

KENT İÇİ RAYLI ULAŞIM PERFORMANSINI DEĞERLENDİRMEDE SWARA ve ARAS YÖNTEMLERİ İLE BİR MODEL ÖNERİSİ

Ramazan ERTURGUT¹, Nesrin KOÇ USTALI²

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, kent içi raylı ulaşım performansını değerlendirmek için iki aşamalı bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi kullanarak bir model oluşturmayı amaçlamaktadır.

Yöntem: Çalışma kapsamında Ankara Elektrik, Havagazı ve Otobüs İşletme Müessesesi'nde (EGO Genel Müdürlüğü) işletilen raylı sistem hatları, SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis) ve ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemleriyle değerlendirilmiştir. SWARA yöntemi ile değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıkları belirlenmiş, ARAS yöntemi ile raylı sistem hatlarının performans değerleri hesaplanmıştır.

Bulgular: Çalışmada elde edilen sonuçlara göre değerlendirme kriterleri arasında en önemli kriterin maksimum yolcu kapasitesi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca alternatifler performanslarına göre en yüksekte en düşüğe doğru sırasıyla; Batıkent-Sincan/Töreke, Çayyolu-Kızılay, Batıkent-Kızılay, Keçiören-Atatürk Kültür Merkezi ve Aşti-Dikimevi olarak bulunmuştur.

Özgünlük: Literatürde kent içi raylı ulaşım sistemi performans ve verimlilik ölçümü konusunda iki aşamalı bir yöntem olarak SWARA ve ARAS yöntemlerinin kullanılmadığı görülmüştür. Bununla birlikte çalışmanın diğer kent içi ulaşım sistemleri için de uygulanabilir olduğu ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kent İçi Raylı Ulaşım, ÇKKV, SWARA Yöntemi, ARAS Yöntemi.

A MODEL PROPOSAL with SWARA and ARAS METHODS in EVALUATING the URBAN RAIL TRANSPORT PERFORMANCE

ABSTRACT

Purpose: This study aims to create a model using a two-stage Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method to evaluate urban rail transport performance.

Methodology: Within the scope of the study, the rail system lines operated in Ankara Electricity, Gas and Bus Operation Institution (EGO General Directorate) were evaluated by SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) and ARAS (Additive Ratio Assessment) methods, which are MCDM methods. The importance weights of the evaluation criteria were determined using SWARA method and the performance values of the rail system lines were calculated using ARAS method.

Findings: According to the results of the study, it has been determined that the most important criteria is the maximum passenger capacity. Besides, alternatives are respectively from the highest to the lowest according to their performance; it has been found as Batıkent-Sincan/Töreke, Çayyolu-Kızılay, Batıkent-Kızılay, Keçiören-Atatürk Cultural Center and Aşti-Dikimevi.

Originality: In the literature, it has been seen that SWARA and ARAS methods are not used as a two-stage method in the measurement of urban rail transportation system performance and productivity. Moreover, it is believed that the study applies to other urban transportation systems and will contribute to the literature.

Keywords: Urban Rail Transport, MCDM, SWARA Method, ARAS Method.

¹ Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, rerturgut@akdeniz.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0240-578

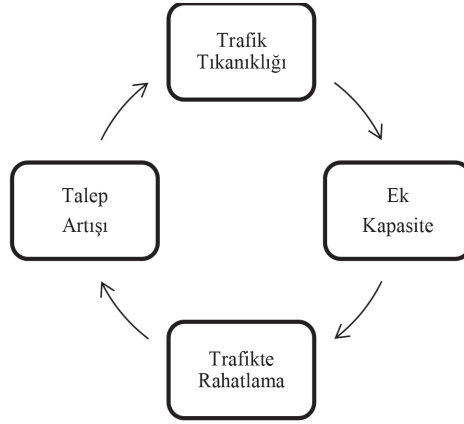
² Arş. Gör., Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, nesrinkoc@akdeniz.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4217-4212 (Sorumlu Yazar-Corresponding Author)

1. GİRİŞ

Dünya genelinde kişisel, ekonomik, sosyal ve diğer çeşitli nedenlerle kırsal alanlardan kentlere doğru sürekli bir nüfus akışı yaşanmaktadır. Bu akış, kentlerdeki nüfusu artırmakta ve nüfus yoğunluğunu yükseltmektedir. Birleşmiş Milletler verilerine göre 1950'lerde hız kazanan ve yaklaşık olarak %30 olan kentli nüfus oranı, 1970'te %37'ye, 1990'da %43'e, 2000'de %47'ye, 2010'da %52'ye yükselmiştir (United Nations, 2014: 33). 2020 yılında ise bu oran %56 olarak gerçekleşmiştir (Statista, 2021). Bunun yanı sıra oranın 2030'da %60 (United Nations, 2014: 33) ve 2050'de %70 olacağı tahmin edilmektedir (Statista, 2021). Günümüzde nüfusu 83 milyonu geçen Türkiye'de ise kentsel nüfus oranı, 2018'de %92,3 iken 2019'da %92,8'e yükselmiştir (TÜİK, 2020). 2020 yılında ise oran %93 olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2021). Kentsel nüfus oranında meydana gelen bu hızlı büyüme beraberinde sosyal ve ekonomik eylemlere bağlı bireysel günlük yolculuk oranlarında artışı da getirmiştir. Dolayısıyla kent içi ulaşım, zamanla mesafelerinin de artmasıyla yaya yolculuğundan motorlu taşıtlar yolculuğuna dönüşmüştür (DPT, 1995). Kentler ve metropol alanlar, insanların ve eşyaların verimli ve rahat bir şekilde taşınmasını gerektiren çeşitli faaliyetlerin merkezleridir (Vuchic, 1987). Bu nedenle ulaşım, çeşitli faaliyetler, ekonomik canlılık, sosyal ve çevresel açıdan sağlıklı koşullar sağlayan tüm kentlerin temel bir hizmetini ve önemli bir ögesini temsil etmekte bununla birlikte kentler için can damarı niteliğini taşımaktadır (Vuchic, 1987). Dinç ve diğerlerine (2018) göre kent içi ulaşım, kentte yaşayan nüfusun günlük hayatıyla doğrudan ilişkili ve iç içedir (Dinç ve diğerleri, 2018).

Dünyada kent içi ulaşım, 1950'lerden sonra motorlu taşıt kullanımının artmasına bağlı olarak önemli hale gelmeye başlamıştır. Ancak kent içi araç sayısının artmasına rağmen karayolu uzunluğunun aynı hızda artış gösterememesi kent içinde trafik sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Ocak ve Manisalı, 2006). Bu sorunları ortadan kaldırmak için zamanla birtakım düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler çerçevesinde dünyada kent içi ulaşımın tarihi gelişimine bakıldığında, geleneksel ve çağdaş yaklaşımların uygulandığı dönemler olarak iki farklı dönemin olduğu görülmektedir (Elker, 1999: 178; Çubuk ve Türkmen, 2003; Ocak ve Manisalı, 2006).

Geleneksel yaklaşımlar, 1950-1970 yılları arasında uygulanmıştır. 1950'li yıllar taşıt öncelikli dönemi ifade etmektedir. Bu dönemde özel araç sayısında çok yüksek oranda bir artış meydana geldiği ve bunun toplu taşıma araçlarının neredeyse kullanımdan kaldırılmasına sebep olduğu belirtilmektedir. Bu artış aynı zamanda kent merkezlerinde trafik sorunlarını da beraberinde getirmiştir (Çubuk ve Türkmen, 2003). 1960'lı yıllar ise ulaşım planlaması dönemi olarak ele alınmaktadır. Bu dönemde teknolojik gelişmeler sayesinde trafik sorunlarının çözüleceği düşünülmüştür. Ancak bu düşünce, ulaşım planlamalarını olumsuz yönde etkilemiştir (Çubuk ve Türkmen, 2003). Sorunlar, sadece trafik sıkışıklığı olarak algılanmış ve çözüm yeni yollar yapmakta bulunmuştur. Bu ise daha çok özel araç kullanımına yol açarak tekrar trafik sıkışıklığına sebep olmuştur. Bu durum Şekil 1'de gösterilen kısır bir döngünün oluşmasına yol açmıştır (Elker, 1999: 179). 1962 yılında ilk kez Buchanan tarafından özel araçların ulaşım için pahalı ve sorunlu olduğu bu nedenle 100 binin üzerinde nüfusa sahip kentlerde farklı ulaşım sistemlerine ihtiyaç duyulduğu ve bu yönde çalışmalar yapılması gerektiği açıklanmıştır (Ocak ve Manisalı, 2006). Ancak geleneksel yaklaşımların uygulandığı bu dönemde, trafik sorunlarının otomobil ve teknoloji odaklı çözülebileceği inancı devam etmiştir. Nihayetinde var olan sorunlara çözüm üretmek bir yana gürültü, hava kirliliği, verimsiz yol kullanımı, otoparklar ve kent doğasını bozan yapılar gibi başka sorunlar da ortaya çıkmıştır (Elker, 1999: 179).



