






RAYLI SİSTEM TREN EKİPMANLARININ YERLİLEŞTİRME PROBLEMİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ BİR KARAR MODELİ

¹M. Abdullah GENÇER , ²Evrencan ÖZCAN , ³Tamer EREN 

^{1,2,3}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

¹abdullahgencer_71@hotmail.com, ²evrencan.ozcan@kku.edu.tr, ³teren@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 07.12.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 16.09.2020)

ÖZ: 2012 yılında %51'le başlayan yerli ekipman kullanım oranının Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı 11. Kalkınma Planıyla birlikte tüm raylı sistem ekipmanlarında %80 oranına ulaşması hedeflenmektedir. Yerlileştirme çalışmalarında kalkınma hedeflerinin gerçekleşmesinin en önemli adımlarından birisi raylı sistem ekipmanlarının üretimini gerçekleştirebilmek için öncelikli olarak ekipmanların analizinin uygun şekilde yapılmasıdır. Bu çalışma kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olan ekipman önceliklendirilmesiyle ilgili bir yöntem sunmaktadır. Bu çalışmada kent içi ağır raylı sistem araçlarında 28 sistem ekipmanı analiz edilerek raylı sistem araçları için bütün ekipmanlar 15 ana ekipmana ayrılmıştır. Raylı sistemler 15 araç ekipmanı için Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılarak ekipman önceliklendirilmesi yapılmıştır. Kriterlerin belirlenmesinde literatür araştırması ve uzman görüşünden yola çıkılarak 3 ana kriter, 7 alt kriter belirlenmiştir. Kategorize edilen ekipmanlar kriterlere göre ANP ile ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklarla TOPSIS yöntemi kullanılarak ana sistem ekipmanlarının yerlileştirilmesinde kullanılacak öncelik sırası elde edilmiştir. Daha sonra ANP ve TOPSIS sonucu tutarlılık için kıyaslanmıştır. Ekipmanların öncelik sıralarına göre yerlileştirme hedefine ulaşmada iki yöntem için de raylı araçların çalışabilmesi ve işletilebilmesi için temel ekipmanlarından biri olan ve en önemli maliyet kalemlerinden birisini oluşturan Tahrik ve Motor Sistemi öncelikli yerlileştirilmesi gereken ekipman olarak belirlenmiştir. Literatürde sürdürülebilir ulaşım için tren ekipmanlarının yerlileştirilmesinde öncelik sırasının belirlenmesiyle ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın bu alanda yapılacak çalışmalara ve ülkelerin yerlileştirme hedeflerine öncü olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemler, Yerlileştirme, ANP-TOPSIS, Raylı Sistem Ekipmanları

A Multi-Criteria Decision Model for the Localization Problem of the Rail System Train Equipment

ABSTRACT: Starting from %51 in 2012, the use of domestic equipment is expected to reach 80% with the President the Republic of Turkey 11th Development Plan in all the rail system equipment. One of the most important steps in achieving the development goals in localization studies is the proper analysis of the equipment to realize the production of rail system equipment. This study provides a method for equipment prioritization, which is an important step towards achieving development goals. In this study, 28 system equipment is analyzed in urban heavy rail vehicles and all equipment for rail system vehicles is divided into 15 main type of equipment. Equipment prioritization is made for multi-criteria decision-making methods for 15 vehicles equipment. In the determination of the criteria, 3 main criteria and 7 sub-criteria are determined based on the literature research and expert opinion. The categorized equipment is calculated according to criteria by ANP and priority values are obtained. By using the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method with priority values, the priority order to be used in the localization of the main system equipment is obtained. Then, the results of the ANP and TOPSIS is compared for consistency. The Drive and Motor System, which is one of the most important cost items for the operation and operation of rail vehicles for both methods in achieving

the localization goal of the equipment in order of priority, has been determined as the equipment that needs to be localized. There is no study in the literature on determining the priority order for the localization of train equipment for sustainable transport. It is thought that this study will be a pioneer in the studies to be carried out in this field and the targets of the localization of the countries.

Key Words: Rail Systems, Localization, ANP-TOPSIS, Rail System Equipment

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ulaşım sistemleri içerisinde yolcu taşımacılığında trafik ve kaza riskinin az olması, güvenli ve konforlu, kapasitesinin yüksek olması nedeniyle raylı sistem taşımacılığı payı artmakta olan sektördür (Eren ve Gencer, 2016). Raylı sistemler ile dünyada en fazla yolcu taşıyan ülke yıllık 23 milyar yolcu ile Japonya en yüksek paya sahipken bu ülkeyi sırasıyla Hindistan, Almanya, İngiltere, Çin takip etmektedir. Türkiye’de ise yıllık raylı sistem yolcu sayısı yaklaşık 90 milyondur. Şehirler bazında ise Tokyo (%60), Londra (%22), Paris (%25) ve New York (%31) raylı sistem kullanım oranıyla ülkeler arasında başı çekmektedir. Türkiye’de ise bu oran diğer ülkelerle kıyaslandığında çok daha düşüktür. Yalnızca İstanbul bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalarla birlikte dünyadaki raylı sistem kullanım oranını yakalamayı başarmıştır (Demir, 2015). Türkiye’de yaklaşık 12.740 km olan raylı sistem hatları sürdürülebilir ulaşım ve 11.kalkınma planı hedefleri doğrultusunda toplam 25 bin km, kentiçi yaklaşık 200 km olan raylı sistem hatlarının 2023 yılı hedefleriyle birlikte 740 km’ye ulaşması hedeflenmektedir. Böylelikle hedeflenen rakamlara ulaşırsa raylı sistem taşımacılığının ulaşım türleri içerisindeki oranı 2023 yılında %10 olacaktır (Pektaş, 2019).

Dünya raylı sistemler pazarında toplam 176 milyar avro payın %30’unu hızlı trenler, %16’lık payı ise ağır ve hafif raylı sistemler oluşturmaktadır. Toplam pay içerisinde dünya raylı sistemler ihracatı 2018 yılı itibarıyla 40 milyar dolar olmakla birlikte Çin 13 milyar dolarla başı çekmektedir. İthalatta ise Almanya, İngiltere ve ABD en büyük paya sahiptir. Ülkemizin ithalatında %30’ a yakın payla Çin ilk sırada, Çekya yaklaşık %20 pay ile ikinci daha sonra Avusturya, Almanya sırasıyla takip etmektedir (Demir, 2015). Ülkelerin raylı sistem ekipman yerleşirme çalışmasında Türkiye de yer almış, %51 yerli katkıyı ilerleyen süreçte %80 yerli katkıya kadar yükseltmeyi hedeflemiştir (11.Kalkınma Planı, 2018). Raylı sistem araçları içerisindeki pay oranlarında CRRC (China Railway Rolling Stock Corporation) araçlarıyla yıllık geliri yaklaşık 26 milyar avro ile en büyük pay Çinde, 16 milyar avro ile Siemens-Alstom ve Kanada firması olan Bombardier 7 milyar avro ile takip etmektedir (Pektaş, 2017). Yerli katkı oranının artırılmasıyla birlikte katkı oranı kadar parasal tutar Türkiye’de kalacaktır (Pektaş, 2019).

