı ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bazı DMS levhaları trafik akışını düzenlemek amacıyla hız limitleri hakkında bilgi verirken (Van den Hoogen ve Smulders, 1994), bazıları alternatif rotalar hakkında (Giaeveer 1996; Kraan ve diğ, 1999; Erke ve diğ, 2007; Mostofo ve diğ. , 2016), bazıları kaza durumları hakkında (Filippi ve diğ, 1989), bazıları ise hava durumu hakkında (Wu ve diğ, 2018) sürücülere bilgilendirmektedir. Dinamik olarak kontrol edilebildikleri için anlık olarak gelişen olaylar sürücülere anlık olarak iletilebilmektedir.

Yapılan çalışmalara göre DMS kurulan kesimlerde sürücü davranışlarının etkilendiği görülmüştür (Peng ve diğ, 2004). Hava durumu bilgileri ekrana yansıtıldığında sürücülerin hızlarını yaklaşık 3km/sa azalttıkları belirlenmiştir (Cooper ve Sawyer, 1993). Sürücüler, kötü hava koşullarında özellikle de kaygan yol durumlarında erken uyarı sistemlerine gereksinim duymaktadır. Rama ve Kulmana (2000) yaptıkları bir çalışmada kaygan yol koşullarında DMS levhalarının taşıt hızlarına etkisini ortaya koymuşlardır. Rama ve Kulmana (2000), DMS levhalarda kaygan yol işaretinin gösterildiği kesimlerde trafik akımının ortalama hız değerinin 1-2 km/sa azalma oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Ghosh ve diğ. (2018), DMS sistemlerini yolculara led paneller yardımıyla uyarı sağlama ve bilgi verme amacıyla kullanılan işaretler olarak tanımlamışlardır. DMS sistemleri sürücülere rota seçiminde yardımcı olarak trafik yoğunluğu daha düşük olan yollara yönlendirebilmektedir. Böylece araçlar bu yolları seçerek yol ağındaki trafiği

rahatlatmakta ve trafik kaynaklı gecikmeleri en aza indirebilmektedir. Ghosh ve diğ. (2018) çalışmalarında Singapur'daki DMS sistemlerinin etkinliğini incelemiştir. Bu amaçla Singapur'daki ekspres yoldan alınan veriler değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre DMS etkinleştirildikten sonra ekspres yollardan çıkışlara doğru %14 lük bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

DMS kullanımının sürücüler üzerinde bazı olumsuz etkileri de olabilmektedir. Bazı DMS panellerinde yazan yazı ya da işaretlerin sürücülerde anlama problemi oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu durumda sürücülerin DMS panellerini okuma çabası içerisinde girmesiyle, amacı sürücülerini bilgilendirerek olası tehlikelerin önüne geçmek olan DMS sürücüler için daha tehlikeli hale gelebilir. Bu durum sürücülerde dikkat dağınıklığına sebep olabileceği için DMS levhaları ile sürücülere istenilen bilgilerin daha anlaşılır ve daha kolay bir şekilde aktarılması gerekmektedir. DMS uyarıları sürücülerin kolayca anlayacağı şekilde sembol ve piktogramları içermeli, karmaşık yazı ve şekillerden kaçınılmalı, bu sembol ve işaretler mümkün olduğunca büyük olacak şekilde uygun sıra, konum ve tipte yerleştirilmelidir. Ayrıca DMS panellerinde gösterilecek bilgiler en fazla dört birim olmalı daha uzun olmamalıdır (Balz, 2003). Akar ve Öztürk (2017) DMS mesajlarının kavranmasına yönelik yaptıkları çalışmada anket oluşturularak sürücülerin yoğun trafik, sisli hava koşulları ve yol çalışması olması durumlarında DMS mesajlarının nasıl iletilmesi ile ilgili bilgi toplanmıştır. Elde edilen bilgilere göre piktogram kullanımı isteğinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Luoma ve Rama (2001) yaptıkları çalışmada İngiltere, Fransa, Almanya, Hollanda, Yunanistan ve Finlandiya gibi 6 Avrupa ülkesinde DMS işaretleri ile ilgili anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada sis, trafik kazası, kaygan yol gibi yol durumlarının DMS levhalarında nasıl görünmesi gerektiği ile alakalı yapılan çalışmada yaygın olarak sembol kullanımının metin kullanımına göre daha fazla tercih edildiği belirlenmiştir.

2. Değişken mesaj sistemlerinin trafik güvenliği bakımından değerlendirilmesi

Günümüzde karayollarında seyahat eden yolcuların gelişen teknoloji ile yol ağlarının durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi edinme ihtiyacı günden güne artmaktadır. Karayolu ağlarında gerçek zamanlı bilgi akışı sürücülerini yolun durumu hakkında bilgilendirdiği için trafik güvenliğine olan katkısı önemlidir. Karayolu ağlarına kurulan DMS panelleri trafik yönetim merkezleri tarafından anlık olarak kontrol edilebileceği gibi bilgisayar bağlantılı sistemler vasıtasıyla da kontrol edilebilmektedir. Bu sayede istenilen uyarı bilgileri (kaza durumu, şerit uygunluğu, hava durumu gibi), alternatif rota bilgileri yolculara yansıtılabilmektedir. Böylece karayolu ağlarında trafik güvenliği anlık olaylar karşısında istenilen şekilde koordineli olarak sağlanabilmektedir. Gerçek zamanlı bilgi akışı o yolu kullanacak sürücülere yolun durumu hakkında bilgi vereceği için yolcular bu bilgi karşısında alternatif rota seçeneklerini değerlendirebilecek ya da farklı ulaşım modlarını tercih ederek varmak istenilen noktaya daha güvenli ve optimum sürede ulaşabileceklerdir (Erke ve diğ, 2007; FHWA, 2020).

DMS levhalarının sisli hava koşullarında sürücülerini bilgilendirerek trafik güvenliğine olan katkısı ile ilgili yapılan çalışmalarda (A-Ghamdi, 2007; Wu ve diğ, 2018) gerçek zamanlı sis uyarı sistemlerinin sürücü davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sis uyarı sistemleri gerçek zamanlı sis oluşumunu sürücülere ileterek sürücülerin ani gelişen sis koşullarına hazırlıklı olmalarını sağlamakta ve bu şekilde trafik güvenliğini artırmaktadır. Çalışmalara göre sisli alanda ortalama hız değerinde azalma olduğu ve sürücülerin daha dikkatli hareket ettiği tespit edilmiştir. Esawey ve diğ. (2019) çalışmada karayollarında hava durumu bilgi sistemleri ve DMS'nin yol ağlarına kurulmasının yol güvenliği bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır. Kış mevsiminde yol yüzeyine yerleştirilmiş sensörler yol yüzey sıcaklığını ve hava sıcaklığını algılayarak eşleştirildiği DMS panellerine iletmekte ve yolu kullanan yolcular bu bilgilere anlık olarak ulaşabilmektedir. Çalışmada DMS kurulmadan önce ve sonra belirlenen yol ağı üzerinde kış mevsiminde kaza kayıtları tutularak analiz işlemleri yapılmıştır.

Analizler sonucunda DMS kurulduktan sonra kışın meydana gelen kazalarda %32,7 oranında azalma olduğu belirlenmiş ayrıca yapılan fayda-maliyet oranı analizlerinde ise fayda-maliyet oranı 4.8 olarak bulunmuştur. Bu durum DMS'nin yol ağlarına kurulmasının trafik güvenliğini artırdığını göstermektedir.

Dünya genelinde DMS kullanılarak trafik kazalarını azaltmak için bir diğer önemli kullanım yerleri trafik kazalarının sıklıkla meydana geldiği kaza kara noktaları (KKN) olan yerlere DMS kurulması çalışmalarıdır. Bir lokasyonun KKN olarak adlandırılabilmesi için yıl içerisinde aynı noktada aynı türden kazaların olması gerekmektedir (Sutandi ve diğ. , 2013). KKN'de DMS kurulumu yapılırken KKN için trafik kaza istatistiklerinden kazaların hangi türde olduğu belirlendikten sonra DMS aracılığıyla sürücülerin oluşması muhtemel kaza türlerine uygun uyarı işaret veya bilgilendirme yazılarıyla bilgilendirilmesi önem arz etmektedir. KKN için DMS kurulumu sonrasında yapılan çalışmalarda sürücülerin bu noktalarda daha dikkatli davrandığı belirlenmiştir (Benjamin, 2018). KKN' de sürücülerini önceden uyararak için DMS panellerinde sürücüler için belirli uyarılar yer almaktadır. Bu uyarılardan bazıları hız uyarıları (wang ve diğ, 2020), bazıları loop dedektör sistemleri ile koordineli çalışarak araç hızlarını ve bu hızlara bağlı olarak tehlikeli lokasyona varış süresini sürücülere anlık ileten uyarılar (McManus, 1997) şeklinde tasarlanabilmektedir. KKN'de DMS için verilebilecek uyarılar mevcut KKN için farklılıklar gösterebilmektedir. Bunun için DMS uyarılarının daha etkin, doğru ve verimli şekilde iletilmesi amacıyla bir KKN veri tabanı oluşturularak bu veri tabanı içerisinde acil durum mesajları, kaza bilgisi uyarıları, zorunlu uyarılar, hava durumu bilgileri, yol durumu bilgileri, KKN yakınlarında varsa yol çalışma alanı bilgilendirmeleri yapılması önem arz etmektedir (Gao ve diğ, 2010). Tablo 1'de KKN için DMS uyarı ve bilgilendirme mesaj türleri verilmiştir. KKN'de DMS kullanımı ile KKN alanlarında trafik kazaları oranının ortalama % 33 azaldığı belirlenmiştir (Gao ve diğ, 2010). Elde edilen bilgilere bağlı olarak DMS kullanımının trafik güvenliğine olan katkısının önemli düzeyde olduğu görülmektedir.

3. Türkiye'de değişken mesaj sistemi kullanımına olan gereksinim

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) tarafından AUS konusunda yol ağımızın teknolojik olarak donatılması için trafik yönetim merkezleri kurulması çalışmaları bulunmaktadır. Bu kapsamda Karayolları Bölge Müdürlükleri bünyesinde her birinde bir adet ve genel müdürlük bünyesinde ise tüm yönetim sistemlerinin bağlı bulunduğu ana trafik yönetim sistemi merkezi olacak şekilde toplam 18 adet trafik yönetim merkezi kurulması planlanmaktadır ve ilk uygulama Karayolları Antalya Bölge Müdürlüğü bünyesinde tamamlanmıştır. Böylece yol üzerinde kurulacak olan akıllı sistemler bu merkezlere bağlanarak tek bir noktadan tüm sistemlerin daha etkin bir şekilde izlenmesi gerçekleştirilecektir (UDHB, 2012). Ülkemizde DMS ilk olarak 1999 yılında kullanılmaya başlamıştır (Akar, 2017). Daha sonra yaygınlaşarak AUS eylem planları çerçevesinde stratejik planlarda uygulamaya konulmuştur. Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde 2012 yılında düzenlenen AUS çalıştayında ülkenin mevcut AUS durumu ve ileriye yönelik çözüm önerileri ele alınmıştır. Çalıştay sonunda hazırlanan rapora göre ülkemizde 2012 yılı itibariyle mevcut 206 adet DMS ile 45 adet hava ve yol durumu sensörü olduğu belirtilmiştir (UDHB, 2012). 2017 yılı itibariyle ülkemiz genelinde Karayolları genel müdürlüğü sorumluluğu altında toplam 410 adet DMS kurulumu gerçekleştirilerek uygulamaya konulmuştur (Akar, 2017).

Tablo 1. KKN için DMS bilgilendirme ve uyarı mesajları (Gao ve diğ. , 2010)

KKN sınıflandırması	KKN için bilgilendirme ve uyarı mesajları	
Yol geometrisi	Aliyman	-Dik yokuş, yavaşla -Kaza kara noktası, dikkat
	Kurba	-Karp bölümü, yavaşla -Karp bölümü, sollama yapma
	Aliyman ve kurba içeren yol kesimi	-Kaza alanı, yavaşla -KKN, dikkat
Kaza yapan araç sayısı	Tek araçlı kaza	-Yavaşla -Kaza alanı, hız limitine uy
	Çok araçlı kaza	-Takip mesafesi () m -Takip mesafesine uy, yakın takip etme
Hava durumu	Yağmur	-Yağmurlu hava, dikkat -Islak zemin, yavaşla -Kaygan yüzey, sert fren yapma -Yüzeyde su birikintisi, yavaşla
	Sis	-Sisli alan, yavaşla -İleride yoğun sis, hız limiti () km/sa -Düşük görüş, sis farlarını yak ve yavaşla
	Kar	-Islak ve kaygan yüzey, ani fren yapma, yavaşla
	Buz	-Buzlu yol, yavaşla -Buzlu yol, ani fren yapma, -Takip mesafesini koru
Kaza tipi	Arkadan çarpışma	-Takip mesafesini koru, -Hız limiti () km/sa, takip mesafesi () m
	Sabit nesne	-Kaza alanı, önerilere uy
	Lastik patlaması	-Aşırı sıcak hava, lastik patlaması tehlikesi -Aşırı hız ve aşırı sıcaklık lastik patlamasına yol açabilir, dikkatli ol

Dünya sağlık örgütünün 2018 yılı raporuna göre dünya genelinde trafik kazaları kaynaklı ölüm oranları gün geçtikçe artarak yılda 1.35 milyon insanın ölümüne yol açmaktadır. Bu da dünya genelinde her gün yaklaşık olarak 3700 insanın öldüğü anlamına gelmektedir. Ülkemizde ise yılda 100,000 kişi başına düşen trafik kazaları kaynaklı ölümler 12,4 olarak bulunmuştur. Tüm Avrupa ortalamasının 9 olduğu düşünüldüğünde bu oranının fazla olduğu görülmektedir (WHO, 2018). Tablo 1’de Dünya Sağlık Örgütü’nün 2018 yılında hazırladığı

rapora göre ülkemizin ve bazı Avrupa ülkelerinin yılda 100,000 kişi başına düşen trafik kaza kaynaklı ölüm değerleri verilmiştir.

Tablo 2’den görüldüğü üzere ülkemiz trafik kazalarından kaynaklı ölüm değerleri, verilen Avrupa ülkelerine kıyasla oldukça fazladır. Bu durumda ülkemiz için trafik kazalarından kaynaklanan ölüm ve yaralanma oranlarının azaltılması için trafik güvenliği önlemlerinin alınması önemlidir. DMS kullanımı ile özellikle sürücüler önceden bilgilendirileceği için meydana gelebilecek kazaların bir nebze önüne

geçilebileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda trafiğin yoğun olduğu kesimlerde ve özellikle trafik kazalarının fazla meydana geldiği KKN lokasyonlarında DMS kurularak trafiğin yönetilmesi ve bilgilendirilmesi önem arz etmektedir. Şuan Türkiye Karayollarında 2019 itibarıyla toplam 54 adet kaza kara noktası (KKN) bulunmakta iken 2020 itibarıyla 28 adet KKN için iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır (KGM, 2020). Bir noktanın kaza kara noktası olarak adlandırılması için aynı türden kazaların fazla sayıda gerçekleşmiş olması gerekmektedir. Kaza kara noktalarındaki kazaların oluş biçimleri analiz edilerek gerekli önlemlerin alınması ve noktaların tehlike potansiyeli konusunda sürücüler DMS kullanılarak olası kazaların önüne geçilmesi oldukça önemli olacaktır.

Tablo 2. Dünya Sağlık Örgütü 2018 raporuna göre trafik kaza kaynaklı ölümler (WHO, 2018)

Ülkeler	Yılda 100,000 kişi başına düşen trafik kaza kaynaklı ölümler
Türkiye	12,4
Danimarka	4,0
Almanya	4,1
İspanya	4,1
Fransa	5,5
İtalya	5,6
Belçika	5,8
Bulgaristan	8,3
Çek Cumhuriyeti	5,9
Macaristan	7,8
İzlanda	6,6

4. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada AUS'nin trafik güvenliği ve yönetiminde önemli bir parçası olan ve karayolu ağlarında kullanılarak yolcuları trafik durumu, yol durumu, hava durumu, kaza durumu gibi değişkenler hakkında dinamik bir şekilde bilgilendiren DMS kullanımının trafik güvenliğine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında DMS hakkında yapılan literatür incelemelerinden yola çıkılarak DMS kullanımının sürücü davranışlarını etkilediği, öncesi ve sonrası incelemelerinde sürücülerin

DMS kurulumu yapılmış olan yollarda daha dikkatli davrandığı, özellikle hava şartlarının olumsuz olduğu noktalarda bu uyarıları dikkate alarak ortalama hızlarında azaltma yaptıkları böylece olası kazaların önüne geçilebildiği ortaya konmuştur. Ayrıca trafik kazalarının sıklıkla görüldüğü KKN olarak adlandırılan yol kesimlerinde DMS kullanımının fayda sağladığı, o yol kesimini kullanan sürücülerin belirtilen KKN kesimlerinde kaza yapma türüne göre DMS aracılığı ile sürücüler bilgilendirildiğinde kaza oranlarının düştüğü literatür çalışmalarından görülmüştür. Bu sebeple ülkemiz nezdinde de hem KKN kesimlerinde hem de diğer yol ağlarımızda hava durumu, yol çalışma durumu, mevcut kaza durumları gibi bilgilerin sürücülerle interaktif şekilde paylaşılması yolu kullanan kişilere önemli güvenlik katkısı sağlayacağı görülmektedir. Ayrıca başlangıç noktasından varış noktasına olan rotalarında DMS bilgilendirmelerinden yararlanan yolcuların daha kısa sürede seyahatlerini tamamladıkları görülmüştür.

DMS olumlu katkılarının yanında olumsuz özelliklerde sergileyebilmektedir. Sürücülerin dikkatini dağıtacak şekilde uzun bilgilendirme metinleri içermesi metinleri okuma çabası içerisine girilmesine sebep olacağından sürücülerde dikkat dağınıklığı yaratacaktır. Bu durumda trafik güvenliğini olumsuz etkilenecektir. Bu durumların önüne geçilmesi amacıyla doğru simge, piktogram kullanımının nasıl olması gerektiği literatür çalışmalarında yansıtılmıştır.

Yapılan tüm değerlendirmeler dikkate alındığında yol ağlarında DMS kurulumunun trafik güvenliğine olan etkisinin oldukça önemli olduğu görülmektedir. Bu sebeple tüm yol ağlarında DMS kullanımının oldukça önemli olduğu, kullanımının fayda sağladığı görülmektedir. Ülkemizde trafik kaza kaynaklı ölüm oranlarının fazla olduğu düşünüldüğünde ülkemiz genelinde karayolu ağlarında kullanımının önemli olduğu görülmektedir. Ülkemizde karayolları ve belediyeler bünyesinde DMS panellerinin sayısı artırılmalı ve bu sistemlere sadece uyarı işaretleri yansıtılmayıp mevcut yollarda gerçekleşen gerçek zamanlı bilgilerin aktarımı gerçekleştirilmelidir. Ayrıca DMS panellerinde sürücülere gereksiz bilgi aktarımından kaçınılmalı sadece trafik güvenliğine katkı sağlayacak bilgi aktarımları verilmelidir. DMS

daha etkin kullanımının sağlanması amacıyla bir DMS bilgi havuzu oluşturulmalı, kaza potansiyeli olan kısımlarda dinamik şekilde oluşturulan bilgi havuzundan anlık paylaşımlar aktarılmalıdır.

Kaynaklar

Akar, T., Öztürk, E. A., (2017). Karayolu Açığında Kullanılan Değişken Mesaj İşaretlerine Yönelik Değerlendirme. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 73-85.

Al-Ghamdi, A. S., (2007). Experimental evaluation of fog warning system. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1065-1072.

Balz, W. (2003). Dynamic traffic information tables: Possibilities of use and their limits. *Transportation research board*, 47(5), 250-253.

Chatterjee, K., & Mcdonald, M. (2004). Effectiveness of using variable message signs to disseminate dynamic traffic information: Evidence from field trails in European cities. *Transport Reviews*, 24(5), 559-585.

Conference of European Directors of Roads (CEDR), (2009). VMS harmonization in Europe. CEDR report.

Cooper, B.R., Sawyer, H., (1993). Assessment of M25 automatic fog-warning system. Crowthorne: Transport Research Laboratory. (Final report, Project Report 16).

EN 12966, (2014). Road Vertical Signs-Variable Message Traffic Signs.

El Esawey, M., Walker, S., Sowers, C., Sengupta, J., (2019). Safety assessment of the integration of road weather information systems and variable message signs in British Columbia. *Transportation research record*, 2673(4), 305-313.

Erke, A., Sagberg, F., Hagman, R. (2007). Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(6), 447-457.

Filippi, F., Guerriero, G., Cecconi, C., Mantovani, G., (1989). Traffic monitoring and information technology: the case of the Perugia urban freeway. *In Second International Conference on Road Traffic Monitoring*, 108-112, IET.

Gao, J., Li, L., Shao, D., Zhang, Z., Chen, X. (2010). Technology Research on Accident Prevention on Black Spots Based on Dynamic Traffic Flow Monitoring. *In ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable*, 506-517.