Şekil 1. Geleneksel ulaşım yaklaşımında kısır döngü

Kaynak: Elker (1999: 179).

Çağdaş yaklaşımlar, 1970'li yıllar ve sonrası uygulanan düzenlemeleri ifade etmektedir. Bu dönemde 1970'li yıllar insan öncelikli dönem olarak adlandırılmış ve taşıt yerine insan odaklı planlar yapılmıştır. Diğer bir ifadeyle talebe yönelik çözüm politikaları geliştirilmiştir (Elker, 1999: 179). Bunun yanı sıra teknoloji ile mevcut sorunlara çözüm üretilemeyeceği anlaşılmıştır. Böylece toplu taşıma araçları tekrar gündeme gelmiştir. Ayrıca 1973-1974 yıllarında ortaya çıkan petrol krizi, özel araç kullanmanın maliyetini artırmış, insanları toplu taşıma aracı kullanmaya teşvik etmiştir. 1980'lerden sonra ise toplu taşıma sistemleri önemini daha iyi anlaşılması ile taşıt talebine yönelik uygulamalar geliştirilmeye çalışılmıştır. Buna göre kentlerde yüksek kapasiteli, güvenilir ve entegre toplu taşıma sistemleri oluşturulmaya başlanmıştır (Çubuk ve Türkmen, 2003). Ulaşım sorunlarının çözümü için geleneksel ve çağdaş yaklaşımlar ile ortaya konan çözüm önerileri arasındaki farklılıklar zamanla yeni yöntemlerin geliştirilmesini sağlamıştır (Elker, 1999: 180). Bu iki yaklaşımın özellikleri Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Geleneksel ve çağdaş yaklaşımların özellikleri

Geleneksel Yaklaşımlar	Çağdaş Yaklaşımlar
Ulaşım arzının planlanması	Talebin yönlendirilmesi
Taşıtlara öncelik	İnsanlara öncelik
Ek kapasite yaratma	Mevcut altyapıyı verimli kullanma
Yolculukların türlere mevcut dağılımı veri olarak alınıyor	Yolculuklar daha yüksek kapasiteli ve daha dolu taşıtlara kaydırılıyor
Otomobil kullanıcılarının sorunlarına yönelik	Toplumun çeşitli kesimlerinin ihtiyaçlarını dengeleyici
Sermaye yoğun yatırımlar	Küçük ve gerçekleştirilebilir yatırımlar
Geri dönülmez kararlar	Esnek kararlar
Fiziksel çözüm ağırlıklı	Yönelimsel, yasal ve ekonomik çözümler
İnşaata yönelik	Çevreye duyarlı

Kaynak: Elker (1999: 180).

Kent içi ulaşımın bu evrimi ile kentlerde farklı ulaşım türleri kullanma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu ulaşım türleri, çalışma ve kullanım şekillerine göre aşağıda belirtildiği gibi üç kategoride ele alınmaktadır (Vuchic, 1987):

- Özel Ulaşım: Bisiklet ve özel arabalar gibi genellikle kamuya açık sokaklarda olmak üzere, mal sahipleri tarafından kişisel kullanımları için işletilen özel araçlardan oluşmaktadır.
- Paratransit veya Kiralık Ulaşım: Taksiler gibi operatörler tarafından sağlanan ve bunları bireysel veya çoklu yolculuklar için kiralaayan taraflara sunulan ulaşımı ifade etmektedir.

- Toplu Taşıma: Belirlenen ücreti ödeyen herkes tarafından kullanılabilen ve kamu ve özel kuruluşlar tarafından sağlanan sistemleri içermektedir. Sabit rotalarda ve sabit tarifelerle çalışan bu türler otobüs, hafif raylı ulaşım, metro, bölgesel demiryolu ve diğer birçok sistemi bünyesinde barındırmaktadır.

Bu türler içinden toplu taşıma, kentsel trafik sıklığını azaltmak için en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Chu ve diğerleri, 2016; Zhang ve diğerleri, 2016). Toplu taşıma, yüksek kapasiteli, daha ekonomik ve enerji tasarruflu oldukları için otobüs, raylı ve metro gibi türlerin kullanılmasını mümkün ve gerekli kılmaktadır (Vuchic, 1987). Bununla birlikte genel toplu taşıma türleri arasında, yüksek hız ve kapasitesi nedeniyle raylı ulaşım daha fazla tercih edilmektedir. Günümüzde, dünyadaki neredeyse tüm metropollerde raylı ulaşım uygulanmakta ve kullanıcıların seyahatlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Chu ve diğerleri, 2016). Min ve diğerleri tarafından 2018'de yapılan bir çalışmada raylı ulaşımın, metropollerin yanı sıra orta ölçekli kentlerde de güvenlik, dakiklik, çevreyi koruma, enerji tasarrufu gibi avantajları ile kentsel trafik sorunlarını çözmenin ana yolu haline geldiği belirtilmiştir (Min ve diğerleri, 2018). Ayrıca raylı ulaşımın, kentsel formu etkileme ve kentin yaşanabilirliğine katkıda bulunma konusunda oldukça büyük bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir (Vuchic, 1987). Ancak yatırım maliyeti açısından bakıldığında diğer toplu taşıma türlerine göre daha yüksek bir maliyete sahip olduğu belirtilmektedir (Masoumi ve Öcalır-Akünel, 2018). Dolayısıyla hem metropoller hem de orta ölçekli kentler için bu kadar önemli bir yere sahip olan raylı ulaşım sistemlerinin verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını tespit etmek ve daha verimli kullanılabilmesini sağlamak oldukça önemli bir konudur. Bu konu çalışmanın ana motivasyon kaynağını oluşturmaktadır.

Bu çalışma, kent içi raylı ulaşım performansını değerlendirmek için iki aşamalı bir ÇKKV yöntemi kullanarak bir model oluşturmayı amaçlamaktadır. Genel olarak ÇKKV yöntemleri, çok sayıda kriteri aynı anda göz önüne alarak önceden belirlenmiş olan alternatiflerin sıralanması için kullanılmaktadır (Türkoğlu, 2019). Çalışmada oluşturulmak istenen model için ÇKKV yöntemlerinden SWARA ve ARAS yöntemleri kullanılmış ve EGO Genel Müdürlüğünde işletilen raylı sistem hatları üzerinde bir uygulama ile test edilmiştir. SWARA yöntemi çalıştırılması oldukça kolay ve kriterin önem derecelerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Wen ve diğerleri, 2019). ARAS yöntemi ise alternatiflerin performansını ideal alternatifin performansına göre göreceli olarak belirlemeye yardımcı olmaktadır (Yıldırım ve diğerleri, 2019). Bu nedenle kullanılan yöntemlerin çalışmanın amacına en uygun yöntemler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca SWARA ve ARAS yöntemlerini iki aşamalı bir şekilde kullanarak kent içi raylı ulaşım performansını incelemeye yönelik daha önce yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamış olması bu çalışmanın özgün tarafını oluşturmaktadır. Uygulama sonuçlarına göre modelin diğer kent içi ulaşım türlerinde de uygulanabilir olduğu ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünü oluşturan giriş bölümünün ardından ikinci bölümde, kent içi raylı ulaşımı konu alan çalışmalar incelenmiş ve özetlenerek sunulmuştur. Çalışmanın üçüncü bölümünde, uygulamada kullanılan yöntemler tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, kent içi ulaşımında kullanılan raylı ulaşım sistemi performansını değerlendirmek için önerilen iki aşamalı ÇKKV yöntemi ile EGO Genel Müdürlüğü'nde işletilen raylı sistem hatlarına ait veriler kullanılarak bir uygulama yapılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen bulgular yorumlanmış, daha önce yapılmış olan çalışmalar ile olan benzerlik ve farklılıklar tartışılmış, çalışmanın sınırlılıklarına değinilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, Google Akademik ve Web of Science veri tabanları kullanılarak kent içi raylı ulaşımı konu alan çalışmalara ulaşılmış ve çalışmalar, uygulama bölümünde kriterlerin belirlenmesine de altyapı oluşturacak şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalar, amaçlarına göre genel itibarıyla altı başlık altında toplanmıştır. İncelenen çalışmalara ilişkin özet bilgiler Çizelge 2'de gösterilmiş ve izleyen kısımlarda detaylı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 2. Literatür özeti