Son yıllarda Türkiye’de önemli raylı sistem projeleri planlanmakta ve planlanmaya devam etmektedir (Baştürk, 2014). 11. Kalkınma planı doğrultusunda raylı sistem hatlarının artırılması, raylı sistem araç ve ekipmanlarının yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Böylece dünyadaki raylı sistem örneklerini yakalama noktasında önemli bir adım atılmıştır. Özellikle nüfustaki sürekli artış yeni projeler ve kentsel altyapı çalışmaları yapmayı zorunlu kılmaktadır. İstanbul, Ankara gibi kentsel raylı sistem ağının fazla olduğu illerde belediye bütçesinin önemli kısmı bu projelere ayrılmaktadır. Raylı sistem projeleri ve yatırımları arttıkça ulaşım ağı çeşitlenmekte ve yeni raylı sistem araçları alınmaktadır. Türkiye’de mevcut raylı sistem araçları 3500 civarında olmakla birlikte projelerin ve çalışmaların artmasıyla, 11. kalkınma planında yer alan yerleşirme hedeflerine ulaşılmasıyla birlikte bu sayı daha da artacaktır. Ayrıca sertifikasyon, belgelendirme ve test süreçlerinin ve raylı sistem ekipmanlarının proje, tasarım ve üretimi de yerli imkanlarla sağlanacaktır. (Pektaş, 2019).

Bu çalışmada 11. Kalkınma planı ve yerleşirme hedefleri doğrultusunda yapılacak çalışmalara yol göstermesi açısından ağır raylı sistem araçlarının ekipmanları ele alınmıştır. Ana ve alt kriterler arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi ve hesaplanmasında kullanışlı yöntem olduğundan ANP (Analitik Ağ Süreci), alternatiflerin önceliklendirme ve sıralanmasında etkili yöntem olup literatürde en çok kullanılan yöntemlerden birisi olduğundan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), yöntem olarak tercih edilmiştir. Yöntemde, ekipmanlar ANP yöntemiyle ana ve alt

kriterlere ayrılarak ikili kıyaslama ile ağırlıklandırılmış ve bu ağırlıklar TOPSIS yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. Tutarlılık için ANP ve TOPSIS yöntemleri kıyaslanmış önceliklendirme sıralamasının tutarlılığı gösterilmiştir. Çalışmanın sonucunda kent içi ağır raylı sistem 28 ekipman türü arasından belirlenen 15 ekipman türü için kriterlere göre hangi ekipmanın yerleştirme açısından önemli olduğu belirlenmiş ve öncelik ekipman öncelik sırası oluşturulmuştur. Tahrik ve Motor Sistemi en öncelikli yerleştirilmesi gereken ekipman olarak belirlenmiştir. Böylelikle bu çalışma, yerleştirme faaliyetinde öncelikli yapılması gereken çalışmaların temel yapısını oluşturmuş ve nasıl yol izleneceğini belirlemiştir. Bu çalışmada giriş bölümünde raylı sistemlerin dünyadaki ve Türkiye'deki durumu, ülkelerin raylı sistemler gelecek hedefleri ve mali değerleri konu edilmiştir. Kullanılan yöntemler bölümünde bu çalışma için kullanılan ANP ve TOPSIS yöntemlerinin içeriğinden bahsedilmiştir. Uygulama bölümünde raylı sistem araçlarındaki ekipmanlar için belirlenen alternatif ve kriterler açıklanmış, ANP ile ağırlıklandırma ve TOPSIS ile önceliklendirme hesaplamaları gösterilmiş, yöntemin sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde bu çalışmanın 11. Kalkınma planına, yerleştirmeye ve sürdürülebilirliğe sosyal ve ekonomik katkısı belirtilmiştir.

Yerleştirme ve millileştirme kavramları ülkemizde özellikle tartışılmaya başlanması çok yeni konudur. Raylı sistemlerin yerleştirme konusunda yerli oranı belirlenmesi hedefi 11. Kalkınma planı ile ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla bu konuda ülkemizde ekipmanların yerleştirilmesiyle ilgili konunun son yıllarda önemine binaen raylı sistemlerde millileştirme çalışmaları az da olsa yer almaya başlamıştır. Raylı sistemlerin ve trenlerin yerleştirilmesi probleminde ele alınacak en önemli konu trenlerin ekipmanlarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla raylı sistemlerde ekipmanların yerleştirme problemi üzerine literatür araştırması neticesinde çok kriterli karar verme yöntemleriyle öncelik sırasının belirlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında olan ANP, TOPSIS, önceliklendirme, sürdürülebilirlik ve yerleştirme ile ilgili farklı sektörlerde farklı yöntemlerle ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Awasthi ve diğ. (2011) sürdürülebilir ulaşım sistemlerinde 3 aşamalı model sunmuşlardır. İlk adımda alternatifler için kriterler belirlenmiş, ikinci aşamada bulanık TOPSIS yöntemiyle sürdürülebilir en iyi alternatif seçimi için puanlama kullanılmış ve üçüncü adımda duyarlılık analiziyle kriterlerin ağırlığının belirlenmesi değerlendirilmiştir. Paasha (2014) 39 yakıt zengini ülkeler için millileştirme ve yasal düzenlemelerle ilgili verileri analiz ederek bayesle ilişkili regresyon yöntemi kullanmıştır. Demir (2015) raylı sistem araçlarında milli marka oluşturma üzerine çalışmıştır. Karadere ve Kantarcı (2015) raylı sistem araçlarında Cer motorlarının dizayn parametrelerini belirleyerek yerli imkanlarla üretilmesini araştırmışlardır. Zaliaeva (2016) Rusya'da Gazprom işletmesinde hem olasılıksal hem de bulanık model kullanarak risk ve değişkenlik varlıklarının millileştirilmesi çalışmasını yapmıştır. Nalcioğlu (2016) çelik sektöründe malzeme tedarikçisinin yerleştirilmesi için yalın altı sigma uygulaması yapmıştır. Krmac ve diğ. (2017) sürdürülebilir demiryolları için incelenen makaleler Temel Performans Temalarının (KPT) değerlendirmelerinde ve etkilerinin sıralamasında Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) ana kriter olarak kullanılarak en önemli Tren Kontrol Bilgi Sistemi (TCIS) konularını belirlemişlerdir. Özcan ve diğ. (2017) ANP-PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yaklaşımı ile CSP teknoloji güneş enerjisi santralleri için seçim yapmışlardır. Özcan ve diğ. (2017) ANP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak yenilenebilir yatırım alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Evelin ve Djordjević (2018) grup analitik hiyerarşik proses yöntemiyle 44 gösterge için sürdürülebilir 2 ana kriter belirleyerek raylı akıllı ulaşım sistemini değerlendirmişlerdir. Özcan ve diğ. (2018) hidroelektrik santrallerin ana sistemlerinin yerleştirilmesi problemi için analitik ağ süreci ile öncelik analizi yapmışlardır. Hamurcu ve Eren (2018) hızlı tren projelerinin önceliklendirilmesinde AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemini kullanmışlardır. Cürebal ve diğ. (2019) ANP ve PROMETHEE yöntemleri ile teknoloji yöneticisi seçim problemini çözümlenmişlerdir. Özcan ve diğ. (2019) hidroelektrik santrallerde bakım optimizasyonu için kritik ekipmanların AHP-TOPSIS yöntemiyle önceliklendirilmesini çalışmışlardır.