Ghosh, B., Zhu, Y., Dauwels, J., (2018). Effectiveness of VMS Messages in Influencing the Motorists' Travel Behaviour. *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 837-842). IEEE.

Gjaever, T., (1996). Traffic flow and road user information on E18 in the county of Vestfold, Norway. Recording of traffic data- information about delays and alternative routes. Sintef civil and environment engineering, *Transport engineering*, Norway.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2020). Erişim tarihi: 10.02.2020. <http://yol.kgm.gov.tr/KazaKaraNoktaWeb/>

Kraan, M., Van der Zijpp, N., Tutert, B., Vonk, T., Van Megen, D. (1999). Evaluating networkwide effects of variable message signs in the Netherlands. *Transportation Research Record*, 1689(1), 60-67.

Luoma, J., Rama, P., (2001). Comprehension of pictograms for variable message signs. *Transportation research board*, Traffic engineering and control.

McManus, S., (1997). Beating blind spots: Variable message signs have a valuable part to play in preventing collisions at a notorious accident black spot in the UK. *ITS international*. Issue no. 10.

Mostafa, A. K., Said, D. G., Omar, O. O., Gadallah, A. A., (2016). TRA-941: Effectiveness of variable message signs in improving the road network through route guidance.

Peng, Z. R., Guequierre, N., Blakeman, J. C., (2004). Motorist response to arterial variable message signs. *Transportation research record*, 1899(1), 55-63.

Rama, P., Kulmala, R., (2000). Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speed and headways. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 3(2), 85-94.

Ryder, B. (2018). Improving Driver Safety through the Identification, Prediction, and Warning of Traffic Accident Hotspots (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

Sutandi, A, C., Gosalim, W., (2013). Blackspot Location and Recommendation to Reduce Number and Severity of Accidents on Purbaleunyi Toll Road. *Jurnal Transportasi*, 13(2).

U.S Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), (2020). Erişim tarihi: 03.01.2020, <https://highways.dot.gov/>

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB), (2012). Akıllı ulaşım sistemleri çalıştay bildiriler kitabı. Erişim tarihi: 04.02.2020. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-raporlari/akilli-ulasim-sistemleri-calistayi-bildiriler-kitabi.pdf>

Van den Hoogen, E., Smulders, S. (1994). Control by variable speed signs: Results of the Dutch experiment. *Seventh international conference on road traffic monitoring and control*, 26-28 April, London, UK.

Wang, X., Qu, X., Jin, S., (2020). Hotspot identification considering daily variability of traffic flow and crash record: A case study. *Journal of Transportation Safety and Security*, 12(2), 275-291.

World Health Organization (WHO), (2018). Global status report on road safety 2018. pp: 424

Wu, Y., Abdel-Aty, M., Park, J., Selby, R. M., (2018). Effects of real-time warning systems on driving under fog conditions using an empirically supported speed choice modeling framework. *Transportation research part C: emerging technologies*, 86, 97-110.

Uygun dağıtım rotası belirleme probleminde hibrit sezgisel bir yöntem önerisi: Bir kargo firması örneği

Merve Özalp¹, Selçuk Alp^{2,*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

*Correspondence: alp@yildiz.edu.tr

Özet: Lojistik, bir ürünün bir tedarik noktasından talep noktasına ulaştırılması faaliyetidir. Gezgin Satıcı Problemi, bir noktadan başlayan satıcının rotasındaki tüm noktaları tekrarsız ve en kısa yol uzunluğuyla tamamlaması problemi olarak tanımlanmaktadır. Müşteri taleplerini tam olarak cevap vermek ve maliyetleri minimize edecek şekilde araçların dağıtım rotalarının belirlenmesini amaçlayan Araç Rotalama Problemi, Gezgin Satıcı Probleminin özel bir türüdür. Bu problemler büyük boyutlu problemler olduğu için çözümünde genelde sezgisel yöntemler kullanılır. Sezgisel Yöntemler çözüm uzayını küçülterek optimal çözümü garanti etmeden iyi ve uygulanabilir çözümü bulan yöntemlerdir. Araç Rotalama Problemlerinin çözümünde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemler Araç Rotalama Problemi için kullanılabilir. Bu çalışmada iki sezgisel yöntemlerde Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Genetik Algoritma birlikte kullanılmıştır. Karınca Kolonisi Optimizasyonu, karıncaların yol bulma yeteneklerinden yola çıkarak yapay karınca kümesi kurularak oluşturulan sezgisel bir yöntemdir. Genetik Algoritma ise genetik özelliklerin nesilden nesille aktarılmasını taklit eden, doğal seleksiyonu örnek alan bir sezgisel arama algoritmasıdır. Çalışmada, kargo firmaları için uygun dağıtım rotalarının bulunması amaçlanmıştır. Bunun için Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Genetik Algoritma'nın çaprazlama operatörünü kullanan hibrit bir sezgisel yöntem önerilmiş ve bir kargo firma için 5 araç kullanılarak bir günlük uygun dağıtım rotası belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama problemi, Karınca kolonisi optimizasyonu, Genetik algoritma

A hybrid heuristic method proposal in the applicable distribution route detection problem: A case of cargo company

Abstract: Logistics is the activity of delivering a product from a supply point to a demand point. Traveling Salesman Problem is that the seller starting from a point completes all the points on his route without repetition and with the shortest path length. The Vehicle Routing Problem, which aims to determine the distribution routes of the vehicles in order to fully respond to the customer demands and minimize the costs, is a special type of the Traveller Dealer Problem. Heuristic methods are using to solve this type of problems. Different methods are used to solve vehicle routing problems. Heuristic methods can be used for Vehicle Routing Problem. In this study, two heuristic methods which Ant Colony Optimization and Genetic Algorithm were used together. Ant Colony Optimization is a well-known heuristic method that is based on the ability of ants to find ways. Genetic Algorithm is intuitive search algorithm that imitates genetic traits that can be passed down from generation to generation. In the study, it aimed to find suitable distribution route for Cargo Company. For finding route, it recommended a hybrid heuristic method that used Ant Colony Optimization and crossover operator of Genetic Algorithm and determined suitable distributing route using 5 vehicles for Cargo Company.

Key words: Vehicle routing problem, Ant colony optimization, Genetic algorithm

* Corresponding author. Tel.: +0-212-383-3195

E-mail address: alp@yildiz.edu.tr

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

Received 6 Apr 2020; accepted 21 Apr 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Lojistik, bir ürünün bir tedarik noktasından talep edildiği noktaya ulaştırılmasıdır. Taşıma maliyetleri, lojistik faaliyetlerin önemli bir kalemını oluşturmaktadır. Taşıma maliyetlerinin azaltılması konusunda birçok akademik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı Araç Rotalama Problemi (ARP) alanında olduğu gözlenmiştir (Güngör ve Ergülen, 2006).

ARP problemi, kısaca depolardan çıkan araçların belli noktalardaki müşteri taleplerinin karşılanması problemi olarak tanımlanabilir. Bu işlemi en kısa zamanda, en kısa yolla ve en az maliyetli şekilde gerçekleştirmek ARP'nin temel amacıdır. Rotalama yapılırken bütün müşterilerin taleplerinin tam karşılanması, her varış noktasının bir kere ziyaret edilmesi, rotadaki toplam talep miktarının araç kapasitelerini aşmaması, her aracın tek bir rotada faaliyet göstermesi ve toplam rotanın minimize edilmesi dikkat edilmesi gereken kriterlerdir (Çalışkan, 2011).

Değişen çevre koşulları, rekabet şartları ve müşteri beklentileri nedeniyle ARP'ye varış zamanı, servis zamanı, bekleme zamanı gibi zaman aralıkları, araçların farklı noktalarda farklı hıza sahip olmaları, farklı taşıma kapasiteleri gibi yeni kısıtlar eklenmektedir. Bu tür kısıtların eklenmesi ARP'ni daha karmaşık bir hale getirmektedir (Erel, 1995).

ARP, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Sınıflandırma işlemi genellikle araçların, müşterilerin, rotaların ve kısıtların özelliklerine göre gerçekleştirilmektedir. Taleplerin statik ve dinamik olması, rotanın açık ya da kapalı uçlu olması ve kapasite, mesafe ve zaman kısıtlarının bulunması en yaygın karşılaşılan ARP türleridir.

ARP'nde optimal çözüme ulaşabilmek için olası bütün rota kombinasyonlarının denenmesi gerekmektedir. Boyut büyüdükçe bu problemlerin çözümü zorlaşacağı için sezgisel yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Sezgisel yöntemler kolay, anlaşılır ve uyarlanabilir olduğundan ARP problemlerinde sıklıkla kullanılan çözüm yöntemleri arasındadır.

Gezgin Satıcı Problemi (GSP), bir başlangıç noktasından başlayarak hedeflenen noktaları ziyaret eden ve tekrar başlangıç noktasına ulaşarak rotayı tamamlayan bir satıcının bu rotayı en kısa sürede tamamlamasını

amaçlamaktadır. Rota tamamlanırken tur içindeki bütün noktaların bir kez ziyaret edilmesi zorunluluğu vardır. Problemlerde uğranılması gereken noktalar arası uzaklık veya zaman parametresi olarak alınabilir.

N adet noktadan oluşan problemde mümkün olan farklı tur sayısı $(N-1)!/2$ ifadesi ile hesaplanabilir. Nokta sayısı arttıkça problemin karmaşıklığı da artacağı için GSP'nin çözümünde genelde sezgisel yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerde kesin çözüm yerine bulunabilecek en iyi çözümü bulmayı hedefler (Laporte, 2010).

Problemleri çözerken bütün çözümler tek tek değerlendirilip en uygun çözüm bulunabilir. Fakat çok büyük boyutlu problemlerde bütün çözüm uzayının tek tek değerlendirilmesi çok uzun süreler alabilmektedir. Sezgisel yöntemler söz konusu çözüm uzayını küçültür, değerlendirilebilecek çözümlerin sayısını azaltarak daha kısa sürede uygulanabilir bir çözüme ulaşabilir.

Uluslararası literatürde heuristic olarak kullanılan kavram, Türkçe literatürde sezgisel şeklinde kullanılmaktadır. Keşfetmek ve bulmak anlamlarındaki bu fiil, latince heuristicus fiilinden türemiştir. Bu terim uygun çözümü bulmanın bir tekniğini ifade etmektedir.

Bir sezgisel teknik, kabul edilebilir hesaplama maliyetleriyle optimal çözümü garanti etmeksizin iyi ve uygulanabilir bir çözümü arayan bir tekniktir. Bu teknikler çoğu zaman optimal çözümü garanti etmez hatta optimal çözüme ne kadar yakın olduğunu dahi belirleyemez (Reeves, 1995).

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi sezgisel yöntemler en iyi çözüme ulaşmayı hedeflemez, mümkün olan en hızlı sürede, karar vericiler için tatmin edici bir çözüm üretmeyi hedeflemektedirler. Sezgisel yöntemlerin kullanılmasındaki temel amaç matematiksel modeli oluşturulamayan ya da oluşturulmasa bile çözümün zorluğu nedeniyle çözümü çok uzun süre alan problemlere karar vericiler için uygun çözümler sunmaktır.

Sezgisel yöntemlerin kullanımı bilinen yöntemlerle çözülmesi hem zor hem de zaman alan problemlerin çözüm uzaylarını küçülterek problemlerin çözülmesine olanak sağlamaktadır. Bütün çözüm uzayının tek tek değerlendirilmesi çok uzun süreler alacağı için

daha kabul edilebilir bir sürede değerlendirilebilecek çözümlerin seçilmesi gerekir. Bu çözümlerin nasıl seçileceği sezgisel tekniğe göre farklılıklar göstermektedir (Ayan, 1999).

Bu çalışmada, bir kargo firmasının ortalama büyüklükteki bir şubesinin herhangi bir günündeki teslim etmesi gereken kargolar ile ilgili teslim noktalarının koordinatları veri olarak kullanılmıştır. 630 adet kargo, 5 taşıma aracı ile tüm adreslere ulaştırılmakta ve araçlar şubeye dönmektedir. Bu durumda çözülmesi gereken uygun dağıtım rotası belirleme probleminin, GSP'nin özel bir türü olan ARP olduğunu göstermektedir. Çalışmanın uygulama bölümünde sonucunda Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) ve Genetik Algoritmalar (GA) yöntemlerinin birlikte kullanılması ile firma için ilgili günde en kısa toplam yol belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Literatür

ARP ile ilgili çalışmalar literatürde çeşitlilik göstermektedir. Yapılan çalışmalarda çeşitli sezgisel yöntemler tek başlarına ya da birlikte kullanılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir.

Huang vd. (2019) çalışmasında şebeke hatlı kamyon ve motosiklet için ARP'nde rota oluşturmak için toplam maliyeti minimize ederken müşteri memnuniyetini maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Depodan çıkan araçlar müşterileri ziyaret ederken her noktaya bir kez uğrayarak dağıtım yapılması sağlanmıştır. Bazı müşterilere hem motosiklet hem de kamyon dağıtım yapabilmektedir, fakat aynı noktaya aynı türden araçların dağıtım yapamayacağı kısıtı dikkate alınarak KKO ile söz konusu probleme çözüm önermişlerdir.

Li vd. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada, çok depolu ARP'de geliri artırırken maliyeti, zamanı ve emisyonu azaltmayı hedeflemektedir. Çalışmanın konusu olan emisyonu azaltmayı hedefleyen çözüm modelleri, literatürde yeşil ARP olarak tanımlanmaktadır. Modelin çözümünde her aşamada feromonun küçük miktarlarda artırıldığı geliştirilmiş KKO kullanılmıştır.

Luan vd. (2019) çalışmalarında, KKO ve GA yöntemlerini tedarikçi seçme problemine uygulamışlardır. Ürün kalitesi fiyat, sipariş kapasitesi ve inovasyon olanağı kriterleri

ağırlıklandırıp oluşturulan lineer model hibrit bir algoritma ile çözülmüştür.

Zhang vd. (2019) yaptıkları çalışmada en erken ve en geç teslim zamanları belirleyerek esnek zaman pencereli ARP için kapasite kısıtlı çok amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Problemin çözümünde KKO kullanılmış ve çözüm mutasyonla genişletilerek çözümün yerel optimumda kalmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Wang vd. (2019) yolculuk maliyetlerini minimize ederken aynı zamanda servis zamanını da minimize etmeyi hedefleyen zaman pencereli ARP problemi üzerine çalışmışlardır. Çok amaçlı problemlerde çoklu karınca sistemi kullanarak her amaç için bir karınca sistemi ile tek tek çözümü bulunup çözümlerden global en iyi çözümleri bulup her adımda feromon bilgisini güncelleyerek en iyi sonuca ulaşmayı hedeflemişlerdir.

Kaya (2018) çalışmasında toplama ve dağıtım operasyonların eş zamanlı kullanıldığı ARP'de karınca kolonisi sistemini kullanmıştır. Çözüm yöntemini noktaları değiştirerek bir çözümden diğerine sıçrama yaparak çözümü iyileştiren dağınık komşu arama algoritması ile birleştirmiştir.

Goel ve Maini (2018) çalışmalarında kapasite ve zaman kısıtlı ARP çözümünde KKO algoritması ile evrimsel tabanlı bir algoritma olan Ateşböceği Algoritmasını çözüm uzayını genişletmek için birlikte kullanmışlardır. Araçların aldığı toplam yolu minimize etmeyi amaçlamışlardır.

Yazgan ve Büyükyılmaz (2018) yaptıkları çalışmada bir süt fabrikası için eş zamanlı toplama dağıtım ARP'yi çözümlerken klasik sezgisel algoritmalarından olan en kısa yol yöntemini kullanarak maliyetleri minimize etmeyi hedeflemişlerdir.

Pala (2018) çalışmasında servis araçları için tur süresinin ve müşterinin yolda geçirdiği zamanın birlikte minimize edildiği kapasite kısıtlı ARP çözümünde KKO kullanarak tur sürelerinden tasarruf ederek günlük taşıma kapasitesini arttırmayı hedeflemiştir.

Kızıloğlu (2017) çalışmasında büyük boyutlu stokistik süreçli çok depolu Araç Rotalama Problemine sezgisel yaklaşımlar geliştirerek literatürdeki eksiklikleri gidermeyi amaçlamıştır.

Yakıcı (2017) çalışmasında denizlerdeki mayın temizliği için oluşturulan karma filonun zengin min-max ARP'nin çözülmesi üzerinde çalışma yapmıştır. Düşman mayınlarının yerlerinin bilindiği ve savaş filosunun denizde operasyona başlamadan önce kısıtlı zamanda filonun alanı temizlenmesi gerektiği problem KKO ile çözümlenmiştir.

Kuo vd. (2016) müşteri noktalarının dinamik olduğu dinamik problemler için ARP üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında servis zamanlarının da sabit olmadığını kabul etmişlerdir. Bulanık KKO kullanarak servis yapılan müşteri sayısını maksimize ederken servis zamanlarını minimize etmeyi hedeflemişlerdir.

Literatür taramasında da görüldüğü gibi ARP'nin çözümü için farklı birçok sezgisel yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada KKO ve GA sezgisel yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde önce KKO ile uygun bir dağıtım rotaları belirlenmektedir. Belirlenen bu dağıtım rotaları arasında GA'nın çaprazlama operatörü kullanılarak rotalar elde edilmektedir. Elde edilen yeni rotalar için KKO ile yeniden en uygun çözüm belirlenmektedir. Belirlenen yeni çözüm eski çözümden daha iyi ise uygun çözüm olarak kabul edilmektedir. Yöntemin adımları, üst üste 5 adım sonunda daha iyi bir çözüm bulanmayana kadar tekrar edilmektedir.

3. Yöntem

Bu çalışma ile Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Genetik Algoritma sezgisel yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem kullanılarak kargo firmaları için uygun dağıtım rotalarının bulunması amaçlanmıştır.

3.1. Araç rotalama problemi

Araç rotalama problemi (Vehicle Routing Problem) ilk olarak 1959 yılında Dantzing ve Ramser tarafından literatüre kazandırılmıştır. Daha sonra 1964 yılında Clarke ve Wright problemin çözümü için farklı sezgisel yöntemler önermişlerdir.

Temelde, Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem) ele alınarak geliştirilen ARP çok sayıda değişkene sahip olabilen NP-zor sınıfına dahil olan bir problemdir. Çok sayıda değişkene sahip olduğu için çözüme ulaşmak çok zordur. Bu yüzden amaç mümkün

olan en uygun çözüme ulaşmaktır (Toth ve Vigo, 2002).

Rotalama yapılırken bütün müşterilerin taleplerinin tam karşılanması, her varış noktasını tek bir aracın tek bir sefer ziyaret etmesi, rotanın bir noktadan başlaması ve bitiş noktasının yine aynı nokta olması, rotadaki toplam talep miktarının araç kapasitesini aşmaması, her bir aracın tek bir rotada faaliyet göstermesi ve toplam rotanın minimize edilmesi dikkat edilmesi gereken unsurlardır.

Aşağıda GSP'in tamsayı doğrusal programlama modeli verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n D_{ij} * X_{ij}$$

Kısıtlar:

$$0 \leq X_{ij} \leq 1 \quad i, j = 0, 1, \dots, n$$

ve X_{ij} tam sayı

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n X_{ij} = 1 \quad j = 0, 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=0, i \neq j}^n X_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots, n$$

$$u_i - u_j + n * X_{ij} \leq n - 1 \quad 1 \leq i \neq j \leq n$$

Parametreler:

D_{ij} : i . şehirden j . şehire olan uzaklık (mesafe),

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{çözümde } i.\text{şehirden } j.\text{şehire gidildi ise,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases}$$

n : şehir sayısı,

u : eksiksiz tam bir tur yapılması için koşulları sağlamak üzere modele eklenen yapay bir değişkendir.

3.2. Karınca kolonisi optimizasyonu

Doğadan esinlenerek oluşturulan sistemlerin kullanılması giderek karmaşıklaşan problemlerin çözümünde yetersiz kalan geleneksel yöntemlere göre problemlerin çözümüne olanak sağlamıştır. Doğadaki bazı sosyal sistemler sınırlı yetenekli basit bireyler tarafından oluşturulmalarına rağmen kolektif zekâ davranışları sergileyebildikleri görülmektedir. Probleme uyarlanan çözümler bireylerin kendi içindeki organizasyonları ve

dolaylı iletişimlerinden ortaya çıkmaktadır (Nabiye, 2013).

Doğada topluluk (koloni) halinde yaşayan, aralarında belirli bir iş paylaşımının olduğu ve karşılaştıkları problemleri yardımlaşarak birlikte çözen hayvanlar sosyal hayvanlar olarak adlandırılmaktadır.

Bir karınca kolonisinin karşılaştığı günlük problemler yemek aramak, işçilik görevlerinin dağıtılması, yuvanın yapılması ve genişletilmesi, yavruların beslenmesi, alarm verilmesi, harici olaylara tepki verilmesi ve koloninin savunulması biçiminde sayılabilir. Bu problemlerin karşılıkları pek çok mühendislik, ekonomi ve bilgisayar bilimlerinde bulunabilir.