Sıra	Amaç	Yazarlar
1	Raylı sistem proje tasarımı, yazılımı ve model geliştirme	Morison ve diğerleri (2005), Ding ve diğerleri (2011), Dong ve diğerleri (2013), Su ve diğerleri (2013), Feng ve diğerleri (2014), Zhang ve diğerleri (2014), Doğan ve Kablan (2016), Xiao ve diğerleri (2017), Min ve diğerleri (2018), Şeremet ve diğerleri (2018), Alade ve diğerleri (2019), Burkucu ve diğerleri (2020), Han ve diğerleri (2020), Mottee ve diğerleri (2020)
2	Raylı ulaşım projelerini karşılaştırma, sorunlarını değerlendirme ve iyileştirme önerileri sunma	Li ve diğerleri (2008), Chang (2012), Jing (2012), Liu ve Wang (2016), Şimit ve diğerleri (2017), Önder ve Akdemir (2019)
3	Raylı ulaşım sistemlerinin çeşitli faktörler ile ilişkisini belirleme	Graham ve diğerleri (2003), Mayer ve Trevien (2017), Dudkin ve diğerleri (2017), Kwan ve diğerleri (2018), Zhao ve Li (2019), Wang ve Zacharias (2020)
4	Raylı sistem alanı belirleme, araç seçimi ve çizelgeleme	Akman ve Alkan (2016), Chu ve diğerleri (2016), Lin ve diğerleri (2016)
5	Raylı sistem yatırımlarını ve bu yatırımları etkileyen faktörleri değerlendirme	Düzkaya ve diğerleri (2018), Gulhan, (2018), Kutlu ve diğerleri (2019)
6	Performans değerlendirme	Masoumi ve Öcalır-Akünel (2018)

Raylı sistem proje tasarımı, yazılımı ve model geliştirme amacıyla yapılan çalışmaların temel bulguları aşağıda özetlenmiştir:

Morison ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada, raylı ulaşım sistemin doğal rezonansına yaklaşan ve üzerinde yer alan frekansların eylemsizlik kuvvetini düzeltmek için Pandrol Vanguard tekniği önerilmiştir. Çalışma sonucunda, ön testlerde geçerli ölçümlere ait frekans aralığının üç katına çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca bu durumun daha sert sistemlere uygulandığında veya test ekipmanında daha fazla iyileştirme yapıldığında geliştirilebilen bir sonuç olduğu ifade edilmiştir.

Ding ve diğerleri (2011) tarafından yapılan çalışmada, MAS tabanlı bir yolcu tahmin sistemi tasarlanmıştır. Çalışma sonucuna göre tasarımın trafik üretim ve değişken nüfusa dayalı trafik oluşturma tahmini için oldukça kullanışlı olduğu belirtilmiştir.

Dong ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada, kentsel raylı ulaşım sistemlerinin acil durum müdahalesi için yapay sistemler kullanılarak bir kontrol ve yönetim mekanizması önerilmiştir. Çalışma sonucunda, yapay sistemin belirli bir kazanın sonucu için doğru ve yol gösterici bilgiler sağlayabileceği belirtilmiştir. Buna ek olarak oluşturulan yapay sistemle acil durum müdahalesini hızlı, kolay ve verimli hale getirilebileceği ifade edilmiştir.

Su ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada OS Unix, Linux ve Windows şehir içi demiryolu taşımacılığı entegre denetim kontrol sistemleri güvenilirlik, kullanım kolaylığı ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma Çin'in Shenzhen kent metrosu 3. hattı örnek kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda, mevcut durumda Unix ve Windows tabanlı olarak devam edilip kademeli olarak Windows kontrol sistemine geçmenin faydalı olacağı belirtilmiştir.

Feng ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada, bir şehir tren istasyonunun yolcu transfer verimliliğini artırmak için yeni bir entegre optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Modelle transfer optimizasyonunun etkisini doğrulamak için Pekin'deki temsili bir kentsel demiryolu transfer istasyonu incelenmiştir. Çalışma sonucunda, karşılaştırmalı simülasyonların, önerilen modelin bir istasyondaki her transferin bekleme süresini etkili bir şekilde azalttığı belirtilmiştir.

Zhang ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada, kent içi raylı ulaşımın enerji verimliliği incelenmiştir. Çalışmada bir metro treninin hedef hızı ve oluşumu ile çekiş enerji maliyeti yoğunluğu ve yolcu taşımacılığı

arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, hattın niteliği dikkate alınarak hedef hızın belirlenmesi gerektiği ve trenlerin oluşum ölçeğinin de yolcu hacmine göre belirlenebileceği ifade edilmiştir.

Doğan ve Kablan (2016) tarafından yapılan çalışmada, Kırıkkale’de kent içi toplu ulaşım sistemi olarak Kaleray hattının projelendirmesine, maliyet analizine ve işletilmesine yönelik incelemeler yapılmıştır. Ayrıca son beş yıl içindeki nüfus artışı ve trafik yoğunluğu dikkate alınarak Kaleray proje tasarımı yapılmıştır. Çalışma sonucunda, proje yapım maliyetlerinin üç yıl sonra geri kazanılabileceği belirtilmiştir.

Xiao ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada, Çin’de kent içi demiryolunda sıklıkla görülen bağlantı elemanları kırıklarını tespit etmek ve bunlara ilişkin etkili onarım yöntemleri sunmak için bir model önerilmiştir. Modelde ABAQUS sonlu eleman yazılımı kullanılmıştır. Modelde bağlantı elemanlarının bileşenleri arasındaki etkileşimi ele almak için statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Statik analiz sonucunda mantıksız kurulumun, kırılmaya yol açan ana nedenlerden biri olduğunu; dinamik analiz sonucunda ise demiryolu oyuklarının neden olduğu rezonansın kırılmaya yol açtığı belirtilmiştir.

Min ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada, ETAP tabanlı Nanning Line 1 kentsel demiryolu transit güç kaynağı sisteminin simülasyon modeli oluşturulmuş ve Nanning kentsel demiryolu transit yükünün bölgedeki kamu dağıtım güç ağı üzerindeki harmonik etkisi analiz edilmiştir. Araştırmada normal çalışma, gece bakım ve trafiğin yoğun olduğu şeklinde üç farklı zaman periyodunun etkisi dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, normal çalışma periyodunun toplam harmonik bozulmasının gece bakım periyodundan daha yüksek olduğu ve üç zaman periyodunda da demiryolu transit yüklerinin Nanning bölgesi kamu dağıtım güç ağının harmonikleri üzerindeki etkisini artırdığı belirtilmiştir.

Şeremet ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada, bir demiryolu depo sahasındaki trenler için güzergah seçiminde yardımcı olacak bir kumanda merkezi yazılımı geliştirilmiştir. Bunun için enerji tasarrufu ve makas eş-yaşlandırma kriterleri kullanılmıştır. Her iki kriterin ayrı ayrı ve birlikte kullanıldığı üç farklı senaryo için Nesne Tabanlı Programlama ile algoritma oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre önerilen yazılımın rastgele güzergah tanzimine göre enerji tasarrufu sağladığı ve maliyetleri düşürdüğü belirtilmiştir.

Alade ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmada, Addis-Ababa kenti hafif raylı taşımacılığı emme kapasitesi ve çok aktörlü etkileşim süreçlerinin kentsel demiryolu taşımacılığına faydası incelenmiştir. Çalışma sonucunda, çok aktörlü etkileşimler sırasında paydaş diyalog süreçlerinin kullanılmasının Addis-Ababa hafif raylı taşımacılığın finans, insan ve zaman kaynakları üzerinde yüksek oranda tasarruf sağladığı belirtilmiştir.

Burkucu ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, raylı sistem araçlarında rejeneratif frenlemenin verimi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, araç 80 km/sa hızdan 30 km/sa hıza düşerken elde edilen rejeneratif enerji veriminin %24,26 olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın ise enerji verimliliği açısından yeterli seviyede olduğu belirtilmiştir.