KULLANILAN YÖNTEMLER (METHODS)

Çok kriterli karar verme yöntemleri alternatifler arasında sıralama, seçim, sınıflandırma yapmak için belli ölçütler kullanan yöntemdir. Çok kriterli karar verme, karar vericinin belli seçenekler arasından birden fazla kritere göre seçim yapmasına olanak sağlar. Birçok çok kriterli karar verme yöntemi olmakla birlikte bunlar arasından problem tipine en uygun yöntemi belirlemek karar vericiye aittir. Problemi etkileyen çok fazla kriter olabilir ancak burada öncelikli olarak problemi en çok etkiye sahip kriterler olarak indirgemek gerekir. Karar verici en uygun alternatifi belirlediği kriterlerin birbirlerine önem dereceleriyle sıralar ve değerlendirir. Bu değerlendirmede en yüksek puana sahip alternatif seçimimizi oluşturur (Özcan ve diğ., 2017). Yerleştirme çalışmasında Çok kriterli karar verme yöntemlerinden ANP ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, ana ve alt kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alarak analitik hesaplama yapmasından dolayı ANP ve uygulanmasının kolay olması, literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biri olması ve daha etkin sonuçlar vermesinden dolayı TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

ANALİTİK AĞ SÜRECİ (ANALYTICAL NETWORK PROCES)

Analitik Hiyerarşi Süreci gibi Analitik Ağ Süreci de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1980). ANP, AHP yönteminden farklı olarak kriterler arasındaki bağımlılığı ve ilişkiyi de değerlendiren daha genel bir yapıdır. ANP kriterler arasındaki ilişkiyi dikkate aldığından gerçek hayat problemlerinde daha etkilidir. Kriterler ve alt kriterler arasında etkileşim belirlendikten sonra faktör ve küme bağlantıları için etki ağı içermektedir. Sayısal değerlerle ifade edilemeyen ve karmaşık problemlerin çözümünde etkindir. ANP'nin uygulama adımları kısaca aşağıda belirtilmiştir (Özcan ve diğ., 2017).

Adım 1: Problem karar verici tarafından açık ve net bir şekilde tanımlanır ve ağ yapısı oluşturulur.

Adım 2: Kriterler ve alternatifler belirlendikten sonra birbirleri arasındaki etkileşimler ve bağlantılar ifade edilir.

Adım 3: Problem belirlendikten ve ağ yapısı oluşturulduktan sonra karar vericinin tercihlerini ortaya koyan ve önem derecesini gösteren AHP'de olduğu gibi 1-9 skalasını kullanan ikili karşılaştırmalar kriterlerin birbirlerine üstünlük derecesine göre puan verilerek aşağıdaki şekilde yapılır. Örneğin, teknik ana kriterinden ulaşım alt kriteri, aydınlatma ve batarya ekipmanının ulaşımının birbirlerine üstünlüklerine göre eşit derecede önemliyse 1 puanı verilerek uygulanır.

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.

Adım 4: İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı (CR) aşağıdaki formülle hesaplanır ve bu değer 0,1'den küçük olması tutarlı olduğunu Denklem 1'de hesaplamayla göstermektedir. Tutarlı değilse ikili kıyaslamalar tekrar gözden geçirilir. Ağırlık vektörü (W) ve karar matrisi (A) çarpılarak ağırlıklı toplam D vektörü elde edilir. Bu D vektörünün elemanlarının W ağırlık vektörü elemanlarına bölünmesiyle E vektörünün her bir değeri için Denklem 2'e göre $e_1, e_2, e_3, \dots, e_m$ değerleri elde edilir. λ_{\max} buradaki e değerlerinin maksimum değeridir. Tutarlılık indeksinin (CI) formülü Denklem 3'te gösterilmiştir.

$$\text{Tutarlılık oranı (CR)} = \frac{\text{Tutarlılık İndeksi (CI)}}{\text{Rassal Tutarlılık İndeksi (RCI)}} < 0,1 \quad (1)$$

$$A \times W = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} d_1/w_1 \\ d_2/w_2 \\ \vdots \\ d_m/w_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\lambda_{\max} = \max(e_1, e_2, e_3, \dots, e_m) \quad e_1 = \frac{d_1}{w_1}$$

$$\text{Tutarlılık İndeksi (CI)} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (3)$$

L. Saaty tarafından alınan n kriter sayısı olmak üzere rassal alınan örneklemeler (100 den 1000 e kadar değişen) arasından belirlenen hata oranları olarak literatürde Random Consistency Index (RCI) olarak kabul gören değerlerdir (Donegan ve Dodd, 1991). Tutarlılık indeksleri Çizelge 1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Rassal Tutarlılık İndeksleri

Table 1. Random Consistency Indexes

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RCI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

Adım 5: Alternatifler, kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkilerin hesaplamaya dahil edilmesiyle üstünlük vektörlerinden oluşan bir kare matris olan ağırlıklandırılmamış süpermatris oluşturulur. Bu matrisin her bir sütun toplamı 1'e eşitlenerek ağırlıklandırılmış süper matris oluşturulur. Ağırlıklandırılmış süpermatrisin birçok üssü alınarak satırlarındaki değer sabit kalana kadar devam ettirilerek limit süpermatris elde edilir.