KKO, karıncaların yol bulma kabiliyetinden yola çıkarak daha karmaşık problemlerin çözümünü amaçlayan sezgisel bir algoritmadır. KKO, gerçek karıncaların beslenme davranışından ilham alan bir yöntemdir. Karınca kolonileri, yuvaları ve yemek kaynakları arasındaki en kısa yolu bulma yeteneğine sahiptirler. Karıncalar arasında bu iletişimi sağlayan feromon adı verilen kimyasal bir maddedir. Koloninin bu karmaşık davranışı karıncaların yemek kaynağına seçtikleri herhangi bir yoldan giderken feromon bırakması, başka bir ifadeyle birbirleriyle dolaylı bir şekilde haberleşmesi ile mümkün olmaktadır. Karıncalar yiyecek ararken öncelikle kendi yuvalarına yakın yerleri rastgele bir şekilde araştırırlar. Karıncalardan biri yiyecek bulduğunda bu kaynağı kalite ve miktar açısından değerlendirir. Geri dönüş yolunda yol güzergahına feromon izleri bırakır. Bırakılan feromon miktarı besin kaynağının miktarı ve kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu feromon izleri diğer karıncaların besin kaynağına ulaşmalarına yardımcı olmaktadır. Takip eden karıncalar en güçlü feromon içeren yolu tercih etme eğiliminde olurlar. Zamanla yollardaki mevcut feromon tazelendirir ya da azalır. Kısa bir yol üzerinde karıncalar daha sık gidip geleceğinden, daha fazla feromon bırakacaklardır. Öte yandan uzun yollar üzerindeki feromon kaybolacağından koloninin diğer karıncaları tarafından da takip edilmeyecektir. Böyle bir güdülenme doğal olarak arama sürecinin kısa olan yollara doğru kaymasına neden olacaktır.

Bir karıncanın sınırlı bir kapasitesi varken bir karınca kolonisi yüksek yapılandırılmış sosyal

organizasyona sahip sistem oluşturmaktadır. Hayvanların davranışlarını inceleyen bilim insanları karınca gibi neredeyse kör hayvanların kendi kolonileri ve besin kaynakları arasında en kısa yolu belirleyip geri döndüklerini anlamışlardır. Bu sistem karıncaların koordineli davranışlarının sonucu gözlemlenmiştir (Dorigo vd., 1991).

Karıncaların bu biyolojik modelinden faydalanarak oluşturulan KKO'da yapay bir karınca kümesinin davranışlarından yola çıkarak incelenen problem için uygun çözüm arar. Kolonideki her bir karınca feromon bilgisine bağlı olarak çözümler oluşturur. Bir grup karınca çözüm oluşturduktan sonra, bu çözümler arasındaki en iyi çözüme sahip olan karıncanın takip ettiği yol üzerindeki feromon değeri artırılır, diğer yollardaki feromon bilgisi ise belirli bir oranda azaltılır. Önceden belirlenmiş bir durma koşulu sağlanana kadar işlem devam ettirilerek belirlenen uzayda en iyi çözüm bulunması amaçlanır (Cura, 2008).

KKO algoritmasının işleyişi şu şekilde özetlenebilir: Aynı hesaplama amacını taşıyan bir etkenler kümesi (karınca kolonisi) çözülecek problemin kısmi çözümlerine karşılık gelen alanlarda hareket eder. İz ve tercih edilebilirlik olarak isimlendirilebilecek iki parametreye bağlı olan stokastik yerel karar verme politikasına göre hareket ederler. Her karınca hareket ederek probleme çözüm oluşturur. Bir karınca bir çözümü tamamladığında ya da oluşum aşamasında, mevcut çözümü kıymetlendirerek, iz değerini günceller. Böylece bu feromon (iz) bilgisi karıncaların aramalarını yönlendirecektir.

KKO yaklaşımı, Dorigo vd. (1991) tarafından ortaya atılmıştır. KKO' da yapay karınca kümesi, incelenmekte olan optimizasyon problemine uygun çözüm arar. Her bir karınca feromon bilgisine bağlı kararlar verecek çözüm oluşturur. Bir grup karınca çözüm oluşturduktan sonra, içlerinde en iyi çözüme sahip olan karıncanın takip ettiği yol üzerindeki feromonun artırılması sağlanır. Diğer karıncaların yolları üzerindeki feromon belirli bir oranda azaltılır. Önceden belirlenmiş durma koşulu sağlanana kadar işlem döngüsel olarak tekrarlanır.

Literatürde birbirinden farklı KKO algoritmaları ortaya konulmuştur. Aşağıda 1991 yılında Dorigo vd. tarafından ortaya konulan orijinal KKO algoritması

açıklanmıştır. Ortaya konulan karınca sisteminde k karıncası i noktasından j noktasına hareket etme olasılığı P_{ij}^k , mümkün olmayan çözüme taşıyan tüm hareketleri engellemek için 0'a eşitlenmiştir. Bu engelleme, k 'nın i noktasından diğer noktalara tüm uygunsuz hareketlerini içinde bulunduran bir *yasak hareket listesi* tutularak gerçekleştirilmektedir. Böylece k 'nın i 'den j 'ye hareket etme olasılığı, $\alpha \in [0,1]$ ve $\beta \in [0,1]$ kullanıcının belirlediği parametreler olmak kaydıyla, aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha + \eta_{ij}^\beta}{\sum_{(il) \in \text{yasak hareketler listesi}_k} \tau_{il}^\alpha + \eta_{il}^\beta} & (ij) \notin \text{yasak hareketler listesi}_k \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Yukarıdaki denklemde kullanılan η_{ij} değişkeni, i ile j noktaları arasındaki hareketin çekiciliğini temsil etmektedir ve çözülmekte olan probleme göre hesaplanma yöntemi değişmektedir. Bir optimizasyon probleminde daha cazip hareketlerin η_{ij} değerinin daha büyük olmasını sağlayacak şekilde formülize edilmelidir. Diğer bir değişken τ_{ij} ise i noktası ile j noktası arasında feromon (iz) değerini temsil etmektedir. Bu değişken her döngü sonunda güncellenir. Buna göre t . döngü sonunda $\rho \in [0,1]$ kullanıcının belirlediği buharlaşma parametresi olmak kaydıyla, aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\tau_{ij}^t = \rho \tau_{ij}^{t-1} + \Delta \tau_{ij}$$

Tüm karıncaların i noktası ile j noktası arasına yaptığı toplam feromon katkısı $\Delta \tau_{ij}$ ile ifade edilmiştir. Daha önce ifade edildiği gibi GSP, bir şehirden yola çıkan satıcının N şehri dolaşarak başladığı noktaya geri dönmektedir. Yapacağı turda minimum mesafeyi kat etmesi istendiğinden uğrayacağı şehirlerin sıralaması önem taşımaktadır. Buna göre m karıncanın bulunduğu bir kolonide,

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{Eğer } k, (i, j) \text{ yolunu kullandıysa,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

L_k değişkeni ile k 'nın mevcut çözüm turunda yola çıktığı şehre dönene kadar kat ettiği toplam mesafe temsil edilmektedir ve Q sabit bir sayıdır.

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

Bir çözümün oluşumunda karıncalar bir sonraki uğranacak şehri stokastik bir mekanizmayla seçmektedir. Karınca k şehir i 'deyken o ana kadar kısmi bir s_p^k çözümü oluşturmuştur. Böylece bulunduğu noktadan j şehrine gitme olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha + \eta_{ij}^\beta}{\sum_{(il) \in s_p^k} \tau_{il}^\alpha + \eta_{il}^\beta} & \text{Eğer } (ij) \notin s_p^k \\ 0 & \text{değilse} \end{cases}$$

s_p^k kümesi daha önce değinilen yasak hareket listesi yerine kullanılmıştır. Doğal olarak herhangi bir satıcı GSP'ye göre her şehre yalnız bir kere uğrayabilir. Aksi halde çözüm uygunsuz (uygun olmayan çözüm) olacaktır. s_p^k kümesinde yer alan hiçbir şehre uğranmaması gerekmektedir.

3.3. Genetik algoritma

GA, uyarlanabilir genetik ve doğal seleksiyonu temel alan sezgisel arama algoritmalarının biridir. Diğer sezgisel algoritmalar gibi rastlantısal aramaya dayanmaktadır. GA, doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alan evrimsel bir algoritma türüdür. Evrim doğal seleksiyon ve adaptasyonu sağlayabilen bireylerin hayatta kalmasını ifade etmektedir. Bu durum ise güçlü nesillerin kendi yaşamlarını korurken, kötü nesillerin yok edilmesi anlamına gelmektedir. Çünkü güçlü olan bireyler daha uzun süre hayatta kalacak ve kendine benzer özelliklere sahip yeni bireyler üreteceklerdir. Yeni bireyler, anne ve babasından gelen iyi genleri bünyelerinde koruyabilecekleri gibi kötü genleri de almış olabilirler. Böyle bir durumda kötü genleri almış olan bireyler varlıklarını devam ettiremeyeceklerdir. Matematiksel modellemenin yapılamadığı ya da kesin çözümün olmadığı problemlerde, anne ve baba bireyden (ebeveyn-bir önceki nesil) doğan yeni bireylerin koşullara uyum sağlayıp yaşamlarını devam ettirmesi ilkesine dayanan GA'dan yararlanılabilir (Seyrek, 2000; Cura, 2008).

3.3.1. Genel kavramlar

GA, canlılardaki kalıtsal özelliklerin nesiller arası aktarılması, bu süreçteki doğal seleksiyon ve mutasyonun taklit edilmesiyle oluşturulan sezgisel bir algoritmadır. Popülasyon temelli bir optimizasyon yöntemidir.

GA, literatüründe bir bireyi ifade eden terime kromozom adı verilmektedir. *Gen*, bir kromozom içindeki tek bir özelliği

göstermektedir. *Uygunluk*, kromozom ya da kromozom gruplarının amaç fonksiyonundaki performansıdır. *Çaprazlama* ise seçilmiş iki ebeveynden rastlantı olarak seçilme işlemini, mutasyon ise bir çocuğun rastlantı olarak genlerinin değerlerinin değiştirilmesi, bozulmasını ifade etmektedir.

GA, kullanılan diğer önemli kavramlar ise allele, genotip ve fenotip kavramlarıdır. *Allele*, bir genin alabileceği değerlerdir. Genellikle nitel değişkenlerde kullanılmaktadır. Örneğin saç renginin gende temsil edildiği durumlarda bu genin allele'leri sarı, siyah, kıvı ve kahverengi vb. olabilecektir. *Genotip*, bir kromozomun genetik yapısıdır. Genlerin temsil ediliş biçimi genotipin belirlenmesi sürecini yansıtmaktadır. Örneğin bir gen yalnız 0 ve 1 değerleriyle temsil edilebiliyorsa kromozomun genotipi "10100101" şeklinde olabilir. *Fenotip* ise genotipin fiziksel açıklamasını ifade etmektedir. Her genotip haritasının karşılık geldiği özellikler vardır. Örneğin uzun boy ve kıvı saç fenotipken bunlara karşılık geldiği bir genotip olacaktır.

Ebeveyn seçimi uygunluk değeri yüksek olanın daha yüksek olasılıkla çocuk üretebileceği hesaba katılarak rastlantısal olarak yapılır. GA nesil sayısı kadar iterasyona tabi tutulmaktadır. Her iterasyonda çözüm kümesini oluşturan katsayılar yani genler çaprazlama ve mutasyon gibi çeşitli evrimsel işlemlere tabi tutularak uygunluk fonksiyonları hesaplanır. Bu işlemler belli bir nesil sayısına ya da istenen uygunluk değerine ulaşınca kadar devam ettirilir (Jang, 1997).

GA, yalnızca uygunluk fonksiyonuna gereksinim duymaktadır. Kromozomlar aracılığıyla bir önceki bireylerin kalıtsal olarak en iyi değerleri bir sonraki nesle aktarılır. Tüm olası çözümleri denemek zorunda olmadığı için tüm çözüm uzayını taramaz ve daha kısa sürede uygun çözüme ulaşılabilir. Bundan dolayı çok büyük boyutlu ya da çok değişkenli problemlerde kolayca uygulanabilmektedir (Seyrek, 2020).

GA, uygunluk işlevi, yeni çözümler üretmek için çaprazlama ve değiştirme gibi operatörleri kullanır. GA'nın önemli özelliklerinden biri de bir grup üzerinde çözüm araması ve bu sayede çok sayıda çözümün içinde en iyiyi seçmesidir. Uygunluk Fonksiyonu, uygunluk değerinin mevcut fenotip değerine göre hesaplandığı fonksiyondur. Eğer x ile fenotip değeri temsil

ediliyorsa $f(x)$ ile uygunluk fonksiyonu temsil edilebilir.

3.3.2. Genetik algoritma operatörleri

GA operatörleri temel olarak çaprazlama ve mutasyon operatörleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bu operatörlerin her ikisi de bir popülasyondan yeni bir popülasyon oluştururken kullanılmaktadır. Bu operatörler kullanılmadan önce operatörlerde kullanılacak bireylerin seçimi yani ebeveyn seçimi de oldukça önemli olmaktadır.

Ebeveyn Seçimi:

Genellikle uygunluk değeri daha yüksek olanın daha yüksek olasılıkla çocuk üretimi için seçilmesi işlemidir. Bazen tamamen rastlantısal olarak seçildiği de olmaktadır.

Çaprazlama:

Seçilmiş iki ebeveynden rastlantı olarak farklı genlerin çocuğa aktarılması işlemidir (Umbarkar ve Sheth, 2015). Çaprazlama operatörleri dört temel başlık altında incelenebilir.

1. *Tek-Nokta Çaprazlama:* Kromozom uzunluğundan küçük bir çaprazlama noktası belirlenir. Ebeveyn kromozomların çaprazlama noktasının sağındaki veya solundaki genleri aynen çocuk kromozoma aktarılır. Böylece *çocuk1* ve *çocuk2* biçiminde aşağıdaki gibi iki çocuk oluşur.

Ebeveyn1: 1110|10101

Ebeveyn2: 1011|01101

Çocuk1: 1110|01101

Çocuk2: 1011|10101

Yukarıdaki örnekte 4. ve 5. gen arasındaki nokta, çaprazlama noktası olarak seçilmiştir.

2. *K-Nokta Çaprazlama:* K-nokta çaprazlama, tek-nokta çaprazlama tekniğine oldukça benzer bir tekniktir. Tek fark adından da anlaşılabilir gibi birden çok çaprazlama noktası rastlantı olarak seçilmektedir. Ebeveynler çaprazlama noktalarında birleştirilerek iki çocuk oluşturulur. Aşağıda, üç çaprazlama noktası bulunan bir örnek gösterilmektedir.

Ebeveyn1: 1 1 | 1 0 | 1 0 1 | 0 1

Ebeveyn2: 1 0 | 1 1 | 0 1 1 | 0 1

Çocuk1: 1 1 | 1 1 | 1 0 1 | 0 1

Çocuk2: 1 0 | 1 0 | 0 1 1 | 0 1

Yukarıdaki örnekte 2. ve 3. gen arasındaki, 4. ve 5. gen arasındaki ve 7. ve 8. gen arasındaki

noktalar çaprazlama noktaları olarak seçilmiştir.

3. Tekdüze (Uniform) Çaprazlama: Bu teknikte bir çaprazlama noktası kullanılmaz. Onun yerine ebeveynlerden genler sırasıyla çocuğa kopyalanır. Söz konusu kopyalamada her bir gen anlık bir $X_i \in [0,1]$ ($i=1, \dots, n$) olasılığına göre ebeveynlerden birisinden gelmektedir. Genellikle her iki ebeveyne eşit olasılık verilir. Örneğin $X_i < 0.5$ ise i . gen birinci ebeveynden birinci çocuğa ikinci ebeveynden ikinci çocuğa, $X_i \geq 0.5$ ise i . gen birinci ebeveynden ikinci çocuğa ikinci ebeveynden birinci çocuğa aktarılır.

Ebeveyn1:	1	1	1	0	1	0	1	0	1
Ebeveyn2:	1	0	1	1	0	1	1	0	1
X_i	0.4	0.3	1.0	0.8	0.5	0.2	0.7	0.1	0.8
Çocuk1:	1	1	1	1	0	0	1	0	1
Çocuk2:	1	0	1	0	1	1	1	0	1

4. Sıralı Kromozomlar için Çaprazlama: Kromozom kodlanması bazı hallerde sırayı temsil eden bir kodlama biçimidir. Genler kromozomda bir sıraya sahiptir. Bir genin aldığı değer o sırada yer alması gereken nesneyi temsil edecektir. Bu duruma bir makinede yapılacak işlerin sıralaması örnek olarak verilebilir. Her bir iş bir harf ile temsil edildiğinde, “ACHGDFBE” kromozomu, söz konusu makinede ilk olarak A işinin yapılacağı, son olarak da E işinin yapılacağını temsil eder ve “sıralı kromozom” olarak adlandırılır.

Sıralı kromozomların çaprazlanması için rastlantı bir çaprazlama noktası seçilir. Birinci ebeveynden çaprazlama noktasına kadar tüm genleri aynen çocuğa aktarılır. Kalan kısım için ise sırasıyla diğer ebeveynden çocuğa henüz kopyalanmamış genler kopyalanır. Böylece aşağıdaki gibi iki çocuk oluşturulur.

Ebeveyn1:	A	C	H	G		D	F	B	E
Ebeveyn2:	F	A	D	E		G	H	C	B
Çocuk1:	A	C	H	G		F	D	E	B
Çocuk2:	F	A	D	E		C	H	G	D

Yukarıdaki örnekte 4. ve 5. gen arasındaki nokta, çaprazlama noktası olarak seçilir.

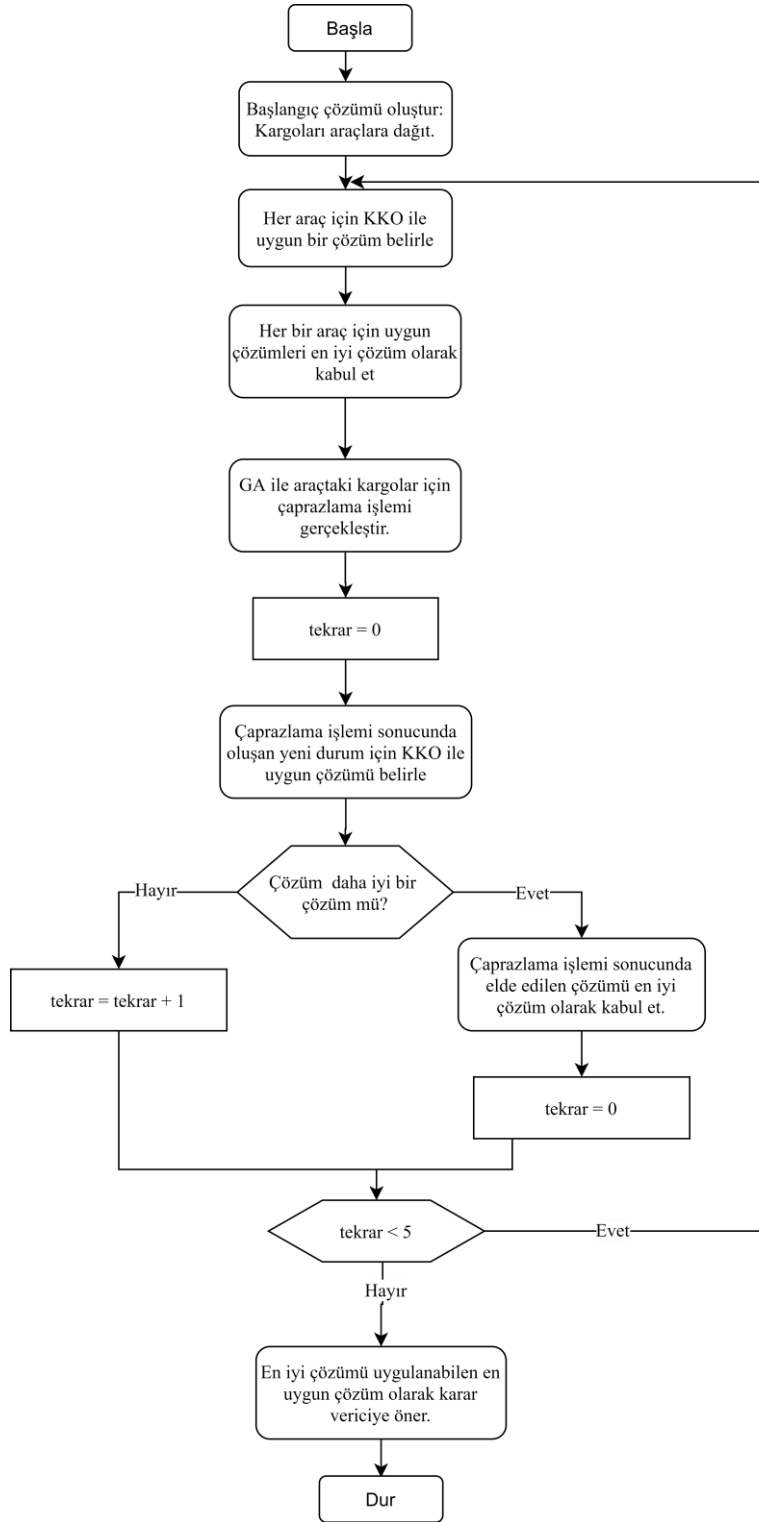
Mutasyon:

Bir çocuğun rastlantı olarak genlerinin değerlerinin değiştirilmesi, başka bir ifadeyle bozulmasıdır. Doğal mutasyon gibi her zaman olmaz, düşük bir olasılıkla (örneğin 0.05'ten daha küçük) gerçekleşir. Bu sayede yerel optimumdan kurtularak global optimuma doğru hareket etme sağlanmış olur. Zira herhangi bir çözümün rastlantı olarak bozulması suretiyle farklı bir noktaya gitmesi, ardından onun komşularını araştırması söz konusu olmaktadır. Böylece eğer bu noktanın komşusuysa global optimuma ulaşılabilir.