Han ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, demiryolu taşımacılığı için bir rüzgar riski uyarı modeli tasarlanmıştır. Model Şanghay metro hattında test edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre önerilen modelin demiryolu aracı işletme güvenliği için oldukça gelişmiş bir uyarı sistemi sunduğu belirtilmiştir.

Mottee ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, Çevresel ve Sosyal Etki Değerlendirmesi ve takibinin uygulanmasında karşılaşılan zorlukların ve yönetim engellerinin, büyük ulaşım altyapısı projelerinden kaynaklanan sosyal etkilerin planlanmasını, değerlendirilmesini ve yönetimini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla Batı Sidney’in Güney Batı Demiryolu Bağlantısı örnek olay değerlendirme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, söz konusu demiryolu bağlantısı yönetim süreçleri arasında bir uyumsuzluk olduğu, bu nedenle adil ve kamu yararına değerlendirmelerin gerçekleşmesi için iyileştirmeler yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Raylı ulaşım projelerini karşılaştırma, sorunlarını değerlendirme ve iyileştirme önerileri sunma amacıyla yapılan çalışmaların temel bulguları aşağıda özetlenmiştir:

Li ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada, kentsel raylı ulaşım projelerinin fayda aktörlerini analiz etmek için kaba kümeler teorisi önerilmiştir. Çalışmada yapılan ampirik analiz sonucunda, önerilen modelin çok faktörlü kentsel alan indekslerini analiz etmek için uygun olduğu belirtilmiştir.

Chang (2012) tarafından yapılan çalışmada, Çin'in tarihi kenti Şian'ın kentsel demiryolu geçiş planlaması analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, Şian kentinin tarihi mirasının korunması ve demiryolu geçişinin inşası arasındaki çelişkiye dikkat çekerek miras etki değerlendirmesi yapılması önerilmiştir.

Jing (2012) tarafından yapılan çalışmada, Pekin'de bulunan 16 metro aktarma istasyonundaki metro-metro ile metro-otobüs arasındaki aktarımla ilgili değerlendirmeler incelenmiştir. Çalışmada, anket tekniği ile elde edilen verilere korelasyon analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, en uygun ve en sakıncalı aktarma istasyonları tespit edilmiş ve en sakıncalı olan aktarma istasyonlarının kapsamlı bir şekilde kontrol edilip planlanması önerilmiştir.

Liu ve Wang (2016) tarafından yapılan çalışmada, kent içi demiryolunun iyileştirilmesi, ulaşım planlaması ve tasarımının kesintisiz bir şekilde uygulanabilmesi için kesintisiz transfer kavramı önerilmiştir. Buna göre demiryolu entegrasyonunun kalitesini değerlendirmek üzere Brighton G hipotezi kullanılmıştır. Hipoteze göre transfer mesafesi ideal, istenen, kabul edilebilir, tolere edilebilir ve dayanılmaz olmak üzere beş seviyede incelenmiştir. Çalışma sonucunda, transfer süresi ile transfer mesafesi kavramlarının birbiriyle ilintili olduğu ve transfer mesafesinin farklı ulaştırma modları için incelenen hipoteze göre farklı seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Şimit ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada, İpekböceği (SilkWorm) tramvayının hizmete girmesi ile ortaya çıkan sorunlara çözüm önerileri sunulmuş SWOT Analizi yapılmıştır. Bunun için güçlü ve zayıf yönler kullanıcılarla yapılan sözlü mülakatlar ve gözlemlerle fırsat ve tehditler ise yazarların tecrübeleri ışığında tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuca göre tramvay hattının yeniden gözden geçirilmesi, şehir ve trafik yapısının düzenlenmesi gibi öneriler sunulmuştur.

Önder ve Akdemir (2019) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de büyük ve orta ölçekli şehirlerde yapılan ulaşım ana planları kapsamında, mevcut öneri ve raylı sistem senaryoları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, her bir kentin ihtiyaçlarına göre ulaşım ana planının yapılması gerektiği, standart bir planın her kentin ihtiyacını karşılamada yetersiz olacağı belirtilmiştir.

Raylı ulaşım sistemlerinin çeşitli faktörler ile ilişkisini belirleme amacıyla yapılan çalışmaların temel bulguları aşağıda özetlenmiştir:

Graham ve diğerleri (2003) tarafından yapılan çalışmada, kentsel demiryolu taşımacılığında sürekli ve sabit olmayan getirilerin çıktı ve verimlilik artışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada değerlendirme kriteri olarak çalışan sayısı, araç filosu, rota uzunluğu, istasyon sayısı, yıllık yolcu sayısı ve yıllık araç kilometresi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, verimlilik modeline göre kentsel raylı sistemlere ait çıktı performansının farklılaştırılmasında toplam faktör verimliliği değişikliğinin; ortalama emek verimliliği analizine göre ise diğer üretim faktörlerine geçişlerin ve işçi başına değişen çıktı düzeylerini açıklamada teknolojik değişimin öneminin doğrulandığı ifade edilmiştir.

Dudkin ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada, şehir içi demiryolu taşımacılığının çevre üzerindeki etkisini azaltmak için yeni yöntemler önerilmiştir. Bunun için tramvaylardan gelen gürültü ve titreşim seviyeleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ortaya çıkan gürültü ve titreşim seviyelerini azaltmak için ray dolguları, titreşim yalıtım şilteleri, ray yağlama sistemleri gibi yöntemlerin uygulanması tavsiye edilmiştir.

Mayer ve Trevien (2017) tarafından yapılan çalışmada, Paris'te açılan ve aşamalı olarak uzatılan Bölgesel Ekspres Demiryolu'nun nüfus, firma ve istihdam artışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, söz konusu demiryolunun istihdamı %8,8 artırdığı ve firma lokasyonu için önemli ve olumlu etkiler sağladığı

tespit edilmiştir. Bu demiryolunun nüfus artışı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı ancak demiryolu ile yüksek vasıflı hane halkının yer seçimi arasında önemli bir bağlantının olduğu belirtilmiştir.

Kwan ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada, Kuala Lumpur'daki özel ve toplu taşıma araç kullanıcılarının seyahat karakteristikleri ve özel araç kullanıcılarının demiryolu toplu ulaşımına geçme niyetleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bunun için ikili lojistik regresyon analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, anket katılımcılarının %48'inin hafta içi seyahatlerde, %39'unun ise hafta sonu seyahatlerde özel araçtan demiryolu toplu ulaşımına geçme niyetinde olduğu belirtilmiştir.

Zhao ve Li (2019) tarafından yapılan çalışmada, Pekin'de genel seyahat memnuniyetindeki bölgesel ve sosyal eşitsizlik ele alınarak memnuniyet tepkisi ölçülmüş ve bu eşitsizlikteki demiryolu taşımacılığının rolü araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, orta gelirli ve şehir merkezindeki sakinlerin seyahat memnuniyetinin daha yüksek; düşük gelirli ve banliyö sakinlerinin ise seyahat memnuniyetinin daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Wang ve Zacharias (2020) tarafından yapılan çalışmada, kent içi raylı ulaşımında seyahat memnuniyetini etkileyen fiziksel ve beşeri faktörler incelenmiştir. Çoklu Regresyon ve Tek Yönlü Varyans analizleri ile yapılan çalışmada, memnuniyeti değerlendirmek için kalabalıklık, gürültü, koku, hava kalitesi, sıcaklık, aydınlatma, titreşim ve güvenlik faktörleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, seyahat memnuniyetindeki en önemli faktörlerin kalabalıklık, koku, hava kalitesi, sıcaklık ve güvenlik olduğu belirtilmiştir.

Raylı sistem alanı belirleme, araç seçimi ve çizelgeleme amacıyla yapılan çalışmaların temel bulguları aşağıda özetlenmiştir:

Akman ve Alkan (2016) tarafından yapılan çalışmada, İzmit ilinde bir toplu taşıma güzergahı için alternatif taşıma araçları arasından seçim sorunu ele alınmıştır. Bunun için Ağırlıklı Aksinomlarla Tasarım metodu ile bir seçim modeli geliştirilmiştir. Modelde maliyet, ulaşım hattı özellikleri, araç özellikleri, çevreye duyarlılık ve müşteri memnuniyeti ana kriterleri ve bu kriterlere ait alt kriterler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda alternatif toplu taşıma aracı olarak hafif raylı sistemlerin ve metrobüsün uygun olduğu belirtilmiştir.