Adım 6: Limit süpermatris ile alternatiflere veya karşılaştırılan faktörlere ilişkin ağırlıklar belirlendikten sonra en yüksek ağırlığa sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

TOPSIS (TECHNIQUE FOR ORDER PREFERENCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION)

1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak çözümü seçme hedefli yaklaşımdır (Hwang and Yoon, 1981). Bu yöntem ile alternatif seçeneklerin kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında ideal çözüme uzaklıkları değerlendirilerek sıralandırma yapılır (Uyguntürk ve Korkmaz, 2012). TOPSIS yönteminde karar verici tarafından seçilen alternatif, ideal sonuca en yakın ve negatif-ideal sonuca en uzak olan alternatiftir (Özcan ve diğ., 2017). TOPSIS yöntemi adımları aşağıda gösterilmektedir.

Adım 1: Karar matrisi oluşturulduktan sonra matris normalize edilir. Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme kriterleri yer alır.

Adım 2: Standart karar matrisi, karar matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki Denklem 4 kullanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

a_{ij} = Karar matrisinin elemanı r_{ij} = Standart karar matrisinin elemanları

Adım 3: Değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri belirlendikten sonra her ağırlık değerleri standart karar matrisinin her bir sütunundaki değer ile çarpılarak Ağırlıklı Standart Karar Matrisi oluşturulur.

Adım 4: Ağırlıklandırılmış matriste her bir maksimum ve minimum değerler tespit edilerek İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) çözümü belirlenir.

Adım 5: İdeal noktaların tanımlanmasının ardından maksimum ve minimum ideal noktalara olan uzaklık değerleri aşağıdaki Denklem 5 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5)$$

v_{ij} = Ağırlıklı standart karar matrisi elemanları

v_j^+ = Pozitif ideal çözüm setinde v_{ij} ağırlıklandırılmış değerlerin en büyüğü

v_j^- = Negatif ideal çözüm setinde v_{ij} ağırlıklandırılmış değerlerin en büyüğü

Adım 6: Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması aşağıdaki Denklem 6 yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

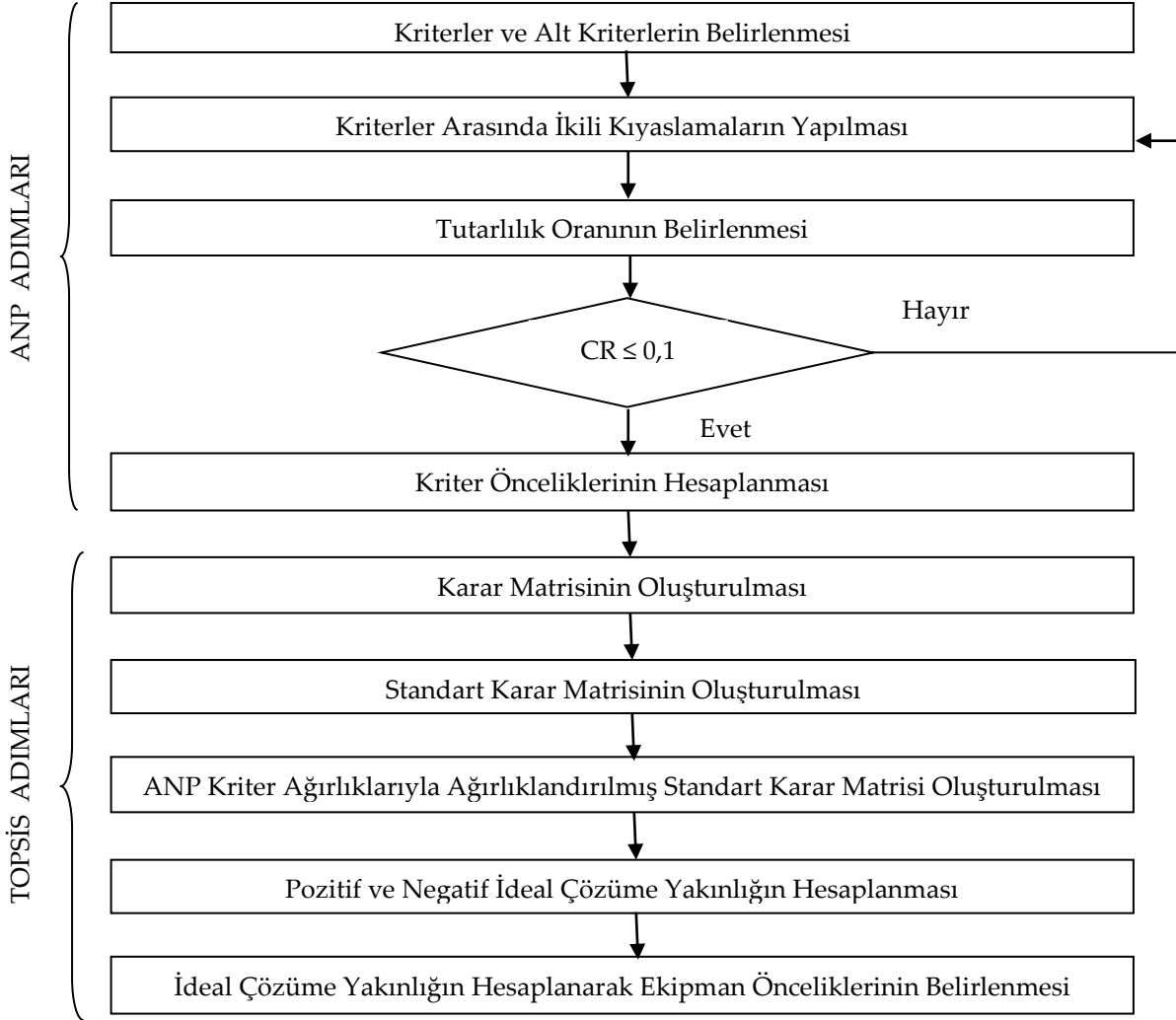
$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Formüldeki C_i^+ değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında değer almaktadır. $C_i^+=1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^-=0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir. Son olarak elde edilen değerler, büyüklük sırasına göre dizilerek karar noktalarının (alternatiflerin) önem sıraları belirlenmektedir.