3.4. Önerilen Yöntemin Aşamaları

Başlangıç çözümü araçlara kargoların dağıtılması ile başlanır. Daha sonra KKO ile her araç için en uygun çözüm bulunur. Bulunan çözümler araçlar için en iyi çözüm olarak kabul edilir. Araçlarda bulunan kargolar için çaprazlama işlemi gerçekleştirilir. Çaprazlama işleminde Tek-Nokta Çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu aşamada rastgele iki araç seçilmiş ve yine rastgele belirlenen bir noktadan kesilerek ilgili araçların rotaları çaprazlanmıştır. Çaprazlanan kargolar için KKO yeniden en uygun çözüm bulunmuştur.

Yukarıdaki işlemler arka arkaya tekrarlanır. Bu tekrarlar sırasında üst üste 5 tekrarda en iyi çözümde bir gelişme olmadığı takdirde var olan en iyi çözüm, en uygun çözüm olarak kabul edilir ve problemin çözümü sonlandırılır. Önerilen yöntemin işlem adımları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yöntemin işlem adımları.

4. Uygulama

Çalışmada verileri kullanılan kargo firması, 2003 yılında kurulmuştur. Firmanın 800'den fazla şubesi ve 7'si teknolojik aktarma merkezi olmak üzere toplam 25 adet aktarma merkezi bulunmaktadır. Firma, 8000'den fazla çalışanı, 3000 kara taşıma aracı ve 6 uçağıyla hizmet

vermektedir. Türkiye'nin yanı sıra uluslararası hizmet veren firma, 220 farklı ülkede taşımacılık hizmeti vermektedir. Günde ortalama 500000 farklı adrese hizmet götürmektedir.

Firmanın İstanbul'da hizmet veren bir şubesinde 3 Eylül 2019 tarihinde teslim edilmesi gereken 605 adet kargo, şubenin 5

aracı için uygun dağıtım rotası belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygun dağıtım rotaları 5 aracın kat edeceği toplam mesafenin minimum olması olarak kabul edilmiştir. Kargonun teslim edileceği adresin koordinatları belirlenmiş ve her bir adres arasındaki uzaklık Öklid yöntemi ile hesaplanmıştır. Öklid uzaklığı iki nokta arasındaki doğrusal uzaklıktır. İki boyutlu bir düzlemde yer alan, $A = (x_1, y_1)$ ve $B = (x_2, y_2)$ noktaları arasındaki Öklid uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Çalışmada öncelikle, 5 araca eşit sayıda rastgele kargonun koordinatları atanmıştır. Atanan bu koordinatlar için Öklid uzaklıklarına bağlı

olarak Matlab programı ile yazılan bir program kullanılarak KKO ile her bir araç için uygun çözüm belirlenmiştir. Daha sonra rastgele seçilen iki araç için yine Matlab programı ile yazılan ikinci bir program ile Genetik Algoritmanın bir operatörü olan çaprazlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için tek noktalı çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Çaprazlama noktası da rastgele belirlenmiştir. Çaprazlama işlemi yapıldıktan sonra tekrar KKO ile en uygun çözüm aranmıştır.

Her iterasyonda elde edilen çözüm daha iyi bir çözüm ise o çözüm en iyi çözüm olarak kabul edilerek işlemlere o çözüm üzerinden devam edilmiştir. Gerçekleştirilen iterasyonlara ait çözüm değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İterasyonlar için çözüm değerleri (km)

	1.Araç	2.Araç	3.Araç	4.Araç	5.Araç	Toplam
1. İterasyon	74,0911	47,3524	65,2967	92,5921	46,8467	326,1790
2. İterasyon	69,7626	46,4675	60,5928	91,9210	46,6594	315,4033
3. İterasyon	69,7626	46,4675	60,5928	91,9210	45,3080	314,0519
4. İterasyon	69,7626	46,4675	60,5928	91,5888	44,5813	312,9931
5. İterasyon	69,7626	41,4613	60,5928	88,2636	44,5813	304,6615
6. İterasyon	69,7626	41,4613	60,5928	88,2636	44,5813	304,6615
7.İterasyon	69,7626	41,4613	60,5928	88,2636	44,5813	304,6615
8. İterasyon	69,7626	41,4613	60,5928	88,2636	44,5813	304,6615
9. İterasyon	69,7626	41,4613	60,5928	88,2636	44,5813	304,6615

İlk iterasyon KKO ile eşit olarak rastgele ayrılan her araç için 121 adet kargonun dağıtım modeli çözülmüştür. Araçları alacağı toplam mesafe 326,1790 kilometre olarak bulunmuştur. Daha sonraki iterasyonlarda araçlar arasında rastgele çaprazlama yapılarak daha uygun bir çözümler aranmıştır. 5. iterasyon problem uzayındaki en optimal çözümü vererek kat edilen toplam mesafe 304,6615 kilometre olarak minimize edilmiş olduğu görülmektedir. Daha sonraki 5 iterasyonda daha iyi bir çözüme ulaşılamadığı için 9. iterasyon sonunda işlemlere son verilmiştir. 9 iterasyon sonucu elde edilen çözüm olan, 1. iterasyon elde edilen en iyi çözümden %7,06 daha iyi bir çözüm olduğu görülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada bir kargo firmasının ortalama büyüklükteki bir şubesi için günlük kargo dağıtımları incelenmiştir. Şubenin 5 aracı için o güne ait 605 kargonun dağıtım rotasının belirlenerek araçlar için en kısa mesafeyi bulmayı amaçlayan bir model oluşturulmuştur. Modelde, 3 Eylül 2019 tarihindeki kargolar için her bir araca 121 adet kargo atanmış bu kargoların teslim noktalarının koordinatları arasındaki uzaklıklar kullanılarak araçların rotaları belirlenmiştir. Uzaklıklar belirlenirken Öklid uzaklık formülünden yararlanılmıştır.

Modelin çözümünde KKO ve GA olmak üzere iki sezgisel yöntem hibrit olarak kullanılmıştır. Sezgisel yöntemler çözüm uzayını küçülterek, bakılan çözüm uzayında en iyi, genel olarak iyi ve uygulanabilir çözümü bulmayı amaçlamaktadır. KKO ve GA, uygulamada ARP çözümünde yaygın olarak kullanılan evrimsel bir algoritmadır.

Bu çalışmada KKO ve yine evrimsel bir algoritma olan, genetik ve doğal seleksiyonu temel alan GA ile birlikte kullanılarak hibrit bir model oluşturulmuştur. Modelin ilk çözümünde KKO kullanılmış ve araçlardaki kargolar için dağıtım rotaları belirlenmiştir. Daha sonra GA'nın bir operatörü olan çaprazlama ile araçlardaki kargolar tek-nokta çaprazlama operatörü kullanılarak değiştirilmiş ve daha uygun çözüm bulunduğu sürece işlem devam etmiştir. Çaprazlamalar sonucunda çözülen modellerle ilk çözüme göre %7.06 oranında bir iyileşme sağlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan araç sayısı değiştirilebilir veya değişken araç sayısı kullanılabilir. Kullanılan KKO yerine, kuş sürülerinin hareketlerinde yola çıkarak oluşturulan Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması ya da farklı sezgisel yöntemler kullanılabilir. GA'da kullanılan çaprazlama operatörü yerine ya da birlikte mutasyon operatörleri kullanılarak yeni çözüm yöntemleri denenebilir. Noktalar arasındaki uzaklıklar belirlenirken iki nokta arasındaki doğrusal uzaklık değil, daha önce ölçülmüş zaman ya da yol uzaklığı kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Sistem Mühendisliği programında yapılmakta olan "Uygun Dağıtım Rotası Belirlenmesi Probleminde Hibrit Sezgisel Bir Yöntemin Uygulanması" isimli lisansüstü tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

Kaynakça

- Ayan, T.Y.** (1999). *Sezgisel Araştırmanın Araç Rotalama Problemlerinde Kullanılması ve Sezgisel Metod Denemesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Clarke, G., ve Wright, J. W.** (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581.
- Cura, T.** (2008). *Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Çalışkan, K.** (2011). *Karınca kolonisi optimizasyonu ile araç rotalama probleminin maliyetlerinin kümeleme tekniği ile iyileştirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans

Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Dantzig, G. B. ve Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.

Dorigo, M., Maniezzo, V. ve Coloni, A. (1991). *Positive feedback as a search strategy*. Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano (pp. 91-016). Italy, Tech. Rep. 91-016.

Erel, R. (1995). *Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi: Otobüsle Kentler arası Yolcu Taşımacılığı için Bir Model*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Goel, R. ve Maini, R. (2018). A hybrid of ant colony and firefly algorithms (HAFA) for solving vehicle routing problems. *Journal of Computational Science*, 25, 28-37. doi:10.1016/j.jocs.2017.12.012

Güngör, İ., ve Ergülen, A. (2006). Bulanık Araç Rotalama Problemlerine Bir Model Önerisi ve Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 53-60.

Huang, Y. H., Blazquez, C. A., Huang, S. H., Paredes-Belmar, G., ve Latorre-Núñez, 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

Kaya, K. (2017). *Hetorejen Araç Filolu parçalı Teslimatlı Açık veya Kapalı Uçlu Rotalar İçerebilen Araç Rotalama Problemi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kızıoğlu, K. (2017). *Stokastik talepli çok depolu araç rotalama problemi için sezgisel bir çözüm yaklaşımı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Laporte, G. (2010). The Traveling Salesman Problem, the Vehicle Routing Problem, and Their Impact on Combinatorial Optimization. *International Journal of Strategic Decision Sciences (IJSDS)*, 1(2), 82-92. doi: 10.4018/jds.2010040104

Li, Y., Soleimani, H., ve 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

Luan, J., Yao Z., Zhao F. ve Song X. (2019). A novel method to solve supplier selection problem: Hybrid algorithm of genetic algorithm and ant colony optimization. *Mathematics and Computers in Simulation*, 156, 294-309. doi:10.1016/j.matcom.2018.08.011

Nabiyev, V. V. (2013). *Yapay Zekâ: Problemler, Yöntemler, Algoritma*, Genişletilmiş ve Güncelleştirilmiş 5. Baskı, Seçkin Yayınevi, Ankara.

Reeves, C.R. (1995), *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, McGraw-Hill, London.

Toth, P. ve Vigo D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.

Umbarkar, A. J. ve Sheth, P. D. (2015). Crossover operators in genetic algorithms: a review. *ICTACT journal on soft computing*, 6(1). doi: 10.21917/ijsc.2015.0150

Wang, Y., Wang L., Peng, Z., Chen, G., Cai, Z.ve 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

Yakıcı, E. (2017). A heuristic approach for solving a rich min-max vehicle routing problem with mixed fleet and mixed demand, *Computers and Industrial Engineering*, 109, 288-294. Doi:10.1016/j.cie.2017.05.001

Yazgan, H. R., ve Büyükyılmaz, R. G. (2018). *Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemine sezgisel bir çözüm yaklaşımı*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 436-449

Zhang H., Zhang Q., Ma L., Zhang Z. ve Liu Y. (2019). A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows. *Information Sciences*, 490, 166-190. doi:10.1016/j.ins.2019.03.070

22@Barcelona projesi analizi; Bandırma ölçeğinde uygulanabilirliği

Kübra Kocakaya¹, Taylan Engin²

¹Intelligent Transportation Systems, Institute of Science, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

²Intelligent Transportation Systems, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

* Correspondence: kubra.kocakaya@gmail.com

Özet: 21. yüzyıl ile kentleri geleneksel kent kavramından alıp yeni kavramlara iten güçlerin başında teknolojik gelişmeler gelmektedir. Bu yüzyılın insan hayatının vazgeçilmezi haline getirdiği ‘akıllı’ kavramı kentler için de geçerli olmuştur. Akıllı şehir kavramı ile şehirlerde kamu hizmetlerinin yerine getirilirken kent halkının yaşam kalitesinin ve hareketliliğinin en üst düzeye çıkarılması zorunlu hale gelmiştir. Akıllı şehir kavramı birkaç konu ile sınırlı kalmayıp, çevre, sağlık, enerji, ulaşım, konut hizmetleri ve altyapı gibi daha birçok konuyu kapsayan; bu hizmetleri sunarken teknolojiye dayalı olanakların en üst düzeyde kullanıldığı şehir, şeklinde tanımlanmaya başlanmıştır. Kavram uluslararası bağlamda ele alındığında, adını akıllı şehir uygulamalarında sık görebileceğimiz İspanya’nın Barcelona şehri dikkat çekicidir. Bu açıdan Barcelona’da uygulanan ve bir akıllı şehir projesi olan 22@Barcelona projesinin kapsamının incelenmesi araştırma konusu olmuştur. Araştırmanın amacı; 22@Barcelona projesinin analizi ve Bandırma ölçeğinde uygulanabilirliğinin test edilmesidir.

Anahtar kelimeler: Akıllı şehir, Ulaşım, Barcelona

22 @ Barcelona project analysis; applicability in Bandırma scale

Abstract: Technological developments are one of the forces that took the cities from the traditional city concept to new concept with the 21st century. The ‘intelligent’ concept that this century has made indispensable for human life has been valid for cities. With the concept of smart city, it has become obligatory to maximize the quality of life and mobility of the city population while performing public services in cities. The concept of smart city is not limited to a few subjects, but covers many other topics such as environment, health, energy, transportation, housing services and infrastructure; while providing these services, the city, where the technology-based facilities are used at the highest level, has started to be defined. Considering the concept in an international context, the city of Barcelona in Spain, which we can see often in smart city applications, is remarkable. In this respect, the study of the scope of the 22 @ Barcelona project, which was implemented in Barcelona and which is a smart city project, has been the subject of research. Purpose of the research; Analysis of the 22@ arcelona project and its applicability in Bandırma scale

Key words: Smart cities, Transportation, Barcelona

* Corresponding author.

E-mail address: kubra.kocakaya@gmail.com

Received 9 Apr 2020; accepted 22 Apr 2020

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

İnsanların yerleşik hayata geçmesiyle başlayan kentleşme süreci, o dönemden günümüze özellikle 20. yüzyılın sonu ile 21. yüzyılda dikkatle üzerinde durulması, planlanması gereken bir hal almıştır. Günümüzde 7 milyar kadar olan dünya nüfusunun 2020 yılında 7,8 ve 2050 yılında 9,7 milyar kadar olması öngörülmektedir. Bu artışa ise daha çok gelişmiş ülkelere kıyasla gelişmekte olan ülkelerin yol açacağı tahmin edilmektedir. Söz konusu nüfus artışının etkisiyle artan kent nüfusu 3 milyarı geçerek ve toplam nüfusta %47'ye orana kadar yükselmektedir. Bu rakam, Türkiye'de %65'ler civarında iken Batı Avrupa ülkelerinde %80'lere kadar yükselmektedir (Ateş ve Önder, 2019). Yıllan yıla artan bu doluluk oranı kentler açısından birçok sorunu da beraberinde getirmiştir.

Kent yaşamının küresel ölçekli sorunları arasında sayılabilecek konuların başında ulaşım, yönetim, su, atık, kirlilik, arazi kullanımı gibi temel konular gelmektedir. Kentsel faaliyetlerin çevreye ve özellikle de insan sağlığına olan olumsuz etkileri kentleşme sürecinin yeniden düşünülmesini kaçınılmaz hale getirmiştir.

Söz konusu sorunların çözümüne, gelişen bilgi ve iletişim teknolojileri ile çözümler önerilmeye 1980'li yıllarda Batı toplumlarında başlanılmıştır. Batı toplumları kent hayatının refahı adına farklı bir kent yerleşim düzeninin planlamasını başlatarak; organizasyon üretim basamakları, tüketim modelleri, gelir dağılımı, kent içi politikalar ve enstitüler ve bunların bir sonucu olarak kentsel sosyal ve ekonomik sistemler adına bir dönüm noktası oluşturmayı başarmışlardır. “Kentlerde bilgi yönetimi, bilginin transferi ve teknolojinin kullanımını geliştirmek için sanal gerçeklik uygulamaları, web siteleri ve IT web sayfaları, telekomünikasyon uygulamaları, belediye yönetimi ile yüksek hızla iletişim sağlayan eğitim ve araştırma organizasyonlarını birbirine bağlayan metropolitan bölge ağları, şehirler için fiber optik kabloları ve yönetim uygulamaları (otomasyon bütçeleme, otomasyon kayıt sistemi, e-ileti uygulamaları, multimedya reklamlar, çevresel bilgi otomasyonu, personel yönetimi, sosyal güvenlik sistemleri, arama motorları, tematik veri tabanı, rehber ve listeleme bilgileri, tarihsel şehir alanları için sayısal sunumlar, heykel ve kültürel miras

alanlarının sunumları, internet tabanlı şehrsel adreslerin sayısal listeleri vb.) projeler geliştirilmeye başlanmıştır.” (Çelikyay, 2008).

Meydana gelen yenilikler ile geleneksel kent yaklaşımını ortadan kalkarak literatür yeni kavramlar kazandırmaya başlamıştır. Bu bağlamda ilk olarak şehirler, “sanal şehirler” olarak isimlendirilerek yeni bir anlam kazanmıştır. (Droege, 1997; Çelikyay, 2008) Daha sonra “Sürdürülebilir Kentler (Sustainable Cities), Ekolojik Kentler (Ecological Cities, Green Cities), Akıllı Büyüme (Smart Growth), Yavaş Kentler (Slow Cities), Düşük Karbon Kentler (Low Carbon Cities), Yaşanabilir Kentler (Liveable Cities), Dijital Kentler (Digital Cities) ve Akıllı Kent Girişimleri (Smart Cities Initiatives) gibi farklı isimler ile problemlere çözüm amacıyla kent içi planlamada çeşitli öneriler oluşturulmuştur (Sınmaz, 2013).

Mevcut anlamıyla akıllı kent kavramına literatürde pek çok yaklaşım bulunsa da bir anlama ve tanıma indirgenememektedir. Bu anlamda bir ifadeye göre akıllı şehir; kentsel yaşam kalitesi ve refahının yükseltilmesi için dijital teknolojilerin ve verilerin yüksek oranda kullanımı ile kent yönetimine dair önemli yapıları yönetime entegre edilmesidir (Pehlivan, 2017; Köseoğlu ve Demirci, 2018).

“Birleşmiş Şehirler ve Yerel Yönetimler Kurulu’na göre ise yeni bir şehir modeli olarak “akıllı kentler”, kentlerde bilgi ve iletişim teknolojilerinin en üst düzeyde kullanılarak daha yaşanabilir, fonksiyonel, rekabetçi, yenilikçi ve bilgiyi yönetebilir şehirleri ifade etmektedir.” (UCLG, 2012; Erkek, 2017). Görüldüğü üzere akıllı kent kavramı açıklanırken akıllı bir kent için olması gereken başlıklar sıralanmaktadır. Öyleyse akıllı bir kentin öğeleri Tablo 1 ile şu şekilde tanımlanabilir:

Tablo 1. Akıllı kent bileşenleri ve özellikleri (Erkek, 2017)

Akıllı Ekonomi (Rekabetçilik)	<ul style="list-style-type: none"> • Yaratıcı ruh • Girişimcilik • Ekonomik imaj ve markalar • Esnek işgücü piyasası • Verimlilik • Dönüşüm yeteneği
Akıllı İnsan (Sosyal Sermaye ve İnsan Sermayesi)	<ul style="list-style-type: none"> • Yaşam boyu öğrenme • Sosyal ve etnik çoğunluk • Esneklik • Yaratıcılık • Açık görüşlülük • Kamu yaşamına katılım
Akıllı Yönetişim (Katılım)	<ul style="list-style-type: none"> • Karar vermede katılım • Kamu ve sosyal hizmetler • Şeffaf bir yönetim • Politik strateji ve perspektif
Akıllı Mobilite (Taşıma ve Bilgi İletişim Teknolojileri)	<ul style="list-style-type: none"> • Yerel ulaşılabilirlik • Ulusal-uluslararası ulaşılabilirlik • Bilgi iletişim teknoloji altyapısının kullanılabilirliği • Sürdürülebilir inovatif ve güvenli taşıma sistemleri
Akıllı Çevre (Doğal Kaynaklar)	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal şartların çekiciliği • Kirlilik • Çevresel koruma • Sürdürülebilir kaynak yönetimi
Akıllı Yaşam (Yaşam Kalitesi)	<ul style="list-style-type: none"> • Kültürel tesisler • Eğitim tesisleri • Sağlık şartları • Bireysel güvenlik • Bina niteliği • Turistik çekicilik • Sosyal yapılaşma

1.1. Dünya’da ve Türkiye’de akıllı kent örnekleri

Akıllı kent kavramının çerçevesinin teorik anlamda çizilmesi ile bu kaçınılmaz evrilmenin farkında olan pek çok ülke, şehirlerinde başarılı bir şekilde uygulamalar hayata geçirmektedir. Londra merkezli bir bilgi sağlayıcısı olan IHS şirketinin akıllı kent tanımı doğrultusunda 2013 yılında 21 olan akıllı kent sayısının 2025'e kadar 88'e yükselmesi beklenmektedir (Markit, 2014).