Chu ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada, bir Pareto Optimal şehir içi raylı tren çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada, bir yineleme algoritması ve geçerli bir tren kullanım stoku atama prosedürü olmak üzere iki teori önerilmiştir. Bu teoriler için tasarlanan algoritma, sayısal bir deney yoluyla test edilmiştir. Çalışma sonucunda, tasarlanan algoritmanın uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Lin ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada, tren istasyon alanını tahmin etmek için Huff Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojileri kullanarak bir modelleme yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre modelin geçerli olduğu ve bu modelin seyahat talebini daha iyi yönetmek ve tren istasyonlarına daha fazla erişilebilirliği sağlayan çözümleri planlamak için de kullanılabilirdiği belirtilmiştir.

Raylı sistem yatırımlarını ve bu yatırımları etkileyen faktörleri değerlendirme amacıyla yapılan çalışmaların temel bulguları aşağıda özetlenmiştir:

Düzkaya ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada, Erzincan ili örneği ile orta büyüklükteki iller için cadde tramvayı uygulamaları değerlendirilmiştir. Çalışmada, cadde tramvayı uygulamalarının; şehir içindeki tüm terminal noktalarını hızlı ve rahat bir şekilde birleştirdiği, şehirlerarası farklı ulaşım türleri arasında geçişleri kolaylaştırdığı, yaşanabilir bir kentsel çevre oluşturduğu, sürdürülebilir bir ulaşım sistemi sağladığı, mobiliteyi ve katma değeri artırdığı belirtilmiştir.

Gulhan (2018) tarafından yapılan çalışmada, kent içi raylı sistem yatırımlarının konut alanlarının gelişimi ve fiyatları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için Kazlıçeşme-Söğütlüçeşme Metro Hattı özelinde inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, konut fiyatlarının çalışmaya konu olan bölge bazında yükseldiği belirtilmiştir. Ayrıca bu artışın kamu yararı için arazi kullanımı açısından nasıl değerlendirilebileceği konusunda fikirler üretilmiştir.

Kutlu ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmada, bir kent için raylı sistem yatırımlarını etkileyen faktörler Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bunun için AB ve Türkiye’de yapılan çalışmalar ışığında etki faktörleri belirlenmiş ve Ankara, Rize ve Erzincan kentleri için farklı yatırım senaryoları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, söz konusu kentler için raylı sistem yatırımlarını etkileyen faktörler sıralanmıştır.

Son olarak Masoumi ve Öcalır-Akünel (2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’deki kent içi raylı ulaşım sistemlerinin Veri Zarflama Analizi ile performansı değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında girdi değişkeni olarak hat uzunluğu, istasyon sayısı, sefer sıklığı, ticari hız ve şehir nüfusu; çıktı değişkeni olarak ise yıllık taşınan yolcu sayısı ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, etkin ve etkin olmayan kentler belirtilmiştir.

Literatür taraması sonucunda, çalışmaların genel olarak; kent içi raylı sistem proje tasarımı, yazılımı ve model geliştirme, raylı ulaşım projelerini karşılaştırma, sorunlarını değerlendirme ve iyileştirme önerileri sunma, kent içi raylı sistemin çevre, sosyal ve beşeri faktörler gibi faktörlerle ilişkisini belirleme, kent içi raylı sistem alanı belirleme, araç seçimi ve çizelgeleme problemlerini çözme, raylı sistem yatırımlarını ve bunları etkileyen faktörleri değerlendirme konuları üzerine yoğunlaştığı ancak araştırmaların teknik incelemelerle sınırlı kaldığı görülmüştür. Kent içi raylı ulaşım sistemi performans ve verimlilik değerlendirme konusunda ise nispeten daha az araştırma yapıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada önerilen yöntemlerle daha önce yapılmış böyle bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bununla birlikte elde edilen sonuçlara göre modelin diğer kent içi ulaşım türlerinde de uygulanabilir olduğu ve tüm bu nedenlerle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın aynı zamanda alanda faaliyet gösteren işletmelere de fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde çalışmada kent içi raylı ulaşım performansını değerlendirmek için önerilen modelde kullanılan yöntemler tanıtılmıştır.

3.1. SWARA Yöntemi

SWARA yöntemi (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis-Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi), ilk kez Keršulienė ve diğerleri (2010) tarafından geliştirilmiş, ÇKKV tekniklerinde kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Ghoushchi ve diğerleri, 2020). Yöntemin temeli, uzman görüşüne dayanmaktadır (Keršulienė ve diğerleri, 2010). Bu noktada uzmanların bakış açısı, bu yöntem sürecinde değerlendirmelerde ve ağırlıkların hesaplanmasında en önemli belirleyici faktör olarak görülmektedir (Zolfani ve diğerleri, 2015).

SWARA, çalıştırılması kolay bir yöntemdir. AHS gibi diğer ağırlık belirleme yöntemleri ile karşılaştırıldığı zaman, SWARA yönteminin hesaplama karmaşıklığı daha düşüktür ve daha yüksek tutarlılığa sahiptir (Wen ve diğerleri, 2019).

Yöntemin hesaplama adımları aşağıda verilmiştir (Zolfani ve diğerleri, 2015):

Problemde n tane kriter ($C_j, j=1,2,\dots,n$) ve k tane karar verici ($KV_k, k=1,2,\dots,k$) olmak üzere;

1.Adım: Öncelikle problem ile ilgili belirlenmiş olan kriterlerin, her bir uzman tarafından en çok önemli olandan en az önemli olana doğru sıralanması istenir.

2.Adım: Bu aşamada kriterlerin birbirleri ile kıyaslamaları yapılır. Bunun için ikinci kriterden başlayarak birinci kriterin ikinci kriterden, ikinci kriterin üçüncü kriterden ne derece önemli olduğu belirlenir. Bu işlem tüm kriterler için tekrarlanır. Bu karşılaştırma s_j olarak ifade edilir ve 0 ile 1 arasında 5’in katları olacak şekilde değer alır.

3.Adım: Eşitlik 1 yardımıyla k_j kat sayısı hesaplanır. Bunun için öncelikle ilk sırada yer alan kritere 1 değeri verilir. Diğer kriterler için ise bir önceki adımda elde edilen s_j değerine 1 eklenir. Bu işlem tüm kriterler için tekrarlanır ve k_j kat sayıları hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (1)$$

4.Adım: Her bir kriter için q_j değeri Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanır. Bir önceki adımda olduğu gibi ilk sıradaki kritere yine 1 değeri verilir.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{x_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

5.Adım: Bu aşamada bir önceki adımda hesaplanan q_j değerleri $\sum q_j$ değerine bölünerek Eşitlik 3'te ifade edildiği şekilde, her bir kriter için nihai ağırlıklar w_j hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (3)$$

6.Adım: Birden fazla karar vericinin olduğu problemlerde ortak bir kriter ağırlığı belirlemek gerekmektedir. Bunun için 2., 3., 4. ve 5. adımlar tüm karar vericiler için tekrarlanır. Her bir karar verici bazında elde edilen w_j değerlerinin geometrik ortalaması alınır. Elde edilen yeni değerler her bir kriterin tüm karar vericiler bazındaki ortalama ağırlıklarını ifade etmektedir.

3.2. ARAS Yöntemi

ARAS yöntemi (Additive Ratio Assessment- Eklemeli Nispi Değerlendirme), Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından geliştirilmiş bir ÇKKV tekniğidir (Keršulienė ve Turskis, 2014). ARAS yöntemi, alternatiflerin performansını belirlemeyi sağlayan ve her bir alternatifin optimal alternatife oranını gösteren bir tekniktir (Dadelo ve diğerleri, 2012). Yöntemde, bir alternatifin nispi etkinliğini belirleyen fayda fonksiyon değeri, ele alınan kriterlerin değer ve ağırlıklarının nispi etkisi ile doğru orantılıdır (Zavadskas ve Turskis, 2010). Örneğin bir kritere ait optimal değer 100 olduğu ve diğer alternatiflere ait değerlerin optimal değerden düşük olduğu bir karar probleminde, alternatifler arasındaki en yüksek değer 70 olduğu durumda optimallik değeri diğer ÇKKV tekniklerinde %100 (1) olarak hesaplanırken ARAS yönteminde %70 (0,70) olarak hesaplanmaktadır. Yöntem bu yönüyle diğer ÇKKV tekniklerinden ayrılmakta ve oransal derecelendirmeye en uygun yöntem olarak görülmektedir (Ecer, 2016). Yöntemin hesaplama adımları aşağıda verilmiştir (Zavadskas ve Turskis, 2010):