UYGULAMA (CASE STUDY)

Türkiye’de sürdürülebilir ulaşım ve kalkınma planı hedefleri doğrultusunda Ankara metrosunda bulunan ağır raylı araç ekipmanları analiz edilmiştir. Araçlarda bulunan ekipmanların hepsi yabancı menşeli markadan ya da firmadan tedarik edilmektedir. Son yıllarda Metro filosuna dahil edilen CRRC Çin menşeli araçların yerlilik oranı %20’dir. Yerli pay belirlenmesiyle birlikte ekipman ve yedek parçalarının belli oranı Türkiye’de üretilmeye başlanmıştır. Ego Genel Müdürlüğü 2019 verilerine göre aylık 11-12 milyon yolcunun Ankara’da ağır ve hafif raylı sistemleri kullandığı düşünüldüğünde ekipman kullanımı daha da önem kazanmaktadır (Ego Genel Müdürlüğü, 2019). Ankara metrosunda toplam 55,8 km hat boyunca işletilen 108 tren seti bulunmaktadır. Araç tipine göre ekipmanların sayısı değişmektedir. Genel olarak bakıldığında bütün sistem açısından 28 ekipman bulunmaktadır. Ekipmanların büyük bir kısmı aylık olarak yıpranmadan ya da arızadan kaynaklı değişmektedir. Ancak tren işletmesinin ana kısmını oluşturan bakım için bu ekipman sayısı oldukça fazladır. Dolayısıyla Kalkınma planı, yerleştirme hedefleri ve bakım sistemi göz önünde tutularak 15 ana ekipman

belirlenmiştir. Literatür doğrultusunda raylı sistem işletme, hat ve bakım mühendislerinin uzman görüşleriyle 3 ana 7 alt kriter belirlenmiştir. Uygulamanın aşamaları Şekil 1. de gösterilmektedir.



Şekil 1. Uygulama Aşamaları

Figure 1. Application Steps

Ankara Metro işletmesinde mevcut CRRC (Çin), Bombardier (Kanada) olmak üzere iki araç tipi bulunmaktadır. Bu iki araç tipinin ekipmanlarının büyük çoğunluğu aynıdır ve aynı işlevi görmektedir. Bu çalışma işletmede kullanılan yeni CRRC trenleri üzerine yapıldığından bu tren ekipmanları üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın konusu ekipman listesi Çizelge 2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Ekipman Listesi*Table 2. Equipment List*

Sıra	Ekipman Adı
1	Araç Gövde ve Donanımları
2	Araç İletişim Sistemi
3	Aydınlatma
4	Batarya Sistemi
5	CBTC Sinyalizasyon Sistemi
6	Elektrik Besleme Sistemi
7	Fren Sistemi ve Ekipmanları
8	HVAC Sistemi
9	Kabin Sinyal ve Kumanda Sistemi
10	Kapı Ekipmanları
11	Kollektör Ekipmanları
12	Kuplör Ekipmanları
13	Tahrik ve Motor Sistemi
14	Tekerlek Ekipmanları
15	Yolcu ve Sürücü Koltukları

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ (EVALUATION CRITERIA)

Kalkınma planındaki hedefler temel alınarak raylı sistem ekipman yerleştirilmesi için öncelikle ekipmanların iyi analizi ve önceliklendirilmesi gereklidir. Ankara Metrosunda bulunan 28 ekipman öncelikle analiz edilip uzman kişilere (bakım, işletme ve hat bölümünde çalışan mühendisler) danışılarak literatür incelemesi sonucunda 3 ana ve 7 alt kriter belirlenmiştir. Kriterlerin açıklamaları aşağıda belirtilmiştir.

Çevresel Kriterler (Environmental Criteria)

Raylı sistem araç ekipmanları belgelendirme ve test, diğer ekipmanları etkileme düzeyi, güvenlik ve risk faktörü, teknik detay açısından değerlendirilmiştir. Ekipmanda belgelendirme ve test zorunluluk düzeyine, ekipmanların birbirleriyle etkileşim düzeylerine, ekipmanın güvenlik ve risk faktörü oluşturma düzeyine ve ekipmanın teknik açıdan karmaşıklık düzeyine göre 1 ile 9 arasında önem derecesi skalasıyla kıyaslanmıştır.

Belgelendirme ve Test Gerekliği: Ekipmanlar tedarik edilirken veya edildikten sonra ekipmanların istenilen düzeyde olup olmadığıyla ilgili uluslararası kabul görmüş sertifikalar ya da testler gereklidir.

Diğer Ekipmanları Etkileme Düzeyi: Trenlerde elektrik, elektronik ve mekanik sistemler birbiriyle etkileşimli çalıştığından dolayı bir ekipman diğer ekipmanları etkileyebilmektedir. Bir ekipmandaki arıza, ekipmanın tedariki gibi durumlar diğer ekipmanı da etkileyebilir.

Güvenlik ve Risk Faktörü: Günümüzde iş güvenliğine, olası arıza kaynaklı kaza durumuna önem verilmekte olduğundan trende bu tür kazaya sebebiyet verecek bir ekipman kontrolü işletme, iş ve işçi açısından önemlidir.

Teknik Detay (Karmaşıklık seviyesi): Ekipmanlardan bazılarının tedarik edilmesi veya montajı proje çizimi ya da mühendislik çalışması gibi ayrı bir çalışma gerektirmektedir.

Teknik Kriterler (Technical Criteria)

Ekipmanın yedek parçasının tedariki ya da dış kaynaktan kullanım gereksinimi ve ulaşım durumuna göre 1 ile 9 arasında önem skalasıyla kıyaslama yapılmıştır.

Yedek Parça Tedariği (Dış kaynak kullanım gereksinimi): Bir ekipmanın içeriğinde farklı ekipmanlar olabilmektedir. Dolayısıyla bu ekipmanın temin edilmesi içeriğinde var olan diğer ekipmanların temin edilmesiyle de ilişkidir.

Ulaşım: Her ekipmanın işletmeye, bakım yerine ulaştırılma durumu ekipmanların ağırlıkları, kapladığı alan farklı olduğundan birbirinden farklıdır.