Dünya örneklerinde uygulamalara öncülük eden, sahip oldukları bilgi ve teknolojileri

konunun paydaşları ve diğer uygulayıcıları ile paylaşan çok sayıda şehir vardır. İlk örnek ise Avrupa'nın en büyük finans merkezlerinden birisi Kopenhag olup 1970'li yıllardan beri bisikleti en kilit ulaşım aracı olarak seçen ve bu doğrultuda kentsel planlama yapan bu şehir 2014 yılında “Avrupa Yeşil Başkenti” ve “Dünya Akıllı Kent Ödülü”; farklı yıllarda birden fazla kez olmak üzere ise “Dünyanın en Bisiklet Dostu Kenti” ve “Dünyanın en Yaşanabilir Şehri” ödülleri kazanmıştır (Cycling Embassy of Denmark, 2017). Yine Japonya'nın en kalabalık şehirlerinden olan Tokyo, İsviçre’de Zürih, İsveç’te Stockholm

şehirleri akıllı trafik, sürdürülebilir enerji, yeşil alan ve vatandaşlar için sunulan açık veri uygulamaları ile akıllı kentlere örnek verilebilir.

Akıllı kent uygulamalarından sağlanan hizmet kalitesi, kaynak tasarrufu ve verimliliğe ilişkin örnekler bakıldığında, Los Angeles'ta akıllı ulaşım sistemleri ile duraklamalarda %35, kavşaklardaki beklemeelerde %20, seyahat süresinde %13 azalma ve bunlara bağlı olarak yakıt tüketiminde %12,5 oranında düşüş sağlandığı görülmektedir. Akıllı sokak aydınlatması sistemiyle Oslo'daki elektrik tüketimi tasarruf oranı %70 olarak hesaplanmıştır (Deloitte, 2016). Farklı bir örnek olarak tüm tedarik döngüsünü (kayıt, teklif bildirim, ihale, sözleşmeler, denetim dahil) dijital ortama taşıyan Güney Kore'de 2010 yılında 40 milyar dolar civarında tasarruf gerçekleştirilmiştir. Endonezya, merkezi ve yerel yönetimlerdeki satın alma süreçlerinde e-tedarik uygulamalarını kullanmak suretiyle kırtasiye, ulaşım, konaklama vb. işlemlerde 2008-2013 yılları arasında 26 milyar dolar maliyet tasarrufu elde etmiştir (Collin v.diğ., 2016; Köseoğlu ve Demirci, 2018). Bununla birlikte Masdar (Birleşik Arap Emirlikleri), Lusail (Katar) ve Lavasa (Hindistan) gibi kentler ise sıfırdan akıllı olarak inşa edilen kentlere birer örnektir (Gürsoy, 2019).

Ülkemiz açısından cumhuriyetin ilk kurulduğu dönemlerden son yıllara kadar kentlerin dijital yönetimi konusunda bir tanım ve çalışma görülmesi de son yıllarda gündeme gelen akıllı kentler kavramı, ülkemiz için de önemli bir konu olarak yerini almıştır. Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi kapsamında “Öncelikli Teknolojik Faaliyet Konuları” başlığı altında “Sınai Üretimde Rekabet Üstünlüğünün Sağlanması” hedefi doğrultusunda insansız sistemler ve akıllı makineler (sanayi robotları, mikro makineler ve elektromeka sistemler) üretilmesi; “Yaşam Kalitesinin Yükseltilmesi” hedefi doğrultusunda uzaktan sağlık hizmetleri verilebilmesine imkân sağlayacak uzaktan hasta izleme sistemlerinin geliştirilmesi; “Çağdaş ve Güvenli Ulaştırma Sistemlerine” sahip olmak için akıllı araçlar ve akıllı yol sistemleri geliştirilmesi amaçlanmıştır (Gürsoy, 2019).

İstanbul her konuda olduğu gibi akıllı kent çalışmalarında da ülkemiz bazında ilk sırada yer almaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), Bilgi İşlem Daire Başkanlığı; “Akıllı

Şehir Müdürlüğü”, “Bilgi İşlem Müdürlüğü”, “Coğrafi Bilgi Sistemi Müdürlüğü” ve “Elektronik Sistemler Müdürlüğü” olmak üzere dört müdürlükten meydana gelmektedir. Örneğin, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, “Big Smart İstanbul” sloganı ile “Akıllı Şehir İstanbul” projesini başlatmış ve bu kapsamda İBB CepTrafik, İBB Yol Gösteren, Beyazmasa ve iTaksi gibi pek çok mobil uygulama aracılığıyla vatandaşların bilgilendirilmesi, kentsel yaşamın kolaylaştırılması ve yaşam kalitesinin artırılması için hizmet vermektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), Akıllı Şehir Müdürlüğü tarafından yürütülen akıllı kent çalışmaları yine belediyeye bağlı olarak hizmet veren iştirak şirketlerinden İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş. (İSBAK) ve İstanbul Elektronik Haberleşme ve Altyapı Hizmetleri San. ve Tic. A.Ş. (İSTTELKOM) tarafından desteklenmektedir. Akıllı Şehir Müdürlüğü önderliğinde yürütülen “Akıllı Şehir İstanbul” projesinde enerji, su, ulaşım, çevre, ekonomi, güvenlik, iletişim, turizm ve yönetim alanlarında çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Büyükşehir belediyeleri, mobil uygulamalar aracılığıyla sundukları hizmetleri aynı zamanda web sayfalarında yer alan online işlemler ya da e-belediyecilik sekmeleri başlıkları altında da sunmaktadır. İSBAK tarafından yürütülen Ar-Ge faaliyetleri kapsamında sürdürülebilir ve akıllı çözümler üretilmesine yönelik çalışmalar yürütmektedir. Örneğin, belediyenin Atık Yönetimi Müdürlüğü ve İSBAK ortaklığında yürütülen çalışma ile atık niteliğindeki pet şişeler ile İstanbulkart'a para yüklemesi yapılmasına yönelik olarak bir akıllı konteyner projelendirilmiştir (Habertürk, 2018b). Akıllı kent araçlarına ilişkin olarak donanım ve yazılım alanlarında var olan teknolojinin ve tecrübenin diğer kentlerle paylaşılabilmesi amacıyla İSBAK ile Sudan'ın başkenti Hartum arasında “Akıllı Ulaşım Sistemi Pilot Projesi” anlaşması imzalanmıştır. Temmuz 2018'de imzalanan 1,1 milyon avro mali değeri olan anlaşma ile İSBAK tarafından Hartum'da trafiğin rahatlatılması amacıyla akıllı ulaşım sistemlerinin kurulması planlanmaktadır (Habertürk, 2018c; Gürsoy, 2019).

“Ankara Katı Atık Projesi” ile Mamak Çöplüğü bir Endüstri Parkına dönüştürülmüş ve burada biriken metan gazının bertarafı için kurulan santral aracılığıyla 44,4 megawat/saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Ayrıca dönüşüm

sırasında ortaya çıkan karbondioksitin yok edilmesi için tesiste domates, çilek ve yosun seraları kurulmuştur (Ankara Büyükşehir Belediyesi, 2016). 2011 yılında Ankara Elektrik, Havagazı ve Otobüs İşletme Müessesesi (EGO) bünyesinde başlatılan çalışma ile 1.340 adet doğalgazlı otobüsten oluşan bir filo kurulmuş ve bu filo 2013 yılında Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliğinin organizasyonunda 43 ülkeden 155 proje arasından “Avrupa'nın En Çevreci Otobüs Filosu Ödülü”nü almaya hak kazanmıştır (EGO, 2018). Antalya Büyükşehir Belediyesi 2017 yılında, 28 proje ortağının yer aldığı konsorsiyumun bir parçası olan Antalya Büyükşehir Belediyesi, UFUK 2020 Hibe Programı kapsamında uygulanacak MATchUP isimli pilot kentsel dönüşüm çalışmaları için İspanya'dan Valencia ve Almanya'dan Dresden ile birlikte uygulamacı şehir olarak seçilmiştir (Antalya Büyükşehir Belediyesi, 2018; Gürsoy, 2019). Bu şehirlere ek olarak Bursa Kocaeli, Sakarya, Kayseri, Konya gibi belediyeler de akıllı kent uygulamalarında Türkiye ortalamasını yükseltmektedir.

Bu çalışmada ise İspanya'nın en kalabalık ikinci şehri olan, Katalan Özerk Bölgesinin başkenti Barcelona'nın akıllı şehir uygulamaları incelenmiştir. Barcelona yönetimi kenti akıllandırmanın ilk basamağını ulaşım sistemlerinde yapılacak değişimler olarak belirlemiştir. Bu bağlamdan şehirde uygulanan ve akıllı kent projesi olan '22@Barcelona' projesinin kapsamı, içeriği amaç ve hedefleri incelenip benzer projenin Balıkesir'in bir ilçesi olan Bandırma'da uygulanabilirliği Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile test edilmiştir.

2. Geleneksel Yolcu Taşımacılığı

Kentleşmenin temellerinin atıldığı antik çağlardan bugüne ulaşım, kentte yaşamı ve oluşum düzenini belirleyen bir etken olagelmektedir. Söz konusu antik dönemlerde inşa edilen ilk kentlerde ulaşımın yalnızca yaya veya hayvanlar kullanılarak gerçekleştirilebilmesinin etkisiyle kentler yakın/yürüme mesafesinde inşa edilmekteydi. Ancak sanayi devriminin yol açtığı hızlı teknolojik gelişmeler eski dönem kentlerinin fiziki özelliklerinde köklü değişiklikleri de beraberinde getirmiştir. Daha önceki dönemlerde üretim kolları insanların yaşam merkezleri ile yakın iken devrim sonrası farklı

ulaşım türleri ile uzak noktalara taşınmıştır. Kent dışına bu hareket ilk kez demiryolu ile sonrasında tramvay ve daha sonra omnibüs olarak adlandırılan ilk atlı otobüslerle gerçekleştirilmiştir. Bu dönemlerde toplu ulaşımın temelleri niteliğindeki bu hareketlilik kentlerin demiryolu ya da sınırlı sayıdaki karayolu ağlarının çok hızlı bir biçimde şekillenmesine yol açan bir gelişmeye hizmet etmiştir.

Otomobilin kullanımının artışı ile, toplu ulaşımın gerçekleştirildiği yol ağları üzerinde toplu ulaşımdan bağımsızca bir yapılaşmanın temelini oluşturmuştur. İş olanaklarının kent merkezinde toplanması banliyöler ile kent merkezi arasında çarpık bir yerleşime neden olmuş ve kentlerin sağladığı rahat yaşam imkanlarını da zorlaştırmıştır. Kent çevresinde oluşan bu nüfusun hızlı artışıyla merkezde kalan iş yerlerine yapılan yolculuğun süresi artmış ve inşa edilen karayolları bu konuda yetersiz kalarak ulaşım süresinin sağladığı sıkışıklık aksi şekilde zorlaştırmıştır.

Otomobil kazalarında yaşanan can ve mal kayıpları, hava kirliliği, gürültü, fosil yakıt tüketimi, araçlarda kullanılan enerjilerde dışa bağımlı hale gelme, trafik sıkışıklığı nedeniyle trafikte geçen sürenin artışı, kent içi yeşil alanların yol yapımları nedeniyle asfalta dönüştürülmesi, kentsel alanlarda yaşanan parklanma problemi gibi pek çok sorun bireylerin toplu ulaşımdan daha çok otomobili tercihi ile kent hayatına girmiştir. Tüm bu sorunlar, yaşanan petrol krizleri nedeniyle hemen her ülkenin çözüm aradığı ortak problemler haline dönüşmüştür (Öncü ve Yıldız).

3. Yolcu Taşımacılığında Yeni Yaklaşımlar

Otomobilin kullanımının neden olduğu sorunlara çözüm getirmek amacıyla pek çok alanda teknolojik ilerlemeler sağlanmıştır. Bu gelişmelerin ulaşım adına çözüm sağlayacak şekilde birleştirilmesi ile aşağıda örnekleri verilen farklı bir döneme geçilmesi sağlanmıştır.

Fosil Yakıtların Azaltılması: Hava kirliliğine sebep olan bu yakıtların kullanımının azaltılma girişimleri uluslararası anlaşmalarında bir gerekliliği olmasının yanında insan sağlığına verdiği zarar nedeniyle bir mecburiyet halini almıştır. Bu yakıtların kullanılmaması adına

hem otomobiller hem de toplu ulaşım taşıtları için elektriğin kullanımı öngörülmüştür.

İlk aşamada güvenli bir adım olarak hibrid (iki cins yakıtlı) sistemli elektrikli araçların pazarda yerini almasıyla gerçekleşen otoparklarda şarj noktalarının artışı ve bazı ülkelerde inşa edilen konutlara şarj istasyonlarının koyulma zorunluluğu, hükümetlerin elektrikli araçlar için daha avantajlı vergiler getirmesi gibi gelişmeler ve destekler sayesinde elektrikli araçların kullanımı yaygınlaşmıştır. Toplu ulaşımında raylı sistem araçları ve otobüs gibi lastik tekerlekli araçlarda elektrik enerjisinin kullanılması bu gelişmeye katkı sağlamıştır. Elektrik enerjisini kullanan akülü otobüslerin durak ve istasyonlarda kısa sürede şarj edilmesi ve uzun süreli kullanım avantajları ile yurt içi ve dışında pek çok noktada kullanımı artmıştır.

Sürüş Güvenliği için Teknolojiler: Yapılan araştırmalar, otomobilin yaygınlaşması ile birlikte karayolu ulaşımının en büyük korkularından birisi haline gelen kazaların çoğunda insan hatasının payının büyük olduğunu ortaya koymaktadır. Ülkemizde 2015 yılındaki ölümlü ve yaralanmalı kazaların %98,5, ABD'deki kazaların 94% (± 2.2) oranında gerçekleşen kazalardaki insan hatasının en aza indirilmesi için araç içi güvenliği artırıcı sistemler geliştirilmiştir. Teknolojinin hızlı gelişimi ile artırılmış güvenlik sağlayan hız sabitleme (Cruise Control), çarpma ikazı (Forward Collision Warning), şerit ikazı (Lane Departure Warning), şerit düzeltme (Lane Correction), geri görüş kamerası, park sensörleri, acil durum frenlemesi (Automatic Emergency Breaking), selektör yapmaya gerektirmeyen otomatik ayarlı farlar (Adaptive Headlights), otomatik park etme gibi sistemler günümüz araçlarına eklenerek piyasadaki yerini almıştır.

Sürücüsüz (Otonom) Araçlar: İlk olarak havayolu ulaşımında görülen insansız hava araçları, dronların yanı sıra demiryolu manevra lokomotifleri, limanlardaki elleçlemede kullanılan çekicilerin varlığı uzaktan kontrol edilen sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Uzaktan kumanda edilmeden dört aşamalı otomasyondan dördüncü aşamaya (Unattended Train Operation/UTO) sahip sürücüsüz metrolar ilk kez 1980 yılında kullanılmış ve o zamandan günümüze 37 kentte 807 kilometrelik bir ağa ulaşarak işletmecilerin beğenisini kazanmıştır.

Sürücüsüz araçlar için 5 aşama belirlenmiş olup 5. aşama tam otonom olarak adlandırılabilir. Otonom araçlarda, araç diğer taşıtlar (Vehicle to Vehicle/V2V), mevcut altyapı (Vehicle to Infrastructure/V2I) ve diğer trafik bileşenleri (Vehicle to X/V2X) ile sürekli iletişim halinde olmaktadır.

Sürücüsüz sistemin günümüzde çoğu ülkede toplu taşıma amacıyla kullanılan otobüslerde veya bireysel araçlarda test ediliyor olması oldukça kısa bir dönemde bu teknolojinin yaygın kullanılacağını işaret etmektedir.

Algılama ve Konum Belirleme: İletişim ve konum belirleme teknolojilerinde (LIDAR:Light Detection and Ranging, GPS, Laser, Hücresel, Kızılötesi, WiFi, vb.) yaşanan güvenilirliği artırıcı sistemler, daha hassas bir yapı kazandırılması gibi gelişmeler ile karayolu ulaşımı altyapısı yeni bir yaklaşım olarak araçlara odaklı hale gelmiştir. Araçlar üzerine konulan algılama teknolojileri sayesinde yol üzerinde bulunan sabit veya hareketli nesnelere gibi verilerin eş zamanlı olarak paylaşılması ile araçlara kendi kendini yönlendirebilme özelliği kazandırılmıştır.

Bağlantılı Araçlar (Connected Vehicles): Hareket halindeki taşıtların çevresi ile etkileşiminin daha etkin olması amacıyla birbirine yakın araçlar arasında bağlantılı kurularak buldukları konum, hız vb. bilgilerinin birbirleri ile paylaşılması sağlanmış böylece olası riskler ortadan kaldırılarak daha güvenli ve konforlu bir seyahat sağlanmıştır. Böylece kaza riskleri en aza indirilerek araçların tek veya toplu halde hareket etmeleri ile mevcut yol kapasitesinin en fazla kullanımı sağlanmaya çalışılmıştır.

Paylaşımlı Araçlar (Shared Vehicles): Artan otomobil sahipliği, araçların genellikle sadece sürücüdenden oluşan seyahatlerde kullanılmasına bazen de uzun süreli kullanılmadan parklarda bekletilmesine neden olan birtakım sonuçlara neden olmuştur. Bu sorunu çözmek amacıyla geliştirilen yeni yaklaşımlardan biri olan "Paylaşımlı Hareketlilik" (Shared Mobility), temelinde araç sahipliğinden çok araç temini bulunmaktadır. Bu hareketlilik tarzına teşvik amacıyla çoğu kentte kullanılan paylaşımlı bisiklet, araç kiralama hizmetlerinin bu anlamda genişletilmesi gibi olanaklar sunulmaktadır. Özellikle otomobil kiralamanın yeni bir şekli haline gelen rezervasyon sistemi ile istenilen noktaya getirilen araçların yine

belirli noktalarda bırakılabilmesi hizmeti bu ulaşım şeklini cazip hale getirmektedir.

Araç İşletici Havuzları: Dünyada Uber, BlaBlaCar, Lyft, Zipcar gibi örnekleri bulunan ülkemizde bazı kentlerde BiTaksi ve Uber tarafından uygulanan bu yeni araç kiralama şekli ile online sistemler üzerinden cep telefonu veya bilgisayarlar ile taksi gibi ancak taksi sisteminde olmayan araçlar sürücü ile kiralanarak taksi ile oto kiralama arasında kalan farklı bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistemin taksi hizmeti ve araç kiralama siteleri tarafından istenilmemesinde denetimin ve vergilendirmenin dışında kalması durumlarının neden olarak gösterilmesinin yanı sıra farklı bir örnek olarak varlığını korumaktadır (Öncü ve Yıldız).

Yukarıda bahsedilen bu yeni teknoloji ve yaklaşımların ulaşımına sağladığı pek çok faydasından bazıları; yolların ve araçların daha verimli kullanımına imkan tanıma, otopark ihtiyacının azaltılması, kaza oranlarının mümkün olan en az seviyeye indirgenmesi, ulaşım sektörü ile entegre edilen farklı sektörler ve buna bağlı yeni mesleklerin ortaya çıkması, kullanıcı açısından yolculuk süresinin daha kısılması, varış noktasına en yakın konum olacak şekilde ulaşım ağı dizaynı ve en önemli etkilerden olan toplu ulaşım teşviki şeklinde sıralanabilir. Böylece bu faydaların doğal bir sonucu olarak ulaşım maliyetleri hem ülke hem de kullanıcı açısından azalma göstermektedir.

Söz konusu yaklaşımların ulaşımına faydalarının bir etkisi olarak kente de sağladığı yeniliklerden bahsetmek mümkündür. Bu yeniliklerden bazıları; kentin planlama yaklaşımlarının ve projelendirme kriterlerinin değişmesi, yol standartlarının değişmesi, ulaşım altyapısında yapılan değişiklikler, taşıma yapan operatörlerin ve kurumsal yapılarının değişmesi ve otomotiv sektörünün sadece ulaşım sektörü olarak değil aynı zamanda iletişim teknolojilerini de içine alan bir sektör haline gelmesi şeklinde sıralanabilir.