1.Adım: Yöntemin ilk aşamasında alternatiflerin, kriterlerin ve bunlara ait değerlerin yer aldığı karar matrisinin oluşturulması vardır. Karar matrisinde (Eşitlik 4) diğer ÇKKV tekniklerinden farklı olarak optimallik değerlerinin gösterildiği bir satır bulunmaktadır. Buna göre X karar matrisi, m alternatif sayısını, n alternatiflere ait kriter sayısını göstermek üzere,

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdot & x_{0j} & \cdot & x_{0n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i1} & \cdot & x_{ij} & \cdot & x_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & \cdot & x_{mj} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (4)$$

şeklinde oluşturulur. Burada x_{ij} , i alternatifinin j kriteri açısından performans değerini; x_{0j} , j kriterinin optimal değerini ifade etmektedir. Eğer j kriterinin optimal değeri bilinmiyorsa, fayda veya maliyet kriteri olmasına göre Eşitlik 5 ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= \max x_{ij} \\ x_{0j} &= \min 0_j \end{aligned} \quad (5)$$

2.Adım: Yöntemin ikinci aşamasında normalize karar matrisinin oluşturulması vardır. Bu aşamada bütün kriterlerin normalizasyon işlemi yapılır. Burada amaç farklı boyutlara sahip olan kriterlerin ortaya çıkaracağı zorluklardan kaçınmaktır. Bunun için tüm kriter değerleri $[0, 1]$ aralığında standartlaştırılır. Normalizasyon

işleminde sonra karar matrisi Eşitlik 6'daki gibi oluşturulur:

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdot & \hat{x}_{0j} & \cdot & \hat{x}_{0n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{i1} & \cdot & \hat{x}_{ij} & \cdot & \hat{x}_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{m1} & \cdot & \hat{x}_{mj} & \cdot & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Normalize karar matrisi oluşturulurken maksimum değer alması istenen fayda kriterleri için Eşitlik 7, minimum değer alması istenen maliyet kriterleri için ise Eşitlik 8 kullanılır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (7)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=0}^m 1/x_{ij}} \quad (8)$$

3.Adım: Bu aşamada ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur. Bunun için genelde uzman görüşü ile belirlenen kriter **ağırlıkları** (w_j) kullanılır. Kriter ağırlıkları, $0 < w_j < 1$ koşulunu sağlamalıdır. Ayrıca kriter **ağırlıklarının toplamı** Eşitlik 9'da gösterildiği gibi sınırlı olmalıdır:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (9)$$

Ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik 10'daki gibi oluşturulur:

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \cdot & \hat{x}_{0j} & \cdot & \hat{x}_{0n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{i1} & \cdot & \hat{x}_{ij} & \cdot & \hat{x}_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hat{x}_{m1} & \cdot & \hat{x}_{mj} & \cdot & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix}; i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Bu matrise göre tüm kriterlerin ağırlıklandırılmış hali Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanır. Burada w_j , j kriterinin ağırlığını; \bar{x}_{ij} ise j kriterinin normalize edilmiş derecesini ifade etmektedir.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j \quad (11)$$

4.Adım: Yöntemin son adımı optimallik fonksiyon değerinin hesaplanmasıdır. Optimallik fonksiyon değeri Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanır. Eşitlikte S_i , i alternatifinin optimallik değerini ifade etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = 0, \dots, m \quad (12)$$

Optimallik fonksiyonunun S_i değeri ne kadar büyük olursa, alternatif o kadar etkili olmaktadır. Bu nedenle alternatiflerin öncelikleri bu değere göre belirlenir. Son olarak S_i değeri kullanılarak alternatiflerin görece fayda etkinliği (K_i) Eşitlik 13 ile hesaplanır.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (13)$$

K_i değeri $[0, 1]$ arasında bir değer almaktadır. Bu değer her bir alternatifin nispi fayda etkinliğini ifade etmektedir. Alternatiflerin nispi performanslarının belirlenmesi bu değer ile sağlanmaktadır. En büyük K_i değerine sahip olan alternatifin en yüksek, en küçük K_i değerine sahip olan alternatifin en düşük performansı gösterdiği kabul edilmektedir.

4. UYGULAMA ve BULGULAR

Bu bölümde raylı ulaşım sistemleri performansını değerlendirmek için önerilen iki aşamalı ÇKKV yöntemi için bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulama, ihtiyaç duyulan veri EGO Genel Müdürlüğü resmi internet sayfasında kamuya açık olarak yayınlandığından ve kolay erişilebilir olduğundan EGO Genel Müdürlüğü raylı sistem teknik verileri kullanılarak yapılmıştır. Çözüm için Microsoft Excel Hesap Çizelgesi paket programından yararlanılmıştır.

4.1. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ağırlıklarının Hesaplanması

Bu çalışmada ele alınan raylı ulaşım sistemleri performansını değerlendirmek için kriterler literatür ve uzman görüşü ile belirlenmiştir. Değerlendirme kriterleri Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3. Değerlendirme kriterleri

Sıra	Kısaltma	Kriter	Referanslar
1	K_1	Toplam Hat Uzunluğu (Metre)	Graham ve diğerleri (2003), Tzeng ve diğerleri (2005), Masoumi ve Öcalır-Akünel (2018)
2	K_2	Araç Filosu (Araç)	Graham ve diğerleri (2003)
3	K_3	Ortalama İstasyon Aralığı (Metre)	Akman ve Alkan (2016)
4	K_4	İstasyon Sayısı (Adet)	Graham ve diğerleri (2003), Masoumi ve Öcalır-Akünel (2018)
5	K_5	Maksimum Yolcu Kapasitesi (Yolcu/Saat/Yön)	Akman ve Alkan (2016), Dinç (2018), Masoumi ve Öcalır-Akünel (2018)

Belirlenen kriterlerin önem dereceleri SWARA yöntemi ile aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanmıştır.

1. Adım: Öncelikle biri Uluslararası Ticaret ve Lojistik bölümü öğretim üyesi, ikisi belediye ulaşım planlama ve raylı sistem çalışanı olmak üzere üç karar vericiye (KV) Ek 1'de yer alan anket uygulanmıştır. Karar vericiler, değerlendirme kriterlerini kendileri için en çok önemli olandan en az önemli olana doğru 1'den 5'e kadar sıralamışlardır. Karar vericiler tarafından belirtilen kriter sıralaması Çizelge 4'te yer almaktadır.

Çizelge 4. Karar vericilere göre kriter sıralaması

Kriterler	KV_1	KV_2	KV_3
K_1	1	4	1
K_2	5	2	3
K_3	4	3	5
K_4	2	5	4
K_5	3	1	2

2. Adım: Bu aşamada kriterlerin birbirleri ile kıyaslaması yapılarak s_j değeri belirlenmiştir. Bunun için Ek 1'de yer alan ankette, karar vericiler tarafından yapılan puanlama değerleri kullanılmıştır. Karar vericiler puanlamayı, ikinci kriterden başlayarak birinci kriterin ikinci kriterden, ikinci kriterin üçüncü kriterden, üçüncü kriterin dördüncü kriterden ve dördüncü kriterin beşinci kriterden ne derece önemli olduğunu, 0 ile 1 arasında 5'in katları olacak şekilde belirlemişlerdir. Karar vericiler tarafından belirlenen kriter kıyaslamaları Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5. Kriterlerin karar vericiler düzeyinde karşılaştırmalı önemi

Sıra	KV ₁		KV ₂		KV ₃	
	Kriterler	s _j	Kriterler	s _j	Kriterler	s _j
1	K ₁		K ₅		K ₁	
2	K ₄	0,20	K ₂	0,30	K ₅	0,30
3	K ₅	0,15	K ₃	0,30	K ₂	0,10
4	K ₃	0,30	K ₁	0,20	K ₄	0,05
5	K ₂	0,05	K ₄	0,10	K ₃	0,10

3. Adım: Bu aşamada Eşitlik 1 ile her bir karar vericiye ait k_j kat sayısı hesaplanmıştır. Bunun için örneğin birinci karar vericinin kriter sıralamasında, ilk sırada yer alan kritere 1 değeri verilmiş diğer kriterler için ise bir önceki adımda belirlenen s_j değerine 1 eklenmiştir. Bu işlem tüm kriterler ve karar vericiler için tekrarlanmıştır.

4. Adım: Bu aşamada Eşitlik 2 yardımıyla her bir karar vericiye ait q_j değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken bir önceki adımda olduğu gibi ilk sırada yer alan kritere 1 değeri verilmiştir. Diğer kriterler için ise Eşitlik 2 kullanılmıştır.