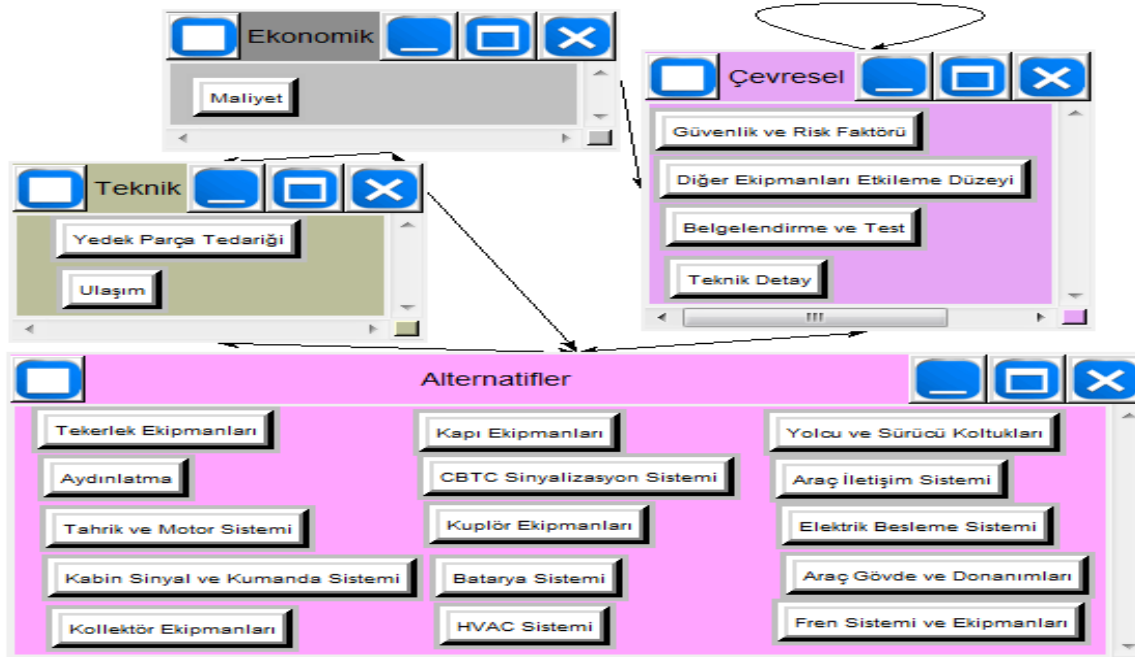
Ekonomik Kriter (Economic Criterion)

Ekipmanların işletme, bakım, işçilik ve stokta bekleme maliyetine göre 1 ile 9 arasında önem derecesi skalasıyla belirlenmiştir.

Maliyet (Sabit ve değişken maliyet): Ekipmanların tedarikine, ekipmanda kullanılan malzemelere, işçilik düzeyine ve stokta bekletilme durumuna göre maliyetleri değişmektedir.

KRİTERLERİN AĞIRLIKLANDIRILMASI (CRITERIA WEIGHTING)

Ekipmanlar teknik ve çevresel ana kriterlere ayrılarak 7 alt kriter belirlenmiştir. Ana kriterlere eşit ağırlık verilmiş, alt kriterler ikili olarak kıyaslanmıştır. Her bir alternatif için ikili karşılaştırma matrisini burada göstermek uzun olacağından (15 alternatifin sadece 7 kritere göre kıyaslanması 7 tane 5x5 boyutunda ikili karşılaştırma matrisi oluşturacağından) verilmemiştir. Ana ve alt kriterlerin de kendi içinde kıyaslaması düşünüldüğünde çok büyük matris boyutları ortaya çıkacaktır. Problemin şebeke yapısı Şekil 2. de gösterilmiş, çözüm için super decision paket programı kullanılmıştır.



Şekil 2. Şebeke Yapısı

Figure 2. Network Structure

ANP'de kriterlerin ağırlıklarına göre önem seviyelerine bakıldığında yedek parça tedariği 0,51152 ağırlıkla en önemli kriter olduğu görülmüştür. Daha sonra önem sırasını ulaşım 0,48848 ağırlıkla ulaşım ve 0,39900 ağırlıkla maliyet kriteri takip etmektedir. Şebeke yapısına göre ikili kıyaslama sonucu elde edilen kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve hesaplama sonucundaki ağırlıklar Çizelge 3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Kriter Ağırlıkları*Table 3. Criteria Weights*

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar
Teknik	Belgelendirme ve Test Gerekliliği	0,18958
	Diğer Ekipmanları Etkileme Düzeyi	0,17856
	Güvenlik ve Risk Faktörü	0,13801
	Teknik Detay	0,09486
Çevresel	Yedek Parça Tedariği	0,51152
	Ulaşım	0,48848
Ekonomik	Maliyet	0,39900

Çizelge 3'te Çevresel ve Ekonomik etkinin daha fazla çıkması ekipmanları oluşturan parçalara ihtiyaç duyulması halinde bunun temin edilmesi ve işletmeye ulaştırılmasıyla ilgilidir. Dolayısıyla yedek parça tedariğinin ve ulaşımın ağırlık değerinin fazla olması bu kriterlerin etki değerlerinin diğerlerinde fazla olduğunu göstermektedir.

EKİPMANLARIN SIRALANMASI (RANKING THE EQUIPMENT)

ANP hesaplaması sonucunda alternatifler arasından Tahrik ve Motor Sistemi 0,17997 ağırlık değeriyle en öncelikli yerleştirilmesi gereken ekipman olarak belirlenmiştir. Tahrik ve Motor Sisteminden sonra Elektrik Besleme Sistemi ekipmanı 0,10481 ağırlık değeriyle öncelikli yerleştirilmesi gereken ikinci ekipman olarak ön plana çıkmıştır.

Çizelge 4'te ANP yöntemine göre Tahrik ve motor sisteminin ilk sırada ve Elektrik besleme ve kuplör sisteminin ikinci sırada olması gerçek hayat problemi olarak düşünüldüğünde mantıklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Tahrik ve motor sistemi tren hareketini sağlayan ana ekipmandır. Bunun karşılığını otobüs veya arabada motor olarak düşünüldüğünde önemi daha net anlaşılacaktır. Otobüste motor olmadan aracın hareket etmesi düşünülemezse tren için de aynı şekilde tahrik ve motor sistemi ana hareketi sağlayan ekipman olduğundan ANP sonucunda ilk sırada çıkmasının makul olduğu görülecektir. Elektrik besleme sistemi ekipmanı ise trenler elektrikle çalışan sistemler olduğundan elektriği aktaran ve dağıtımını sağlayan ekipman olarak düşünüldüğünde ikinci olması makuldür. Trenin hareketi için ana ekipman olan tahrik ve motor sistemine elektriği ulaştırması sadece trenin hareketi için yeterlidir. Kuplör ekipmanı trenlerin birbiriyle elektriksel veya iletişim bağlantısının sağlandığı birçok küçük elektronik bağlantısı bulunan bir ekipmandır. Alternatifler, ANP sonucunda belirlenen ağırlık değerleri ve hesaplanan ağırlıklara göre öncelik sırası Çizelge 4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. ANP ile Öncelik Sıralaması*Table 4. Priority Ranking with ANP*

Alternatifler	Ağırlıklar	Öncelik Sırası
Tahrik ve Motor Sistemi	0.17997	1
Elektrik Besleme Sistemi	0.10481	2
Kuplör Ekipmanları	0.09786	3
Tekerlek Ekipmanları	0.09225	4
CBTC Sinyalizasyon Sistemi	0.09039	5
Fren Sistemi ve Ekipmanları	0.07560	6
Kollektör Ekipmanları	0.06307	7
HVAC Sistemi	0.04967	8
Kapı Ekipmanları	0.04700	9
Araç Gövde ve Donanımları	0.04314	10
Araç İletişim Sistemi	0.04131	11
Batarya Sistemi	0.03864	12
Kabin Sinyal ve Kumanda Sistemi	0.03302	13
Yolcu ve Sürücü Koltukları	0.02795	14
Aydınlatma	0.01530	15