4. 22@Barcelona Projesi

Barcelona, İspanya'nın Madrid kentinden sonra ikinci en büyük kenti olup Katalonya (Catalonia) Özerk Bölgesi'nin başkentidir. Kentte resmi dil olarak Katalanca ve İspanyolca konuşulmaktadır. Etrafı Tarragona, Gerona ve Lleida şehirleriyle çevrili Barcelona, Besos ile

Llobregat nehirleri arasındaki verimli ovanın büyük bölümünü kaplamaktadır. Ayrıca şehir, İspanya'nın Akdeniz ile olan kıyısını oluşturduğu için önemli bir liman görevi görmektedir. Casa Mila gibi mimari yönden yenilikçi yapıların bulunduğu Eixample, kentin modern kısmını oluşturmaktadır. Katalanca ismiyle l'Eixample Bölgesi ızgara plan dokusu kullanılarak oluşturulmuştur. Barcelona zengin tarihi ve kültürel mirası ile pek çok turistin ziyaret ettiği bir Avrupa kenti konumunda bulunmaktadır. Barcelona, metrekare başına düşen 15.779 kişilik nüfusu ile Paris ve Atina'dan sonra nüfus yoğunluğu en fazla olan üçüncü Avrupa kentidir.

Barcelona akıllı kent ölçeklerinde de ilk sıralarda yer almaktadır. Bu kapsamda Noyons ve Calero-Medina'nın 2009'da yaptığı bir çalışmada İspanya şehirlerinin, başta hareketlilik ve çevre olmak üzere hükümet, ekonomi, insan ve yaşam olarak sıralanan akıllı kent ölçeklerine uygunluğunu araştırılmıştır. Araştırma kapsamında incelenen 62 İspanya kentinden Barcelona ve Madrid söz konusu ölçekleri sağlayarak akıllı kent kapsamına uygun seçilmişlerdir (Noyons ve Calero-Medina, 2009).

Akıllı kentlerin tasarlanması ve söz konusu ölçeklere uygun hale getirilmesi şüphesiz ki bazı dönüşümleri gerektirmektedir. Barcelona için bu dönüşüm 22@Barcelona Projesi ile mümkün olmuştur.

22@Barcelona Projesi, 2000 yılında Barcelona Şehir Meclisi tarafından onaylanmış ve 2000-2010 yılları arasında hayata geçirilmesi hedeflenen bir kentsel dönüşüm projesidir. Proje, şehir merkezindeki 200 hektarlık (yaklaşık 2.000.000 m²) eski sanayi bölgesinin bilgi ve iletişim teknolojileri yardımıyla yenilenmesi içeren bir Kentsel Laboratuvar Projesi olarak tanımlanmaktadır. Proje adını 22 faaliyet alanında yürütülen 200 projenin tanımlanmış olmasından almaktadır. Bu faaliyet alanları Tablo 2'de açıklanmaktadır.

Tablo 2. 22@Barcelona Kapsamında Yürütülen 22 Aktivite (Anonim, 2012)

Telefon Ağları	Vatandaşlık
Şehir Platformu	Açık Hükümet
Akıllı Veri	Cepte Barcelona
Akıllı Aydınlatma	Akıllı Çöp Toplama
Eğitim	Sağlık ve Sosyal Hizmetler (Yazılı Hizmetler)
Akıllı Su	Akıllı İnovasyon
Akıllı Ulaşım	Sağlık ve Sosyal Hizmetler (Cep Uygulama Hizmetleri)
Doğaya Dönüş	Enerjide Kendine Yetebilirlik
Kentsel Yönetim	Akıllı Turist Güzergahı
Akıllı Mobilya	Altyapı ve Lojistik
Risk Yönetimi	Eğlence ve Kültür

Proje alanı olan eski sanayi bölgesi, Poblenou Bölgesi olarak bilinmektedir. Katalanca ismiyle El-Poblenou güneyinde Akdeniz'e komşu olan geniş bir Barcelona semtidir. Sant Marti ilçesine komşu olan bölgenin merkezi konumu ile projenin uygulanma alanı oluşuyla önem kazanmıştır. Bir kentsel tadilat projesi olarak 22@Barcelona, Poblenou Bölgesi'ndeki eski sanayi dokusunun geri dönüşüm ihtiyacına cevap vererek bölgeyi; yaşam kalitesini artan, yeniden işyerleri için inşasını sağlayan bunların yanında kamu binaları ve yeşil alanlar tanımlayan bir alan haline getirmektedir.

22@Barcelona Projesi'nin öncülüğünde gerçekleşen dönüşümde, inşa edilecek binaların toplam yüzey alanı 3.000.000 m²'dir. Bu alanın 3.200.000 m²'si şehir merkezinde üretim faaliyetlerine teşvik etmek için ayrılan yeni iş alanlarına ait iken 800.000 m²' si konut yapımı, kamu binaları için ayrılmaktadır. Proje akıllı bir kentin olmazsa olmazı hale gelen akıllı çevre ölçütünü de dikkate almış, kentteki yeşil alanı 114.000 m²'ye yükselmesini sağlayarak eski sanayi alanını en yüksek kentsel ve çevresel kalitede bir alana dönüştürüyor. Ayrıca bölgede bulunan 4.614 konutu restore edip ek olarak 4.000 konut inşa edilmiştir.

Projenin raporu Monserrat Pareja-Eastaway şirketi tarafından koordine edilen INOVA takımı, CRIT (Creativity, Innovation and Urban Transformation/Yaratıcılık Yenilik ve Kentsel Dönüşüm) Araştırma Grubu, Ekonomi ve İş Fakültesi, Barcelona Üniversitesi ve Barcelona Hükümeti Turizm ve Çalışma Bakanlığı

tarafından hazırlanmıştır. Proje bir kentin, kentsel sosyal olarak yenilenmesini öngörmesi nedeniyle bu üç fikir eksenini etrafında konumlanmıştır.

Poblenou Bölgesi'ndeki proje alanı; Sant Andreu-Sagrera, Glories Meydanı ve Besos kıyılarının kesişim bölgesinde yer alan üçgenel bir alanı kaplamaktadır. Barcelona'nın modern dokusunu temsil eden Cerdà Eixample'ı da içine alan proje alanının en önemli dönüşüm alanı olarak Besos kıyıları karşımıza çıkmaktadır. Sant Andreu-Sagrera, inşa edilen istasyonla birlikte yeni yüksek hızlı demiryolu ağının kente gireceği nokta olma özelliğini taşımaktadır. Ayrıca Sant Andreu ve La Sagrera semtlerini içine alan bu alan içinde, inşa 300.000 m²'lik park alanı, 600.000 m²'lik üçüncül kullanım arazisi ve 7.800 m²'lik konut alanını içermektedir. Glories Meydanı, 378.019 m²'lik alanın dönüşümünü içeren diğer nokta olarak görülmektedir. Projenin tamamlanması ile bu bölge, Besos kıyılarında yer alan Diagonal Bulvarı (The Avinguda Diagonal) ile bağlantılı hale gelmiştir. Diagonal Bulvarı kentin adeta buluşma noktası haline gelen Barcelona'da düzenlenen pek çok karnavala ev sahipliği yapan, projenin etrafında konumlandığı bir alandır. Proje alanının üçüncü kıyısını oluşturan ve Barcelona'nın Akdeniz ile olan kıyısını oluşturmaktadır. Bu kıyı bölgesinde yapılan yenilenme Diagonal Bulvarı ve La Mina Bölgesi'ni içerir. Bölge Resim 1'de gösterilmektedir.



Resim 1. 22@Barcelona proje bölgesi (Anonim, 2012).

Proje planı içerisinde eylem bölgesinin %47'sini oluşturan ve alanın 925.482 m²'sini oluşturan 6 eksen bulunmaktadır. İlk eksen olan Audiovisual Campus (Görselişitsel Kampüs), müdahale alanının toplam alanı 119.489 m²'dir. 14.398 m² ekonomik faaliyetlere, 7.408 m² konutlara, 1.912 m² teknik hizmetlere, 27.714 m² yeşil alanlara, 32.846 m² kamu hizmetleri yapacak binalara ve 4.493 m² yeni yollara tahsis edilmektedir. Bu eksen ana amaç, kentin en önemli alanlarından olan Diagonal Bulvarı'ndaki ekonomik faaliyetleri artırarak bölgedeki ekonomiyi canlandırmaktır.

Llacuna Eksen, Llacuna Caddesi'nin dönüşümünü içermekte olup Rambla del Poblenou ve Sant Joan de Malta Caddesi ile birlikte üçlü bir sistem oluşturacak ve tarihi sokakların kentsel canlılığından yararlanarak bölgenin kalitesini arttırmaktadır.

Bir diğer eksen olan Pujades-Llull'un doğusu Diagonal Bulvarı'na bakan Pujades ve Llull Caddeleri arasındaki bloklardan oluşmakta ve yeni Diagonal-Mar bölgesine olan yakınlıklarından dolayı büyük önem taşımaktadır.

Diğer eksen Merkez Parkı, Diagonal / Pere IV ekseninde oluşturulan bu park alanında Can Ricart'ın eski sanayi bölgesi ile birleştirecek stratejik bir operasyon planlanıyor. Can Ricart fabrikası, Sant Martí belediyesinin ana tekstil sanayi kuruluşlarından biridir.

Pujades-Llull'un batısı bir diğer eksen oluşturmaktadır. Bu alanda, diğerlerinin aksine, mevcut kentsel yapıların karmaşıklığını ve çeşitliliğini içeren küçük alanlı konutların inşası ile yüksek oranda korunan binalar bulunmaktadır. Son eksen olan Pere IV-Perú, kentteki trafiği canlı tutarak yüksek kalitede bir kentsel sağlamaktadır.

Proje bölgesinin yeniden inşasında kamu-özel iş birlikleri görülmektedir. Bu kapsamda bölgede kamu kurumları, özel şirketler, üniversiteler ve AR-GE şirketlerinin iş birliği ile yürüttüğü projede tanımlanan görevlerin %50'si 5 iş kolu etrafında kümelenmektedir. Projede görev yürüten şirketlerin %26'sı Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BIT), %24'ü Dizayn, %11'i Medya, %5'i Tıbbi Teknoloji ve %4,5'i Enerji sektöründe görev yapmaktadır. Bu aktivite alanları arasındaki BIT ve Tıbbi Teknoloji sektörleri önemli iki aktivite olarak belirtilmektedir. Bu iş birlikleri sayesinde projenin onayından itibaren 2009 yılına kadar bölgede, 25.000'den fazla öğrencisi ile 10 üniversite ve 12 AR-GE şirketi kurulmuştur.

Kentsel yenilenme projesi olarak 22@Barcelona, Poblenou Bölgesi'ndeki eski sanayi alanını yenilikçi bir yaklaşım ve iş birlikleri ile güncellemektedir. Bu yönüyle proje kentsel yenilenmeyi yoğunluk, çeşitlilik ve karmaşıklık, esneklik olarak tanımlanan üç ana eksen etrafında tanımlamaktadır. Yoğunluk olarak nitelendirilen eksen, inşa edilen

yapılarla alanın en çok fayda ile kullanılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda bölge yenilenirken bazı bazı hak ve sorumluluklardan söz edilmektedir. Bunlardan biri olan ve 7@ olarak adlandırılan projede, yapım alanının en az %10'unun bölge halkının sosyalleşmesine katkı sağlayacak şekilde yaşam alanı olarak ayrılması öngörülmektedir. Aynı şekilde alanın %10'u yapılacak konutlar için ve yine %10'u ise yeşil alanlar için ayrılmaktadır.

Bir diğer eksen olan yapıların çeşitliliği ve karmaşıklığı, modern yapılar ile tarihi miras niteliğindeki yapıların birlikte kullanımını içermektedir. Poblenou Bölgesi'ndeki pek çok tarihi yapıyı korumayı amaçlayan proje aynı zamanda modern olarak dizayn edilmiş yapıları da barındırmaktadır.

Üçüncü eksen olan esneklik; yapıların tek tip olmayışını, bölgedeki alanların her birinin ekonomik ve sosyal ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde dizaynını içermektedir. Bu eksenlerin yanı sıra bir de bölgenin yeniden yapılanma planının elemanları sayılabilecek Endüstriyel Miras, @Aktiviteleri, @ Kamu Binaları, Yeni Konutlar, Halka Açık Alanlar ve Altyapı olarak 6 yapı sahasından bahsedilmektedir.

Poblenou Bölgesi'nin eski sanayi dokusunda yer alan kültürel mirasların korunması amacıyla 114 tarihi yapının restorasyonu sağlanmıştır.

@Aktiviteleri olarak tanımlanan ve proje konusu olan faaliyet alanları etrafındaki yenilenmeyi içeren bu alanda inşa edilen yapılar projenin en önemli başlığı olarak nitelendirilmektedir. Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin yoğun kullanımıyla bu kapsamda oluşturulan yeni yapılar yüksek nitelikli çalışanların bulunduğu yenilikçi sektörlerin bölgede bulunmasını sağlamaktadır. Bölgenin ekonomisini canlı tutmak, şirketlerin bölgeye katkısını en fazla kılmak için inşa edilen yapılarda araştırma, tasarım, yayıncılık, veri tabanı yönetimi gibi alanlarda hizmet veren şirketler düşünülerek dizayn edilmiş yapıları içermektedir.

@ Kamu Binaları olarak adlandırılan yapı alanında 7@ kapsamında tanımlanan kamu binalarının inşasını içermektedir. Kamu-özel iş birliğinin yoğun olduğu bu faaliyet alanında üniversitelerin aktif bir şekilde inşaat safhasına katılması hedeflenmiştir.

Proje ile bölgede 1953'ten beri inşa edilen ve sadece endüstriyel kullanım amaçlı yapılmış

toplam 4.614 konut restorasyonla kurtarılmıştır. Bu konutlara ek proje uygulaması olarak 4.000 yeni konut inşa edilmiştir.

Akıllı bir kent için yeşil alanların önemini vurgulayan proje, uygulama alanının %10'unu, yaklaşık olarak 114.000 m²'sini yeşil alanlar için ayrılmaktadır.

Yeniden dönüşümünü sağlamak için altyapının önemini vurgulandığı projede, 22@Barselona'daki 37 km'lik caddeleri yeniden düzenlemek ve bu caddeler için kamu hizmetleri sağlamak için yeni bir Özel Altyapı Planı (PEI) oluşturulmuştur. Bu plan dahilinde kentteki iletişimi sağlayan ağların, yeni fiber optik şebekelerin inşası için toplamda 180 milyon avro yatırım yapılmıştır.

Projenin ilerleme analizi iki dönem baz alınarak yapılabilir. Proje onayından itibaren ilk 10 yılı kapsayan 2010 yılına kadarki dönemde projenin %70'i tamamlanmıştır. Bu ilk dönem ve 2010-2015 arasındaki dönemde projenin durumu Tablo 3 ile özetlenebilir.

Tablo 3. 22@Barcelona projesinin uygulama dönemlerinin karşılaştırılması (Anonim, 2012)

“	Aralık 2010’a kadar	Aralık 2010-Aralık 2015
Poblenou Bölgesi’ndeki endüstriyel alanın dönüştürülme oranı	Arazinin %65’i	Arazinin %70’i
	117	Toplamda 150
Onaylanan planlar	(78’i özel sektör tarafından desteklenen)	(141’i özel sektör tarafından desteklenen)
İnşa edilen yapıların toplam yüzey alanı	2.830.596 m ²	3.029.106 m ²
Halk için ayrılan yeşil alanlar	6.857 m ² artırılmıştır	Toplamda 40.737 m ² (114.000 m ² yüzey alanına sahip)
Yeni konut yapımı	1.520	1.600 (Toplamda planlanan 4.000 konuttan 3.120’si)
Yeni Kamu Binaları inşası	-	Toplamda 145.000 m ²
22@ bölgesinde faaliyet gösteren firma sayısı	7.064	8.223’ e yükseldi
22@ bölgesinde çalışan işçi sayısı	90.000	93.000’ yükseldi
22@ bölgesindeki firmaların sağladığı ciro (milyon avro)	8.900	10.300
Firmaların yerine getirdiği görevlerin 5 iş kümesi ile bağlantısı	%54	%40,4
1 ile 5 arasında işçiye sahip küçük şirketlerin oranı	%82,6	%84,6

2000 yılında Barcelona Belediyesi tarafından yeni Belediye Meclisi’nin inşasında görevli belediye şirketi olan 22 ARROBA BCN ve SAU, 22@Barcelona projesindeki dönüşümü planlayan iki ana şirket görevindedir. Bu şirketlere, 2009 yılında bölgede yer alan Official Nurses Association, Voxel Group, Amphos 21 Consulting, Agència EFE, Neo Advertising, Lunatus, Agència Catalana de Consum, Tecnogeo, Esabe Informàtica Distribuïda, Knowledge Innovation Market Barcelona, Madaus, ADP Employer Service Iberia gibi şirketlere ek olarak 2010 yılında Geographic, Aenor, Marcus Evans, Quantum Solutions, Bassat Ogilvy, CMT ve Telefónica gibi şirketler de eklenerek bölgedeki ekonomik

yapıyı daha da güçlendirmiş ve yapılan yatırımları garanti altına almıştır. Bölgede varlığını sürdüren bu şirketler sayesinde, halen 100.000 ile 130.000 arasında işçi bulunmaktadır. Bu sayının 150.000’e ulaşacağı öngörülmektedir.

Eski bir sanayi bölgesini modern bir yaklaşımla dönüştüren proje olma özelliği ile 22@Barcelona pek çok ülke tarafından takip edilmiştir. Bu yenilenme modeli, Rio de Janeiro (Brezilya), Boston (ABD), İstanbul ve Cape Town (Güney Afrika) gibi önemli dünya kentleri için bir ölçek oluşturmuştur. Model dünya çapında Teknopark gibi pek çok isim ile

anılan Bilim ve Teknoloji Parkları tarafından takip edilip incelenmiştir.

Bölgede varlığını sürdüren 1.500'den fazla şirketin iş birliği içindeki çalışmaları Uluslararası Bilim ve Teknoloji Parkları Birliği (International Association of Science and Technology Parks /IASP) ve Rekabetçilik Enstitüsü (The Competitiveness Institute /TCI) tarafından izlenmiş ve bir ölçüt olarak benimsenmiştir.

Bu çok yönlü proje sağladığı iş birliklerinin yanı sıra bölgede bulunmak isteyen şirketlere kolaylıklar sağlamak için çeşitli projeler sağlamaktadır. Bunlardan biri olan 22@PLUS, şirketlere destek sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Buna ek 2004'te oluşturulan 22@Network Birliği, bünyesinde 90 şirketi barındıran ve bölgeye yeni girecek şirketlerin ve çalışanlarının entegrasyonunu kolaylaştırmak için çeşitli alt projeler içermektedir. Bu alt projeler sayesinde bölgede var olan diğer şirketlerle bağlantı kurmak için çeşitli sosyal aktiviteler sağlanmaktadır. Göze çarpan bir diğer proje ise 2@Dijital Bölge (22@Districte Digital) olup akıllı kentlerin önemli bir bileşeni olan dijital kent oluşuma katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu anlamda bilgisayarların geri dönüşümü, kentin dijital altyapısının kurulması gibi görevleri yürütülmektedir.

4.1. 22@Barcelona kapsamında akıllı ulaşım

Akıllı kentler dizayn edilirken altyapının uygunluğu önem arz etmektedir. Kent nüfusunun yoğunluğu ile daha da karmaşık hale gelen bu tasarım evresinde altyapı kavramı, konut ve bina inşaatların yanında kentin ulaşım ağıyla da doğrudan ilgilidir. Özellikle yoğun nüfuslu kentler için ulaşım dizaynı daha önemli hale gelmekte ve akıllı bir kent tasarımının merkezine yerleşen öge olmaktadır.

Barcelona, sahip olduğu 7,5 milyonluk nüfusuyla Avrupa'nın en kalabalık bölgelerinden biridir. Barcelona'nın nüfusunun, 3,2 milyonunun (%42,7) yaşadığı alan Barcelona Büyükşehir Bölgesi (Barcelona Metropolitan Area) olarak adlandırılmıştır. AMB (Area Metropolitan de Barcelona) kısaltması ile bilinen bölge Barcelona şehir merkezine odaklı olup sahip olduğu bu nüfusa Akdeniz'e kıyısı olan en kalabalık bölgedir. Nüfus yoğunluğu nedeniyle bölge, projede

önem arz etmektedir. Bölgenin ulaşım faaliyetlerinin büyük bir bölümü ve Barcelona'nın geri kalanının ulaşım faaliyetleri Barcelona Büyükşehir Bölgesi Ulaşım Şirketi (Transport Metropolitan de Barcelona) tarafından yürütülmektedir. TMB olarak bilinen özellikle AMB'deki otobüs ve metro ağını yöneten şirket konumunda olup Ferrocarril Metropolità de Barcelona, Transports de Barcelona ve SA şirketlerinin ortak adıdır. Kentteki ulaşım talebinin büyük bir bölümü şirket tarafından karşılanmakla birlikte özel ve tüzel kuruluşlar, Taxi ve NitBus olarak bilinen Barcelona'da geceleri hizmet veren ulaşım araçları bulunmaktadır.