5. Adım: Bu aşamada, Eşitlik 3 yardımıyla kriterlerin her bir karar vericiye ait nihai önem ağırlıkları w_j hesaplanmıştır. Birinci karar vericiye ait k_j , q_j ve w_j değerleri Çizelge 6'da gösterilmektedir.

Çizelge 6. Birinci karar vericiye ait değerler

Sıra	Kriterler	s _j	k _j	q _j	w _j
1	K ₁		1,00	1,00	0,27
2	K ₄	0,20	1,20	0,83	0,23
3	K ₅	0,15	1,15	0,72	0,20
4	K ₃	0,30	1,30	0,56	0,15
5	K ₂	0,05	1,05	0,53	0,15

6. Adım: Son aşamada ise tüm karar vericiler için hesaplanan kriter ağırlıklarının geometrik ortalaması alınmış ve böylece ortak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen her bir kriterin tüm karar vericiler bazındaki ortalama ağırlıkları Çizelge 7'de gösterilmektedir.

Çizelge 7. Kriterlerin karar vericiler bazında hesaplanan ağırlıkları

Kriterler	KV ₁	KV ₂	KV ₃	GA
K ₁	0,27	0,15	0,27	0,22
K ₂	0,15	0,23	0,19	0,19
K ₃	0,15	0,18	0,16	0,16
K ₄	0,23	0,14	0,18	0,18
K ₅	0,20	0,30	0,21	0,23

Elde edilen kriter ağırlıklarına göre en yüksek değeri maksimum yolcu kapasitesi kriteri, en düşük değeri ise ortalama istasyon aralığı kriteri almıştır. Başka bir ifade ile kriterlerin önem derecelerinin hesaplanması sonucunda en yüksek öneme 0,23 oran ile maksimum yolcu kapasitesi kriterinin, en düşük öneme ise 0,16 oran ile ortalama istasyon aralığı kriterinin sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi ve Sıralanması

Çalışmada kullanılan alternatifler, EGO Genel Müdürlüğünde işletilen raylı sistem hatları olarak belirlenmiş ve bunlara ilişkin teknik verilere kamuya açık olarak sunulan EGO Genel Müdürlüğü resmi internet sayfasından ulaşılmıştır. Alternatiflere ilişkin veri seti Çizelge 8'de gösterilmektedir.

Çizelge 8. Alternatiflere ait veri seti

İşletilen Raylı Sistem Hatları	Kısaltma	Kriterler (Teknik Özellikler)				
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
Batıkent-Kızılay	A ₁	14.661	12	1283	108	70.000
Çayyolu-Kızılay	A ₂	16.590	11	1396,50	144	66.000
Batıkent-Sincan/Törekent	A ₃	15.629,61	11	1255	264	72.000
Keçiören-Atatürk Kültür Merkezi	A ₄	9.220	9	1075	60	66.000
Aşti-Dikimevi	A ₅	8.527	11	783	33	27.000

Kaynak: <https://www.ego.gov.tr>, (Erişim tarihi: 18.04.2020).

1.Adım: Öncelikle karar matrisi oluşturulmuştur. Bunun için değerlendirme kriterlerine ait optimal değerler bilinmediği için kriterlerin fayda ve maliyet özelliklerine göre optimal değer belirlenmiştir. Buna göre probleme ait tüm kriterler fayda kriteri olarak ele alınmış ve Eşitlik 5 yardımıyla optimal değerler hesaplanmıştır. Çizelge 9'da optimal değerlerin yer aldığı karar matrisi gösterilmektedir.

Çizelge 9. Karar matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
OPT.	16590	264	1.396,5	12	72.000
A ₁	14.661	108	1.283	12	70.000
A ₂	16.590	144	1.396,5	11	66.000
A ₃	15.629,61	264	1.255	11	72.000
A ₄	9.220	60	1.075	9	66.000
A ₅	8.527	33	783	11	27.000

2.Adım: Bu aşamada Eşitlik 7 yardımıyla normalize karar matrisi oluşturularak tüm kriterler [0, 1] aralığında standartlaştırılmıştır. Normalize karar matrisi Çizelge 10'da gösterilmektedir.

Çizelge 10. Normalize karar matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
OPT.	0,20	0,30	0,19	0,18	0,19
A ₁	0,18	0,12	0,18	0,18	0,19
A ₂	0,20	0,16	0,19	0,17	0,18
A ₃	0,19	0,30	0,17	0,17	0,19
A ₄	0,11	0,07	0,15	0,14	0,18
A ₅	0,10	0,04	0,11	0,17	0,07

3.Adım: Bu aşamada ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik 11 yardımıyla oluşturulmuştur. Bunun için SWARA yöntemi ile hesaplanan ve Eşitlik 9'da gösterilen koşulu sağlayan kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Çizelge 11'de ağırlıklı normalize karar matrisi gösterilmektedir.

Çizelge 11. Ağırlıklı normalize karar matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
OPT.	0,05	0,06	0,03	0,03	0,04
A_1	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04
A_2	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04
A_3	0,04	0,06	0,03	0,03	0,04
A_4	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04
A_5	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02

4.Adım: Bu aşamada ise alternatiflere ait optimallik fonksiyon değeri s_i , Eşitlik 12 yardımıyla ve fayda etkinliği değeri k_i , Eşitlik 13 yardımıyla hesaplanmıştır. Böylece alternatiflerin nispi fayda etkinliği diğer bir ifadeyle nispi performansı elde edilmiştir. Buna göre en büyük k_i değerine sahip olan alternatifin en yüksek, en küçük k_i değerine sahip olan alternatifin ise en düşük performansı gösterdiği kabul edilmiştir. Alternatiflere ait s_i ve k_i değerleri ile performans sıralamaları Çizelge 12’de gösterilmektedir.

Çizelge 12. Optimallik fonksiyon değerleri ve alternatif sıralamaları

	s_i	k_i	$\%k_i$	Sıra
OPT.	0,21			
A_1	0,17	0,80	%79,92	3
A_2	0,18	0,85	%84,84	2
A_3	0,20	0,96	%95,93	1
A_4	0,13	0,61	%60,72	4
A_5	0,09	0,45	%44,96	5

ARAS yöntemiyle elde edilen nispi performans değerlerine göre optimal değere en yakın olan alternatif, A_3 yani Batıkent-Sincan/Törekent hattı, optimal değerden en uzak alternatif ise A_5 , yani Aşti-Dikimevi hattı olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte en yüksek performansa sahip olan A_3 alternatifinin optimale benzerlik oranının %95,93 olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan en düşük performansa sahip olan A_5 alternatifinin optimale benzerlik oranı ise %44,96 olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Kent içi raylı ulaşım performansının belirlendiği bu çalışmada, EGO Genel Müdürlüğünde işletilen raylı sistem hatları (Kızılay-Batıkent, Çayyolu-Kızılay, Batıkent-Sincan/Törekent, Keçiören-Atatürk Kültür Merkezi, Aşti-Dikimevi) karar alternatifleri olarak ele alınmıştır. Bu alternatiflere ilişkin toplam hat uzunluğu, araç filosu, ortalama istasyon aralığı, istasyon sayısı ve maksimum yolcu kapasitesi değişkenleri değerlendirme kriteri olarak belirlenmiştir.

SWARA yöntemi ile hesaplanan kriter önem ağırlıklarına göre en yüksek değeri (0,23) maksimum yolcu kapasitesi kriteri, en düşük değeri (0,16) ise ortalama istasyon aralığı kriteri almıştır. Bu sonuçlara göre raylı toplu ulaşım sağlayıcıları, daha yüksek performans sağlayabilmek için maksimum yolcu kapasitesinin daha fazla olduğu araçları tercih edebilir. Bununla birlikte toplam hat uzunluğu kriterinin 0,22 oran ile ikinci sırada önemli olan kriter olduğu göz önüne alındığında, raylı toplu ulaşım verimliliği artırmak için daha uzun hatlar inşa etmenin yarar sağlayacağını ifade etmek mümkündür. Diğer taraftan teknik etkinliği sağlama konusunda ortalama istasyon aralığının araştırmada kullanılan diğer kriterlere göre daha az etkili olduğu bu nedenle de ortalama istasyon aralığına diğer teknik özelliklere yapılacak olan yatırımdan daha az önem verilebileceği söylenebilir. Özetle hangi kriterin kent içi raylı toplu ulaşım verimliliğini artırdığını tespit etmek, kaynakları doğru yöne kanalize etmeye ve kaynakların verimli bir şekilde kullanımını sağlamaya yardımcı olacaktır. Dolayısıyla kent içi raylı toplu ulaşım performansını en fazla etkileyen faktörleri iyileştirmeye yönelik yapılan yatırımlar raylı toplu ulaşımın verimliliğini sağladığı

gibi kaynakların verimli kullanımını da sağlayacaktır. Böylece gereksiz harcamaların önüne geçilmiş ve kamu harcamalarında verimlilik sağlanmış olacaktır.