ANP'de belirlenen Çizelge 4.'te gösterilen ağırlıklar TOPSIS yönteminde ağırlıklandırılmış karar matrisinde kullanılmıştır. İdeal ve Negatif İdeal çözüm kümeleri oluşturularak, bu kümelere yakınlıklar belirlenmiştir. TOPSIS yöntemi sonucuna göre ideal çözüme yakınlık ve buna göre ekipmanların öncelik sıralaması Çizelge 5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Alternatiflerin Sıralanması*Table 5. Ranking the Alternatives*

Alternatifler	İdeal Çözüme Yakınlık	Sıralama
Tahrik ve Motor Sistemi	0,935526	1
Tekerlek Ekipmanları	0,540436	2
Kuplör Ekipmanları	0,451110	3
CBTC Sinyalizasyon Sistemi	0,418380	4
Elektrik Besleme Sistemi	0,338343	5
Fren Sistemi ve Ekipmanları	0,337094	6
Kapı Ekipmanları	0,304578	7
Araç Gövde ve Donanımları	0,280944	8
HVAC Sistemi	0,278235	9
Kollektör Ekipmanları	0,205273	10
Kabin Sinyal ve Kumanda Sistemi	0,184678	11
Araç İletişim Sistemi	0,177366	12
Yolcu ve Sürücü Koltukları	0,165773	13
Batarya Sistemi	0,128596	14
Aydınlatma	0,009925	15

ANP yönteminin sonucunda Tahrik ve Motor Sistemi en öncelikli ekipman daha sonra önem derecesine göre sırasıyla tekerlek ekipmanları ve kuplör ekipmanları yerleştirilmesi gereken ekipman olarak belirlenmiştir. TOPSIS yöntemi sonucunda yerleşmesi gereken öncelikli ekipman, ideal uzaklığa

en yakın 0,935526 değeriyle Tahrik ve Motor Sistemi olarak belirlenmiştir. ANP ve TOPSIS yöntemlerinin sonuçları kıyaslandığında benzer önem sıralamasının olduğu görülmüştür. Burada önemli farklılığı oluşturan ekipmanlardan Elektrik besleme sistemi ANP’de 2. öncelikli ekipman sırasında olmasına rağmen TOPSIS’te bu sıraya tekerlek ekipmanları gelmiştir. Çizelge 5’te TOPSIS sonucu olarak tahrik ve motor sisteminin ilk çıkması ANP sıralamasında da açıklanmıştır. Ancak TOPSIS yönteminde ANP den farklı olarak, Çizelge 3’te belirtilen ANP’nin ağırlıkları kullanılarak ideal yakınlık, uzaklık değerlerine göre hesaplama yapılmıştır. Bu yöntemlerin birbirinden farklı hesaplama yöntemi olması; ANP ikili kıyaslama yöntemine göre ağırlıklandırılması, TOPSIS yönteminin ideal yakınlık-uzaklık değerlerine göre sıralama yöntemi ekipman sıralamalarının iki yöntemde birbirinden farklı sonuçlar olmasının ana sebebidir. Literatürde bu tür ikili yöntemlerin sıralamaları kıyaslandığında sıralama sonuçlarının farklılık gösterdiği görülmektedir. TOPSIS ve ANP yöntemlerinin sonuçlarına göre alternatiflerin önem sıralaması Çizelge 6.’da gösterilmiştir.

Çizelge 6. TOPSIS ve ANP Sonuçlarının Kıyaslaması

Table 6. Comparison for TOPSIS and ANP Results

Alternatifler	TOPSIS Ekipman Sıralaması	ANP Ekipman Sıralaması
Araç Gövde ve Donanımları	8	10
Araç İletişim Sistemi	12	11
Aydınlatma	15	15
Batarya Sistemi	14	12
CBTC Sinyalizasyon Sistemi	4	5
Elektrik Besleme Sistemi	5	2
Fren Sistemi ve Ekipmanları	6	6
HVAC Sistemi	9	8
Kabin Sinyal ve Kumanda Sistemi	11	13
Kapı Ekipmanları	7	9
Kollektör Ekipmanları	10	7
Kuplör Ekipmanları	3	3
Tahrik ve Motor Sistemi	1	1
Tekerlek Ekipmanları	2	4
Yolcu ve Sürücü Koltukları	13	14

SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATION)

Türkiye’de sürdürülebilirlik ve 11. Kalkınma planında belirlenen hedefler doğrultusunda raylı sistem araç ve ekipmanlarının yerleştirilmesi sosyal ve ekonomik gelişme açısından önem arz etmektedir. Yerleştirme hedeflerine ulaşabilmek için öncelikle yerleştirilmesi gereken araç ve ekipmanların önem dereceleri belirlenmelidir. Yerleştirmede hangi raylı sistem ekipmanının öncelikli olarak üretileceğini belirlemek ve buna göre yatırımlar yapmak, yapılacak yatırımların atıl kalmamasını ayrı maliyet faktörü oluşturmamasını sağlayacaktır. Ekipmanların öncelik sıralarını belirlemek için kullanılacak birçok yöntem bulunmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri bu tür çoktan seçimli sıranın belirlenmesinde çok fazla kullanılan ve etkin sonuçlar veren yöntemlerden birisi olduğundan tercih edilmiştir. Bu çalışmada, yukarıda belirtilen hedeflere ulaşmak için yapılması gereken temel çalışmalardan birisi olarak ekipmanların yerleştirme sırasına bir çözüm önerisi getirmiştir.