TMB, yılda ortalama 592.400.000 kişiyi taşımaktadır ve bu sayı ulaşım talebinin %60,1'ine karşılık gelmektedir. Şirket sahip olduğu 1.085 araç ile hem Barcelona hem AMB'de hizmet vermektedir. Otobüs taşımacılığının yanında düzenli olarak metro hizmeti de verilmektedir. Bu metro ağında 5'i sürücülü 3'ü sürücüsüz hat bulunmaktadır. Mevcut yapının TMB üzerine kurulu bu ulaşım ağında düzenli verilen otobüs ve metro ulaşımını hizmetinin yanı sıra bölgeye gelen turistler için özel taşımacılık hizmetleri verilmektedir. Barcelona turist otobüsleri bunlardan biri olup gezi amaçlı kullanılan otobüslerdir. Ayrıca turistlerce çok ilgi gören ve yerel halk tarafından Tramvia Blau (Mavi Tramvay) olarak bilinen eski yapım bir tramvay bulunmaktadır. Bu araçların yanında entegre ücret sistemine dahil edilmeyen havalimanı gibi bölgelere ulaşım hizmeti sağlayan otobüsler bulunmaktadır. Otobüs ve metro ağına ek olarak FGC Rodalies (Renfe) adlı devlet işletmecisine ait banliyö hizmeti veren bir demiryolu ağı bulunmaktadır.

Bölgede inşa edilen ulaşım ağı Eentegre Ücret Sistemi (Integrated Fare System Area/STI) ile birbirine bağlıdır. Bu sistem ile yolcular tek bilet ile otobüs, metro, banliyö tren hizmetinden yararlanabilirler.

Bölgede toplu taşıma dizayn edilirken teknolojinin en son olanakları kullanılmış ve kent dijital bir ağ ile çevrelenmiştir. Bu anlamda akıllı sistemin parçası olabilmesi için tüm toplu taşıma hizmeti veren şirketlerin sözleşme ile zorunlu hale getirilmiş bir Akıllı Ulaşım Yönetim Sistemi'ne (Intelligent Transportation Management System/ITMS) bağlıdır. Bu sistem hareket saati, rota gibi ulaşım verilerini

birbirleri ve yolcular ile paylaşımlarını sağlamaktadır. Yolcular gerekli bilgileri cep uygulamalarından edinebileceği gibi elektronik otobüs duraklarının online güncellenen takip ekranlarından da takip edebilirler. Diğer bir uygulama olarak 2013'te uygulamaya konulan T-Mobilitat biletleri kişisel bir toplu taşıma ücreti ödeme biletidir. 2021 itibari ile tüm toplu taşıma sistemlerinde geçerli olacak bu proje ile biletler, eski ödeme araçları yerini akıllı aletler gibi uzaktan kontrol edilebilir sisteme sahip bu kartlara bırakacaktır.

Tüm bu sistemle 22@ kapsamında yeniden dizayn edilen Barcelona ulaşım ağı pek çok ülkenin yakından takip ettiği bir dizayn olmuştur. Yüksek Hızlı Tren İstasyonu, kente 22@ bölgesi olan Sant Andreu-Sagrera'dan girerek ve Barcelona'yı Avrupa Hızlı Tren Ağı ile bağlamıştır. Akıllı ulaşım dizaynında toplu taşıma teşviki büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda, 22@Barcelona kapsamında oluşturulan ve Özel Altyapı Planı olan PEI (Plan Especial de Infraestructuras) ve Hareketlilik Planı ile şehirdeki yolculukların %70'inden fazlasının toplu taşıma araçları, bisiklet veya yürüyerek gerçekleştirilmesi hedeflenmiş ve büyük ölçüde başarılmıştır.

Kentin ulaşım ağının fiziksel dizaynı oldukça dikkat çekicidir. TMB tarafından yürütülen 2013-2018 sürdürülebilir taşımacılık planı ile kent içi yeni hatlar belirlenmiştir. Şehrin merkezi, hem dikey hem de yatay geçişlerin yanı sıra birkaç büyük çapraz yolun bulunduğu sekizgen bloklarla düzenlenmiştir. Bu düzen serbest trafik akışını sağlıyor gibi gözükse de bu yapının her sekizgen köşesinde sınırsız park yeri ve refüj bulunmaktadır. 2007 yılında TMB, hem Diagonal Caddesi hem de Katalonya'daki en uzun cadde olan Gran Via Corts Catalanes Caddesi boyunca iki yüksek performans rotası tanıtmıştır. İspanya'daki bu ilk hizmet daha önce birçok Avrupa ve Amerika kentinde kullanılmıştır. 2009 yılında TMB, şehirdeki tüm rotaları incelemiş ve sonuç olarak kentte 11'i temel rota olduğunu görmüştür. Bunlardan altısı deniz-dağ yönünde, beşi kıyı şeridinde paralel rotalardır. Bu güzergahların düzenlenmesine "RetBus" adı verilmiş ve 2011-12'de her iki rota grubunun entegrasyonu incelenmiştir. Bu incelemelerden sonra bir karma model geliştirilip sunulmuştur. Daha sonra rotalar net bir şekilde tanımlanarak her rota türü arasında uygun kavşak noktalarını belirlemek için bir basit bir sistem kurulmuştur. Yatay hizmetler söz

konusu olduğunda, "H" eki ve daha mavi olarak basılmış bir çift sayı eklenmiştir, dikey yollar "V" ön ekine ve "D" ön eki olan çapraz yollar ile yeşil renkte basılmış tek bir numaraya sahiptir ve kodlar 20, 30 ve 40'dır. 2012 yılında yeni rotaların tanıtılmasından bu yana rotaların üç aşamada trafiğe entegre edilmiştir. Toplam olarak planlanan 28 rotadan 15'i tanıtılmış, ancak dördüncü aşamanın kısa bir süre içinde gerçekleşmesi beklenmektedir. Bununla birlikte TMB eski ve yeni güzergahları birlikte işletmiştir. TMB araç filosu 539 dizel, 396 doğal gazlı, 132 hibrit otobüs ve 3 full elektrikli otobüsten oluşmaktadır. Bölgede tanımlanan en önemli toplu taşıma çözümlerinden birisi de BRT'dir (Bus Rapid Transit). Otobüs hızlı geçiş şeridi olarak tanımlanabilen bu yapı ile Barcelona toplu taşıma araçlarına özel tahsis edilen şeritle hem daha hızlı hem de trafiği tıkamadan operasyon yapabilmeleri sağlanmıştır.

Barcelona, sahip olduğu ulaşım ağı ile birlikte yolculara kaliteli bir hizmet vermekte böylece toplu ulaşım ve bisiklet veya yaya ulaşımı ile özel araç kullanımını azaltmaktadır. Bu konuda yapılan bir teşvik T-verda (yeşil kart) uygulamasıdır. Bu kart ile, şahsi araçlarını 3 yıl boyunca kullanmayan kişiler bu süre zarfında ücretsiz olarak şehir içi tüm toplu taşıma modlarını kullanabilmektedirler. Bu uygulama Aralık 2017'de alınan kararla yoğun nüfuslu bölge olan AMB başta olmak üzere Barcelona'da düşük emisyon hedefinin doğal bir sonucudur. Böylece Barcelona yönetimi, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) önerdiği düşük emisyon seviyelerine ulaşmak için trafiği azaltmayı hedeflemektedir.

Barcelona, 22@Projesi ile temiz ve akıllı hale getirdiği ulaşımını kentin pek çok alanına uygulamaktadır. Akıllı çöp kutularından akıllı park yerlerine yaptığı uygulamalar ile Barcelona 'Akıllı Kent' kavramının içini doldurmakta ve dünya için örnek bir yaşam alanı oluşturmaktadır.

5. Bandırma ilçesi kapsamında ulaşım

Bandırma Balıkesir iline bağlı bir ilçedir. 2019 yılı itibariyle 156.787 kişilik nüfusu ile birkaç ili gerisinde bırakan Bandırma, Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan konumuyla önemli bir liman kenti konumundadır. Bursa, Çanakkale illerinin komşusu olmasının yanı sıra İstanbul'a deniz yolu ulaşımı (İstanbul Deniz Otobüsleri/İDO) imkanı sağlaması ilçenin

bugünkü konumuna katkı sağlamıştır. Bandırma, bünyesinde üniversite bulunduran ilçelerden biri olma özelliği taşımaktadır. 2015 yılında faaliyete geçen Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, 13.000 üzerinde öğrenciye ev sahipliği yapmaktadır. İlçe un, yem, bitkisel yağ gibi ürünler ile birlikte özellikle beyaz et üretim oranıyla gıda sektöründe ülkede varlığını hissettirmektedir. Ayrıca ülkemizde rezervleri önemli oranda bulunan bor minerali, ilçede Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü çatısında işlenmektedir. Bölgenin sanayisi açısından önemli noktalardan bir diğeri ise Organize Sanayi Bölgesidir (OSB) (Bandırma Belediyesi). Bu bölgede üretilen ürünlerin ihracı açısından Batı Anadolu Lojistik Organizasyonlar (BALO) projesi oluşturulmuştur. Proje, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) teşvikiyle Batı Anadolu Lojistik Organizasyonlar A.Ş. tarafından hayata geçirilecektir. Projenin ana amacı, Batı ve Orta Anadolu sanayisini Avrupa ile demir yolu üzerinden bağlamaktır. Bu anlamda sanayi ürünleri tırlar ile taşınmış ve blok trenlere yüklenerek demir yolu ile Bandırma'ya ulaştırılmıştır. Ürünler Tren Feribotları ile Bandırma Limanı'ndan Tekirdağ Limanı'na ulaştırılarak buradan tekrar demir yolu ile Kapıkule sınır kapısından Avrupa'ya ulaştırılması hedeflenmiştir. 2013 yılı itibari ile uygulanmaya başlanan projenin bölge ekonomisine etkisi büyük olmuştur (Lojistik Hattı, 2012). Bu tür ekonomik faaliyetlere ek olarak ilçede sürdürülebilir enerji kaynağı olan Rüzgar Enerji Santrali (RES) bulunmaktadır. RES tesisi kurulduğu alan ile Türkiye sıralamalarında yerini alırken elde edilen enerji, ilçe içi elektrik enerjisi talebinin büyük çoğunluğunu karşılamaktadır.

Bandırma ulaşım açısından değerlendirildiğinde, şehirler arası deniz yolu ulaşımının yanında aktif bir demir yolu ulaşımı ağına sahiptir. TCDD'nin ana limanlarından birine sahip olması ve günlük iki yolcu treninin İzmir'e hareket etmesi bu ulaşım türünü hareketli kılmaktadır. İlçe dışına ulaşım imkanlarıyla birlikte ilçe içi ulaşım da sahip olduğu yoğun nüfus etkisiyle gün içinde yoğun olarak gerçekleşmektedir. Bu yoğunluğu eğitim-öğretim dönemi içinde öğrenciler, diğer zamanlarda ise ilçe halkı ve yerli/yabancı

turistler oluşturmaktadır. İlçedeki bu yoğunluk ulaşımına da yansımaktadır.

Bandırma, kuzeyinden güneyine doğru deniz seviyesinden yüksekliği artan ve bu yönde kısmen engebeli olan bir ilçedir. İlçenin bu durumu ulaşım ağı açısından önemli rol oynamıştır. Artan nüfusla birlikte yeni yerleşim alanlarının da bu doğrultuda oluşu ilçe içinde etkin bir ulaşım planlaması ihtiyacı meydana getirmiştir.

Bandırma içindeki hareketlilik talebi 19 şahıs işletmesi (köy minibüsü) taşıt, 97 Ulaşım A.Ş., 6 tane kooperatif ve 28 tane dolmuş-taksi taşıtın verdiği hizmetle toplamda 150 araç ile karşılanmaya çalışılmaktadır. Bandırma bünyesindeki 14 köye, köy minibüsleri ile ulaşım sağlanması amacıyla belirli hatlar ve kalkış noktaları/saatleri belirlenmiştir. Kooperatif statüsünde hizmet veren Ömerli Kooperatifi saat 7:00'den itibaren 30 dk aralıklarla Ömerli Mahallesi'nden hizmet sunmaktadır. Bandırma Ulaşım A.Ş. toplam 19 hatta hizmet vermektedir. Bu hatlardan ikisi yoğunluk sebebiyle sadece eğitim-öğretim döneminde ve adliyede çalışan personelin taşınması hizmetinde kullanılmaktadır. Dolmuş-taksi olarak hizmet veren araçlar 6+1 veya 7+1 kapasiteli olup toplamda 2 hatta hizmet sunmaktadır. İlçede Ulaşım A.Ş.'nin taşıtlarında elektronik ücret sistemi kullanılırken, diğer taşıtlarda ise ücret nakit olarak verilmektedir. İlçede özel araç kullanımı azaltarak toplu ulaşım teşvik amacıyla gaziler, şehit yakınları, 65 yaş üstü vatandaşlara ve belediyede hizmet veren bazı vatandaşlara ücretsiz biniş imkanı sunarken öğrenciler için indirimli kart sistemi uygulanmaktadır. Hizmet veren taşıtlar arasında aktarma biniş seçenekleri uygulanmaktadır. Bu hizmetlere ek olarak Ulaşım A.Ş.'ye ait araçlarda engelli vatandaşların daha rahat seyahat edebilmesi için olanaklar sunulmaktadır.¹

Bandırma ilçe içi kara yolu yapısı açısından dar sokak ve caddelere sahiptir. Bu durum ulaşımı bazı caddeler üzerinde yoğunlaştırmıştır. İlçenin merkezi ile kuzey yakasını birleştiren Atatürk Caddesi, batı yakasından merkeze inen İsmet İnönü Caddesi ve kesiştiği kuzeybatı yönünde ilerleyen Kurtuluş Caddesi, kuzeydoğu yakasını merkez ile birleştiren Ordu

¹2015 yılı Balıkesir ili Toplu Ulaşım Ana Planı Bandırma İlçesi Mevcut Durum Analizi verilerinden derlenmiştir.

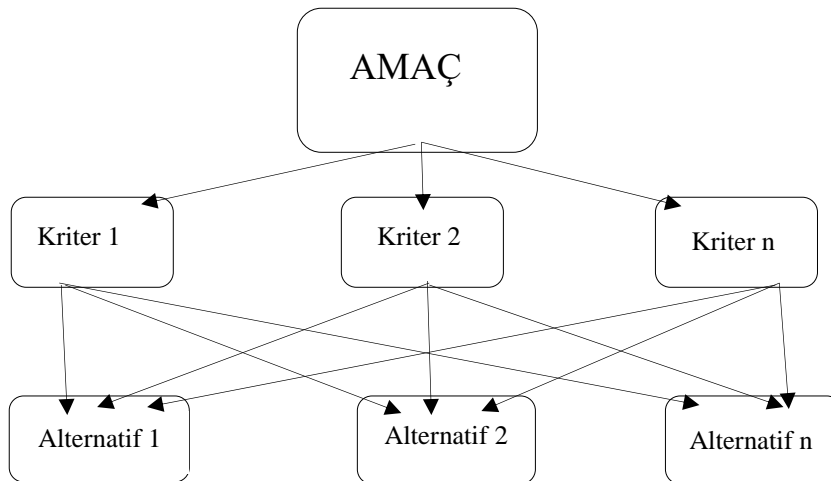
Caddesi, özellikle belirli saatlerde yoğun trafik akışına sahiptir. Bu İsmet İnönü Caddesi ve Atatürk Caddesi ilçe merkezinde Cumhuriyet Caddesi ile birbirine bağlanarak buradaki toplu ulaşım taşıtlarının son duraklarına aktarılmaktadır. Söz konusu caddelerde gerçekleşen çift yönlü trafik akışı, özellikle trafiğin zirve saatlerinde ciddi sıkışıklıklara neden olmaktadır. Caddelerde oluşan trafiği azaltmak amacıyla taşıma yapan hatlar için belirli güzergahlar belirlenmiştir. Yoğun ulaşım talebine sahip olan Üniversite ve yanına inşa edilen hastane hattı Ordu Caddesi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu caddeler merkeze inşa edilen döner kavşak ile birbirine bağlanmış durumdadır. Bu durum ilçe içinde seyahatleri bu noktada toplamış ve merkezdeki trafik yoğunluğunu artırmıştır.

Bandırma ilçe içi ulaşım toplu taşıma imkanlarıyla birlikte özel araç sahipleri için de otopark çözümleri sunmaktadır. Balpark Balıkesir Otopark İşletmeleri, Bandırma'nın yanı sıra Balıkesir ve ilçelerinde açık/kapalı/yol üstü otopark çözümleri sunmaktadır. Bu hizmete ek olarak Bandırma Spor Kulübü Otopark İşletmeciliği, Cumhuriyet Caddesi ile sahil arasında kalan alanda merkezi bir otopark hizmeti sunan özel bir işletmedir. Trafik yoğunluğu olan caddelerde de otoparklar bulunmaktadır. Ancak bu otoparklar yerine yol üstü parklanmanın tercihi trafiğin akışını olumsuz etkilemektedir. Bunu önlemek amacıyla belediye yeni sistemlerle otopark hizmetleri üzerinde sıkça durmaktadır.

6. Yöntem

Günlük yaşamda bireyler birkaç seçenek arasında seçim yapmak zorunda kalabilirler. Bu durumda her seçeneği belirli etkenler dahilinde ölçüp karar verme sürecini yönetebilirler. Ancak verilecek kararın etkisinin büyümesi ve seçeneklerin artması durumunda bu süreç daha karmaşık hal alabilmektedir. İşletmeler açısından bu karar sürecini kolaylaştırmak için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Thomas L. Saaty tarafından 1970'lerde oluşturulmuş ve alternatif sayısının fazla olduğu durumlarda seçim yapmak için kullanılabilen, pek çok uzman karar vericinin sürece katılmasına olanak sağlayabilmektedir (Ecer ve Küçük, 2008). AHP karar vericilere karmaşık bir problemin çözümünde probleme etki eden nitel ve nicel kriterlerle varsa alt kriterler ve karar seçenekleri arasındaki ilişkiyi daha net gösteren bir model sağlamaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001; Alp ve Engin, 2011). AHP, bir problemi küçük parçalara ayırır, ikili karşılaştırmalara tabi tutar, her hiyerarşi için öncelikleri belirler ve böylece belli bir mantıksal süreci düzenler (Ecer ve Küçük, 2008).

AHP, birkaç adımdan oluşan bir çözüm aracıdır. Öncelikle problemin amacı, etki eden kriterler ile varsa alt kriterler belirlenir. Kriterlerden hareketle nihai sonuç olan karar alternatifleri açıkça belirtilir. Söz konusu adımlar Şekil 1 ile aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 1. Analitik Hiyerarşi Prosesi oluşturma örneği.

Daha sonra ikili karşılaştırmalar yapılarak kriterler birbirine göre ve alternatiflerin kriterlere göre görece önem değerleri elde edilir.

Karşılaştırmalar yapılırken Tablo 4 ile belirtilen temel ölçek dikkate alınır.

Tablo 4. İkili karşılaştırmalar ölçeği (Saaty,1986)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyetin de eşit tercih edilmesi
3	Çok az önemli	Bir faaliyetin diğerine göre biraz daha fazla tercih edilmesi
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine göre çok daha fazla tercih edilmesi
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine göre çok kuvvetli şekilde tercih edilmesi
9	Mutlak önemli	Bir faaliyetin diğerine göre en yüksek derecede tercih edilmesi
2,4,6,8	Ara değerler	1-3, 3-5, 5-7, 7-9 arası değerlendirmeler

Tablo 4'te verilen 9'lu karşılaştırma ölçeği ile kriterler değerlendirilirken üstünlük dereceleri

belirtilir. Bu karşılaştırma aşağıdaki Tablo 5 ile açıklanabilir:

Tablo 5. İkili karşılaştırma örneği

X	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Y
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabloda karşılaştırılan X ve Y kriterleri, karar verici tarafından eşit derecede önemli görüldü ise 1 değeri işaretlenir. Eğer X kriteri Y' den daha önemli ise sol tarafa artan değerlerden önem derecesi seçilir. Örnekteki gibi 5 derece önemli seçilirse X kriteri Y'den 5 kat önemlidir denilebilir. Buna karşılık Y'de X' in 1/5'i kadar önemlidir.

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra kriterleri ve alternatifleri derecelendirmek için görece önem değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Bunun için birkaç yöntem önerilse de en çok kullanılan ve önerilen yöntem bölmeli iyi yöntemdir. Buna göre matrisin her sütununun ayrı ayrı toplamları alınır ve bu toplam sütun değerlerine tek tek bölünür. Elde edilen yeni matris gerekli olan normalize matrisidir. Bu matrisin her satırının ayrı ayrı ortalaması alınarak görece önem değerleri elde edilir. Toplamı 1'e eşit olan bu değerler kriterler ve alternatiflerin amaçtaki önemini belirtir.

Son aşama ise elde edilen değerlerin gerçeğe uygunluğunun testi açısından tutarlılık analizi yapılmaktadır. Tutarlılık analizi hesaplaması için aşağıdaki formül kullanılır:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Formüldeki CR tutarlılık oranını ifade etmekte olup bu oranın 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. CI değeri tutarlılık indeksini ifade etmekte ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i}$$

Formülde n değeri kriter sayısını ifade etmektedir. i değeri satır, j değeri ise sütun değerlerini ifade etmektedir. λ_{max} elde edilirken: ikili karşılaştırmalar matrisinin satırları ile her değere karşılık gelen görece önem değerleri çarpılır. Elde edilen değerler ağırlıklaştırılmış toplam vektörü olarak isimlendirilir ve tekrar bu değere karşılık gelen görece önem değerlerine bölünür. Son aşamada ise bu değerler eleman

sayısına bölünür ve λ_{\max} olarak sembolize edilen matrisin en büyük öz değerine ulaşılmış olur, CI değeri hesaplanır.

RI olarak sembolize edilen rassallık değeri, farklı boyutlardaki matrisler için oluşturulmuş tablodan yararlanılarak elde edilir. Tablo 6'dan eleman sayısına karşılık gelen değer RI olarak belirlenir.

Tablo 6. Rassal indeks değerleri

Boyut(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,25	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Bu oranın belirlenmesi ile tutarlılık testi yapılır ve oran 0,10'dan küçük ise son aşama olan sentez işlemi ile karar matrisi oluşturulup nihai karar alternatifler arasından belirlenir.

7. Bulgular

Bu çalışmada Barcelona'da hayata geçirilen 22@Barcelona projesi kapsamında akıllı şehir uygulamaları ulaşım dikkate alınarak incelemiştir. Balıkesir'in ilçesi olan Bandırma ölçeğinde ulaşımın mevcut durumu nitel olarak ifade edilmiştir. Projede üretilen ulaşım çözümlerinin ilçede uygulanabilirliğinin

ölçülmesi için ulaşımda kullanılan seçenekler ve bunları oluşturan etkenleri belirleyerek trafiğin durumu iyileştirmek çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla çalışmada bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) kullanılmıştır. Yöntemin temelini oluşturan model kapsamında çalışma amacı Bandırma ilçe içi ulaşım sistemlerinin tercihine etki eden faktörlerin saptanması olarak belirlenmiştir. Amaca etki eden kriterler gerekli literatür taraması yapılarak 9 tane seçilmiş ve Tablo 7'de açıklanmıştır.

Tablo 7. Kriterler

Hız	Tercih edilen ulaşım aracının hızını gösterir.
Zamanında Hareket (Dakiklik)	Ulaşım sisteminin belirlenen tarifelerdeki süreler ile reel sürelerin arasındaki tutarlılığını gösterir.
Erişim	Ulaşım sistemine erişimi gösterir.
Ücret	Ulaşım sisteminden alınan hizmetin maddi karşılığını gösterir.
Çevrenin Korunması (Çevre)	Ulaşım sisteminin çevreye olan duyarlılığı gösterir.
Güvenlik	Ulaşım sisteminin kullanıcı açısından güvenli olup olmadığını, kaza gibi durumlarda risk ve tehlikelerini gösterir.
Konfor	Ulaşım sisteminin kullanıcı açısından konforunu gösterir.
Hizmet Sıklığı (Sıklık)	Ulaşım sisteminin hizmet verme sıklığını gösterir.
Aktarma Alternatifleri/Olanakları	Ulaşım sisteminden diğer seçeneklere transfer olanaklarını gösterir.

Bandırma ilçesi ulaşım sisteminde tercih edilebilecek seçenekler ise aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

Tablo 8. Alternatifler/Seçenekler

Otobüs/Minibüs	İlçe içinde toplu ulaşımda kullanılan Ulaşım AŞ'ye ait otobüsleri ifade eder.
Dolmuş-taksi	İlçe içinde toplu ulaşımda dolmuş/taksi statüsünde hizmet veren araçları ifade eder.
Otomobil	İlçe içinde şahsi araç ile gerçekleştirilen ulaşımı ifade eder.
Motosiklet/Bisiklet	İlçe içi ulaşımın bisiklet ile gerçekleştirilen ulaşımı ifade eder.

Araştırmada karar vericiler olarak Bandırma trafiği konusunda bilgi sahibi ve ulaşım konusunda uzmanlaşmış 4 kişi seçilmiştir. İkili

karşılaştırmalar matrisi sonucu elde edilen değerler Tablo 9 ile ifade edilmiştir.

Tablo 9. Kriterler için ikili karşılaştırmalar matrisi

Kriterler	Hız	Dakiklik	Erişim	Ücret	Çevre	Güvenlik	Konfor	Sıklık	Aktarma Olanığı
Hız	1,00	1,06	0,63	0,47	0,74	0,50	0,90	0,73	0,50
Dakiklik	0,95	1,00	1,50	1,04	1,85	0,41	0,80	0,76	0,76
Erişim	1,59	0,67	1,00	1,00	0,93	0,71	1,14	1,00	0,76
Ücret	2,13	0,96	1,00	1,00	0,80	0,64	0,90	1,19	0,58
Çevre	1,35	0,54	1,07	1,24	1,00	0,90	1,86	0,70	0,95
Güvenlik	2,01	2,45	1,41	1,57	1,11	1,00	1,68	1,57	1,24
Konfor	1,11	1,24	0,88	1,11	0,54	0,59	1,00	1,12	0,76
Sıklık	1,38	1,32	1,00	1,50	1,43	0,64	0,89	1,00	0,71
Aktarma Olanığı	2,01	1,00	1,32	1,73	1,06	0,80	1,32	0,90	1,00
Σ	13,52	10,24	9,81	10,65	9,45	6,19	10,50	8,97	7,25

İkili karşılaştırmalar matrisinin sütun toplamalarının satır elemanlarına bölünüp elde edilen yeni matrisin satır ortalamalarının alınması ile kriterlere ait göreceli önem değerleri bulunmuştur.

Tablo 10. Kriterlerin Göreceli Önem Değerleri

Kriterler	W_i
Hız	0,08
Dakiklik	0,11
Erişim	0,10
Ücret	0,10
Çevre	0,11
Güvenlik	0,16
Konfor	0,10
Sıklık	0,11
Aktarma Olanakları	0,13
Σ	1,00

Göreceli önem değerlerinin bulunmasıyla tutarlılık analizi aşamasına geçilmiştir. Basamakları anlatılan işlemler gerçekleştirilerek tutarlılık oranı 0,07 bulunmuştur. Bu oran sonucun tutarlılığını kanıtlamıştır. Karar için belirlenen alternatifler

tercihe etki eden kriterler ile ikili karşılaştırmaya tabi tutulmuş ve sonuçlar aşağıdaki şekilde bulunmuştur. Söz konusu alternatiflerde A1: Otobüs/Minibüs, A2: Dolmuş-Taksi, A3: Otomobil ve A4: Motosiklet/Bisiklet olarak kodlanmıştır.

Tablo 11. Alternatiflerin kriterler açısından ikili karşılaştırılması

a) Hız bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	0,21	0,18	0,36
A2	4,68	1,00	0,27	0,46
A3	5,48	3,76	1,00	1,04
A4	2,78	2,18	0,96	1,00
Σ	13,94	7,15	2,41	2,86

b) Dakiklik bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	0,56	0,20	0,31
A2	1,78	1,00	0,25	0,30
A3	5,05	4,05	1,00	0,89
A4	3,25	3,36	1,12	1,00
Σ	11,08	8,98	2,57	2,49

c) Erişim bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	0,56	0,21	0,39
A2	1,78	1,00	0,22	0,29
A3	4,86	4,61	1,00	1,15
A4	2,55	3,50	0,87	1,00
Σ	10,19	9,67	2,29	2,83

d) Ücret bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	1,68	4,73	1,07
A2	0,84	1,00	3,00	1,11
A3	0,21	0,33	1,00	0,37
A4	0,93	0,90	2,71	1,00
Σ	2,98	3,92	11,44	3,55

e) Çevre bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	1,63	4,28	0,22
A2	0,61	1,00	3,66	0,23
A3	0,23	0,27	1,00	0,20
A4	4,53	4,43	5,05	1,00
Σ	6,38	7,33	13,99	1,64

f) Güvenlik bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	0,56	0,54	1,57
A2	1,78	1,00	0,76	2,24
A3	1,86	1,32	1,00	1,89
A4	0,64	0,45	0,53	1,00
Σ	5,28	3,33	2,83	6,69

g) Konfor bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	0,32	0,18	1,68
A2	3,13	1,00	0,24	2,45
A3	5,60	3,63	1,00	4,53
A4	0,59	0,41	0,22	1,00
Σ	10,32	5,36	1,64	9,66

h) Sıklık bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	1,50	0,34	1,41
A2	0,67	1,00	0,30	1,62
A3	2,91	3,35	1,00	2,05
A4	0,71	0,62	0,49	1,00
Σ	5,29	6,46	2,13	6,08

i) Aktarma olanağı bakımından karşılaştırma

	A1	A2	A3	A4
A1	1,00	1,57	0,66	1,68
A2	0,64	1,00	0,66	1,68
A3	1,52	1,52	1,00	1,63
A4	0,59	0,59	0,61	1,00
Σ	3,76	4,68	2,93	5,99

Matrislerin normalizasyon işlemi için matrisin sütun toplamları sütundaki değerlere bölünüp elde edilen yeni matrisin satır ortalamaları

alınarak karar alternatifleri için göreceli önem/öncelik değerleri belirlenmiş ve Tablo 12 ile verilmiştir.

Tablo 12. Alternatiflerin kriterlere göre önem değerleri

Kriterler	Hız	Dakiklık	Erişim	Ücret	Çevre	Güvenlik	Konfor	Sıklık	Aktarma Olanakları
Otobüs/Minibüs	0,08	0,09	0,10	0,37	0,23	0,21	0,11	0,20	0,28
Dolmuş-Taksi	0,17	0,12	0,12	0,28	0,15	0,29	0,22	0,17	0,22
Otomobil	0,42	0,41	0,45	0,09	0,06	0,21	0,57	0,47	0,34
Motosiklet/Bisiklet	0,33	0,38	0,34	0,27	0,56	0,19	0,09	0,16	0,17
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Elde edilen matrisin her satırı Tablo 10 ile verilen kriterlerin göreceli önem ağırlıkları ile çarpılarak her alternatif için nihai öncelik değerleri elde edilmiştir.

Tablo 13. Alternatiflerin bütünsel önem değerleri

Alternatifler	W
Otobüs/Minibüs	0,19
Dolmuş-Taksi	0,20
Otomobil	0,34
Motosiklet/Bisiklet	0,27

Tabloya göre karar alternatiflerine ait seçilebilir oranları sırayla otobüs/minibüs için 0,19, dolmuş-taksi için 0,20, otomobil için 0,34 ve motosiklet/bisiklet için 0,27 olarak saptanmıştır. Son aşamada ise kriterler için gerçekleştirilen tutarlılık hesabı karar alternatifleri için de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hız açısından karşılaştırmada 0,09, dakiklik için 0,02, erişim için 0,03, ücret için 0,04, çevre için 0,09, güvenlik için 0,01, konfor için 0,04, sıklık için 0,04 ve aktarma olanağı için 0,02 olarak hesaplanmış ve hepsinin tutarlı olduğu saptanmıştır.

8. Sonuç

Akıllı bir yaşamın temel amaçların biri insan yaşamını daha kolay ve rahat kılmaktır. Akıllı telefonlarla hayatımıza giren bu yeni dönem akıllı eşyalar, akıllı çevre ve sonuç olarak akıllı dünyaya doğru hızla insanları yönlendirmektedir. İnsan yaşamının doğal faaliyeti olan hareketlilik sayesinde akıllı ulaşım bu dünyanın önemli bir bileşeni olmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmada Barcelona’da hayata geçirilen akıllı şehirler projelerinde öncü olmuş ve pek çok ülke tarafından uygulanmaya çalışılmış 22@Barcelona projesi analiz edilmiştir. Proje özellikle ulaşım çözümleri açısından değerlendirilmiş ve benzer çözümlerin uygulanabilmesi için Bandırma ölçeğinde analiz edilmiştir. Bu anlamda öncelikle Bandırma ilçesinin mevcut ulaşımının analizine çalışılmıştır. İlçe içinde kullanılabilir ulaşım alternatifleri arasında en iyi tercihin yapılabilmesi için tercihe etki eden çeşitli kriterler çerçevesinde bir ÇKKV yöntemi olan AHP kullanılmıştır. Yöntem doğrultusunda gerekli literatür taraması yapılarak belirlenen 9 kriter, 4 ulaşım alternatifinin seçimi kararında değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler Bandırma ulaşımı konusunda bilgi sahibi olan 4 uzman kişiye yöneltilen ikili karşılaştırma anketleri ile gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu kriterlerden ulaşım şeklinin belirlenmesinde en büyük öneme sahip olanının 0,16 önem derecesi ile güvenlik olduğu görülmüştür. Bu kriteri sırayla 0,13 ile aktarma alternatifleri, 0,11 ile aynı orana sahip dakiklik, çevre ve sıklık, 0,10 ile aynı orana sahip erişim, ücret, konfor ve son olarak 0,08 ile hız kriteri izlemektedir. Karar vericilere göre ulaşım türüne dair hız beklentisi verilen kararda en düşük etkiye sahiptir. Alternatifler arasında yapılan seçimler değerlendirildiğinde 0,34 ile otomobil seçeneğinin en yüksek orana sahip olarak nihai karar olduğu görülmüştür. Otomobile en yakın orana 0,27 ile motosiklet/bisiklet, 0,20 ile dolmuş-taksi ve 0,19 ile otobüs/minibüs alternatifinin olduğu görülmüştür. Böylece karar noktaları tarafından en az tercih edilen ulaşım türünün otobüs/minibüs olduğu belirlenmiştir.

Bandırma ilçe içi ulaşımında en çok tercih edilen ulaşım aracının otomobil olmasında en çok 0,57 oranla konfor kriteri etkili olmuştur. Bu oranı sırayla sıklık, erişim, hız ve dakiklik kriterleri takip etmektedir. Otobüs/minibüs seçeneği ulaşım türü olarak mali açıdan en karlı olarak seçilmiş ve ücret kriterine bu oran yansımıştır. Akıllı bir ulaşımın bahsedilmesi için insan faydasına ek olarak doğa dostu olabilmesi gerekmektedir. Araştırmada çevrenin korunmasına bakımından en etkili seçimin motosiklet/bisiklet olduğu görülmektedir. Bisikletle ulaşım özellikle sağladığı sağlıklı ve çevreci ulaşımla çoğu ülkece ilk sıralarda kullanılmaktadır. Özellikle Hollanda bu ulaşımın önderliğini yapan Avrupa ülkesidir.

Karar noktaları açısından otomobilin en çok tercih edilmesi şehir içinde daha rahat ve konforlu ulaşım isteğinden kaynaklanmaktadır. Buna karşılık karar vericiler açısından en güvenli ulaşım şekli dolmuş-taksiler olarak saptanmıştır. Ulaşım çözümlerinin odak noktalarından biri de bireylerin toplu ulaşım yolu ile hareketliliğinin sağlanmasıdır. Bu anlamda tercihin şahsi araç/otomobil yönünde olması ilçe içi toplu ulaşım olanaklarının bu sonuca etki eden kriterler çerçevesinde yeniden gözden geçirilmesi zorunluluğunu getirmektedir. Akıllı sinyalizasyon, akıllı durak hizmetleri ve mobil uygulamalar ile ulaşım talebinin bireyler açısından daha konforlu ve

hızlı sağlanması toplu ulaşım cazip hale getirilmesini sağlayan daha rasyonel bir yatırım olacağı görülmektedir. Dünyada Güney Kore, Amerika, Almanya, Japonya gibi devletlerin bu sistemleri hali hazırda kullanıyor olması ve ülkemizde İstanbul başta olmak üzere Ankara, Antalya, Kayseri gibi pilot bölgelerde de benzer uygulamaların olduğu göz ardı edilmemelidir. Mevcut ulaşım alternatiflerine her bölgeye ulaşım sağlayabilen hafif taşıtlı sistem araçları gibi seçenekler mevcut yol ağı açısından değerlendirilebilir. Tüm bu sistemlerinin birbiri ile entegre ve tam zamanlı olarak ilçe ulaşımına kazandırılması adına atılacak adımların ilçenin refah düzeyi bakımından yerinde bir davranış olacağı öngörülmektedir.

Kaynakça

- Alp, Selçuk, ve Taylan Engin.** 2011. “Trafik Kazalarının Nedenleri ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin Topsis ve AHP Yöntemleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi”. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 10(19):63.
- Ankara Büyükşehir Belediyesi.** 2016. “Ankara’nın Çöptü, Başkent’i Aydınlatıyor”.
- Anonim.** 2012. *22@ Barcelona Plan*.
- Antalya Büyükşehir Belediyesi.** 2018. “Türkiye’nin En Büyük Kentsel Dönüşüm Projesi Antalya’ya İyi Geldi”. Ağustos 5.
- Ateş, Mücella, ve Deniz Önder Erinsel.** 2019. “‘ Akıllı Şehir ’ Kavramı ve Dönüşen Anlamı Bağlamında Eleştiriler ”. *Megaron* 14(1):41–50.
- Bandırma Belediyesi.** “Ekonomik Yapı”. (<https://www.bandirma.bel.tr/sayfa/ekonomik-yapi-137>).
- Çelikyay, Hicran Hamza.** 2008. “Teknoloji Girdabından Akıllı Şehre Dönüşüm : İstanbul Örneği”. Ss. 1315–28 içinde *II. Türkiye Lisansüstü Çalışmaları Kongresi- Bildiriler Kitabı V*.
- Collin, Mariana Nascimento, Diana Lopez Caramazana, ve Jean François Habeau.** 2016. “The Impact of Smart Technologies in the Municipal Budget: Increased Revenue and Reduced Expenses for Better Services”. *Uraia Workshop*.
- Cycling Embassy of Denmark.** 2017. Copenhagen City of Cyclists: Facts & Figures: 2017.
- Deloitte.** 2016. Akıllı Şehir Yol Haritası.
- Droege, Peter.** 1997. Intelligent Environments-Spatial Aspect of The Information Revolution. Oxford: Elsevier.
- Ecer, Fatih, ve Orhan Küçük.** 2008. “Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama”. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 11(1):355–69.
- EGO.** 2018. “EGO’ya Avrupa’nın En Çevreci Otobüs Filosu Ödülü Verildi”. *2018b*, Ağustos 4.
- Erkek, Seyida.** 2017. ‘ Akıllı Şehircilik ’ Anlayışı v e Belediyelerin İnovatif Uygulamaları”. *Medeniyet ve Toplum Dergisi* 55–72.
- Gürsoy, Oğuzhan.** 2019. “Akıllı Kent Yaklaşımı ve Türkiye’deki Büyükşehirler için Uygulama İmkanları”. Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Habertürk. 2018c.** “Hartum’un ‘Akıllı Ulaşım Sistemini’ İSBAK Kuracak”. *2018c*, Ağustos 4.
- Habertürk. 2018b.** “İBB’den Süper Proje! İstanbulkart’a Artık Böyle Dolum Yapılabilecek”. *2018b*, Eylül 10.
- Köseoğlu, Özer, ve Yılmaz Demirci.** 2018. “Akıllı Şehirler ve Yerel Sorunların Çözümünde Yenilikçi Teknolojilerin Kullanımı”. *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi* 4(2):40–57.
- Kuruüzüm, Ayşe, ve Nuray Atsan.** 2001. “Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları”. *Akdeniz İ.İ.B.f Dergisi* (1):83–105.
- Lojistik Hattı** “Balo Projesi”. 2012. (<http://www.lojistikhatti.com/haber/2012/10/balo-projesi>).
- Markit, IHS.** 2014. “Smart Cities to Rise Fourfold in Number from 2013 to 2025.” *Retrieved October*.
- Noyons, Ed C. M., ve Clara Calero-Medina.** 2009. “Applying Bibliometric Mapping in A High Level Science Policy Context Mapping The Research Areas of Three Dutch Universities of Technology”. *Budapest Scientometrics* 79(2):261–75.
- Öncü, Erhan, ve Ayşe Öncü.** “Teknolojik Gelişmelerin Ulaşım Sisyemine ve Kentlere Etkileri”.

Pehlivan, Ersoy. 2017. “Katılımcı, Sürdürülebilir Bir Akıllı Şehir Hedefliyoruz”. *Fortune Dergisi*.

Saaty, Thomas L. 1986. “Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process”. *Management Science* 32(7):841–55.

Sınnmaz, Serkan. 2013. “Yeni Gelişen

Planlama Yaklaşımları Çerçevesinde Akıllı Yerleşme Kavramı ve Temel İlkeleri”. *Megaron* 8(2):76–86.

United Cities Local Governments (UCLG). 2012. “Smart Cities Study: International Study on the Situation of ICT, Innovation and Knowledge in Cities. Bilbao.”