Literatür araştırması ve sektörde aktif olarak devam eden uzman görüşleri neticesinde teknik ve çevresel olarak 3 ana kriter 7 alt kriter belirlenmiştir. ANP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak elde edilen

sonuçlar birbiriyle kıyaslanmış tutarlı sonuç verdiği görülmüştür. Ekipmanların öncelik sıralarına göre yerleştirme hedefine ulaşmada Tahrik ve Motor Sistemi öncelikli yerleştirilmesi gereken ekipman olarak belirlenmiştir. Tahrik ve Motor Sistemi raylı araçların çalışabilmesi ve işletilebilmesi için temel görev ekipmanlarından biridir. Dünyada ve Türkiye’de tarihsel sürece baktığımızda genel olarak ilk üretilen ekipmanlardan birisi Tahrik, Motor ya da Cer sistemidir. Aynı zamanda bakımı ve maliyeti de ciddi bir yük oluşturan Tahrik ve Motor Sistemi ekipmanı bu maliyeti ve yükü ortadan kaldırmada temel önem sırasında başı çekmesinin makul olduğu görülmektedir. Elektrik sistemi ekipmanı ANP’de 2. öncelikli olmasına rağmen TOPSIS’de tekerlek ekipmanları 2. öncelik sırasında yer almıştır. Bu farklılığın ana sebebi kriterlerin ANP ve TOPSIS hesaplama yöntemi farklılığından kaynaklanmaktadır. ANP, kriterler arasındaki ilişkileri ve hiyerarşik yapıyı belirleme ve hesaplamada, TOPSIS ise alternatiflerin ideal çözüme uzaklıklarını, önceliklerini ve sıralamasını belirlemede etkin ve gerçek hayata daha yakın sonuçlar veren yöntemlerdir. Dolayısıyla ANP-TOPSIS yönteminin yerleştirme öncelik sırasının belirlenmesinde ve yerleştirme alternatiflerinin değerlendirilmesinde, analiz edilmesinde yöntem olarak ANP’ye göre daha makul ve tutarlı sonuç verdiği söylenebilir. Teknik olarak değerlendirildiğinde tekerlek ekipmanı elektrik sistemine göre öncelikli yerleştirilmesi gereken ekipman olması daha mantıklı görünmektedir. Tekerlek ekipmanı trenin işletilmesini sağlayan ana ekipmanlardan birisidir. Tekerlek ekipmanı, sürekli işletilmesinden kaynaklı düzenli olarak bakım yapılması ve satın alınması gereken ekipmanlardandır. Tekerlek ekipmanında işletilmesinden kaynaklı belli zaman sonra aşınma oluşmakta ve tolerans değerlerinin dışına çıkmaktadır. Tolerans değerlerinin dışına çıktığında ya aşınmanın mekanik işlemle giderilmesi ya da değişmesi gerekmektedir. Elektrik sistemi ekipmanlarında ise her ne kadar belli aralıklarla kontrolü ve bakımı gerekse bile başka ekipmandan kaynaklı sıra dışı bir arıza olmadığı müddetçe kullanım süresi daha uzun olabilmektedir.

Literatür araştırması neticesinde raylı sistem ekipman önceliklendirilmesi ve yerleştirmeye ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde konuyla ilgili ilk olacak çalışmanın 11.kalkınma hedeflerine, bunla ilgili gelecek çalışmalara ön ayak olacağı ve ekonomik, sosyal, kalkınma ve stratejik planlara konu oluşturacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, Raylı Sistemler 2019 İstatistikleri, <https://www.ego.gov.tr/dosya/indir/18516.pdf>, Ziyaret tarihi: 14 Kasım 2019.
- Awasthi, Anjali, Satyaveer S. Chauhan, and Hichem Omrani., 2011, "Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems.", *Expert systems with Applications* 38.10, 12270-12280.
- Baştürk, G., 2014, "Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması." Ulaştırma Haberleşme Uzmanlığı Tezi.
- Cürebal A., Eren T., Özcan E.C., 2019, "Solutions of technology manager selection problem with ANP and PROMETHEE methods", *International Conference on Data Science, Machine Learning and Statistics – Van*, 26-28 June, 171-173.
- Demir A., 2015, "Raylı sistem araçlarında milli marka oluşturma yaklaşımı", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Donegan, H. A., and F. J. Dodd., 1991, "A note on Saaty's random indexes." *Mathematical and computer modelling* 15.10: 135-137.
- Eren, T., and Gencer, M.A., 2016, "Ankara metrosu M1 (Kızılay-Batıkent) hattı hareket saatlerinin çizelgelenmesi." *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4.2.
- Evelin K., Djordjević B., 2018, "An Evaluation of Indicators of Railway Intelligent Transportation Systems using the Group Analytic Hierarchy Process.", *Electronics Science Technology and Application* 4.2.

- Hamurcu M., Eren T., 2018, "Prioritization of high-speed rail projects.", *International Advanced Researches and Engineering Journal* 2.2, 98-103.
- Hwang, C. L., and Yoon, K. S., 1981, "Multiple attribute decision making: Methods and applications", New York: Springer-Verlag.
- Karadere M., Kantarcı M., 2015, "Raylı Sistem Araçları Cer Motorlarının Dizayn Parametrelerinin Belirlenmesi Ve Yerli İmalat İmkanlarının Araştırılması", Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu.
- Krmaç, Evelin, and Boban Djordjević., 2017, "An evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model.", *European Transport Research Review* 9.3, 35.
- Nalcioğlu H., 2016, "Lean Six Sigma Based Methodology For The Localization Of Material Supply: An Application In Steel Industry", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Özcan, E.C., Avşar Özcan N., Eren T., 2017, "Selection of the solar power plants with CSP technologies by combined ANP-PROMETHEE approach", *Başkent University Journal of Commercial Sciences*, 1(1), 18-44.
- Özcan E.C., Danışan T., Eren T., 2019, "Hidroelektrik santralların en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi.", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 25.4, 498-506.
- Özcan, E.C., Demirelli B., Özder E.H., Eren, T., 2018, "Hidroelektrik santrallarda ana sistemlerin yerleştirilmesi problemi için analitik ağ süreci ile öncelik analizi", *Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, Kırıkkale ve İstanbul Kültür Üniversitesi, Ürgüp, Nevşehir*, 5-8 Temmuz, 680-683.
- Özcan E.C., Ünlüsoy S., Eren T., 2017, "ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5.2, 204-219.
- Paasha M., 2014, "Extortion in the oil states: Nationalization, regulatory structure, and corruption.", UCLA manuscript.
- Pektaş İ., 2019, "Raylı Ulaşım Sistemleri Sektör Analizi", Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi (ARUS), <https://www.anadoluraylisistemler.org/content/upload/document-files/rayli-sistemler-sektor-an-20190722120532.pdf>, Ziyaret Tarihi: 17.09.2020
- Pektaş, İlhami, Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi, 2017, "Raylı Ulaşım Sistemleri Sektör Analizi 2017."
- Saaty, T. L., 1980, "The Analytic Hierarchy Process", USA: Mcgraw-Hill International Book Company.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019-2023 11.Kalkınma planı, <http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>, Ziyaret tarihi: 8 Ekim 2019.
- Uyguntürk, H., Korkmaz, T., 2012, "Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Belirlenmesi: Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(2), 95-115.
- Zaliaeva, A. F., 2016, "Nationalization of key production assets of core Russian industries as a fuzzy-logic scientific task.", 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), IEEE.