ARAS yöntemi ile elde edilen performans değerlerine göre en yüksek performans Batıkent-Sincan/Törekent hattının, en düşük performans ise Aşti-Dikimevi hattının sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda Batıkent-Sincan/Törekent hattının optimale benzerlik oranı %95,93, Aşti-Dikimevi hattının optimale benzerlik oranı ise %44,96 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kriter önem dereceleri de göz önüne alındığında, Aşti-Dikimevi hattının optimale uzaklığını minimum seviyeye düşürmek diğer bir ifadeyle verimliliğini yükseltmek için maksimum yolcu kapasitesini ve toplam hat uzunluğunu artırmaya yönelik çalışmalar yapılmasının fayda sağlayacağı ifade edilebilir.

Daha önce yapılmış olan çalışmalara bakıldığında, Akman ve Alkan (2016) tarafından yapılan çalışmada “ulaşım hattı özellikleri” ana kriteri altında bulunan “saatte yolcu kapasitesi” alt kriteri en yüksek önem ağırlığına sahipken; aynı ana kriter altındaki “istasyon aralığı” alt kriteri en düşük önem ağırlığına sahip olmuştur. Bu çalışmada da aynı amaca hizmet eden kriterlerin en yüksek ve en düşük önem ağırlığına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu yönüyle çalışma sonuçlarının benzerlik gösterdiğini ifade etmek mümkündür. Masoumi ve Öcalır-Akünel (2018) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’deki raylı sistemlerin performansı karşılaştırılmış ve Ankara raylı sistemi tek bir karar verme birimi olarak ele alınmıştır. Çalışmada, çıktı değişkeni olarak değerlendirilen “senelik taşınan yolcu sayısı”nın, Ankara raylı sistemlerinin performansını yükseltmek için artırılması gerektiği ifade edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma, en yüksek önem ağırlığına sahip olan maksimum yolcu kapasitesi değişkeninin raylı sistem verimliliğini yükseltmek için geliştirilmesi gereken bir özelliğe sahip olduğunu desteklemektedir. Diğer taraftan, Dinç ve diğerleri (2018) tarafından yapılan ve 8 kriterin ele alındığı çalışmada ise maksimum yolcu kapasitesi ile aynı amaca hizmet eden “kapasite” değişkeninin yedinci sırada önem ağırlığına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu yönüyle çalışma sonuçlarının birbirinden farklılaştığını ifade etmek mümkündür. Çalışmadan elde edilen sonuçların daha önce yapılan benzer çalışmaları destekler nitelikte olması nedeniyle modelin diğer kent içi toplu ulaşım türlerinde de uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada kent içi raylı ulaşım performansını değerlendirmek için iki aşamalı bir ÇKKV tekniği önerilmiş ve bunun için bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada kullanılan değerlendirme kriterleri literatür ve uzman görüşü ile belirlenmiştir. Dolayısıyla çalışma bu şekilde belirlenen kriterlerle sınırlıdır. Ayrıca çalışmada EGO Genel Müdürlüğü tarafından işletilen raylı sistemler ve bunlara ilişkin ulaşılabilen teknik veriler kullanılmıştır. Dolayısıyla yapılan değerlendirme, çalışmada kullanılan veriler kapsamında sınırlıdır. Yani değerlendirme sonucunda performansı yüksek bulunan raylı ulaşım hatları dünya genelinde yapılacak olan bir değerlendirmede aynı performans değerine sahip olmayabilir. Gelecek çalışmalarda, işlem karmaşıklığı ve uzun uygulama adımları olmayan bunun yanı sıra özel bir hesaplama programı gerektirmeyen SWARA ve ARAS yöntemleri kullanılarak farklı kentlerin kent içi ulaşım verimliliği incelenip karşılaştırılabilir böylece çalışmanın kapsamı genişletilebilir. Ayrıca farklı özellik ve istatistikler kullanılarak çalışmaya yeni değerlendirme kriterleri eklenebilir.

KAYNAKÇA

- AKMAN, G. ve ALKAN, A. (2016), **Evaluation of Alternative Public Transportation Systems in Izmit Urban Transportation via Axiomatic Design Method**, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 22 (1), 54-63.
- ALADE, T., EDELENBOS, J. ve GIANOLI, A. (2019), **Frugality in Multi-Actor Interactions and Absorptive Capacity of Addis-Ababa Light-Rail Transport**, Journal of Urban Management, 9 (1), 67-76.
- BURKUCU, H., KILINÇARSLAN, S. K., KORKMAZ, Ş., ORAK, A. ve ÇETİN, M. H. (2020), **Mekanik Sistemlerde Rejeneratif Frenleme ile Elde Edilebilecek Enerji Miktarının Belirlenmesi ve Verimlilik Analizi**, Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Dergisi, 1 (1), 1-8.
- CHANG, H. (2012), **Study on the Evaluation Principle of Xi'an Urban Rail Transit Network from the Perspective of Historic City Conservation**, Advanced Materials Research, 368–373, 3258-3261.
- CHU, W., ZHANG, X., CHEN, J. ve SUN, X. (2016), **Pareto Optimal Train Scheduling for Urban Rail Transit using Generalized Particle Swarm Optimization**, Advances in Mechanical Engineering, 8 (10), 1-15.
- ÇUBUK, M. K. ve TÜRKMEN, M. (2003), **Ankara'da Raylı Ulaşım**, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (1), 125-144.
- DADELO, S., TURSKIS, Z., ZAVADSKAS, E. K. ve DADELIENE, R. (2012), **Multiple Criteria Assessment of Elite Security Personal on the Basis of ARAS and Expert Methods**, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 46 (4), 65-88.
- DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI, (1995), **Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Kent İçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu**, 1-22, <http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/7-UlasmKenticiUlasimAltKomisyonRaporu.pdf> (Erişim tarihi: 19.06.2021).
- DİNÇ, S., HAMURCU, M. ve EREN, T. (2018), **Multicriteria Selection of Alternative Tramway Vehicles for Urban Transportation**, Gazi Journal of Engineering Sciences, 4 (2), 124-135.
- DING, F., ZHAO, J. B., BEI, S. Y. ve LIU, H. M. (2011), **MAS-Based Urban Rail Transport Ridership Forecast System and Traffic Generation Analysis**, Applied Mechanics and Materials, 39, 322-325.
- DOĞAN, B. ve KABLAN, A. (2016), **Kırıkkale Şehir İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemi Tasarımı (Kaleray)**, Mühendis ve Makine Dergisi. 57 (677), 20-23.
- DONG, H., NING, B., CHEN, Y., SUN, X., WEN, D., HU, Y. ve OUYANG, R. (2013), **Emergency Management of Urban Rail Transportation Based on Parallel Systems**, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 14 (2), 627-636.
- DUDKIN, E. P., ANDREEVA, L. A. ve SULTANOV, N. N. (2017), **Methods of Noise and Vibration Protection on Urban Rail Transport**, Procedia Engineering, 189 (May), 829-835.
- DÜZKAYA, H., AKDEMİR, F., HAYRİ, U., ORMAN, A. ve SIVAT, S. (2018), **Türkiye'de Orta Büyüklükteki Kentlerde Raylı Sistem Uygulamaları: Erzincan Cadde Tramvayı Örneği**, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5 (2), 403-415.
- ECER, F. (2016), **ARAS Yöntemi Kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılımı Seçimi**, Journal of Alanya Faculty of Business/Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 8 (1), 89-98.
- EGO, (2020), <https://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/1075/rayli-sistem>, (Erişim tarihi: 18.04.2020).
- ELKER, C. (1999), **II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı**, Çağdaş Ulaşım Politikaları, MMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- FENG, X., WANG, X. ve ZHANG, H. (2014), **Passenger Transfer Efficiency Optimization Modelling Research with Simulations**, International Journal of Simulation Modelling, 13 (2), 210-218.
- GHOUSHCHI, S. J., RAHMAN, M. N. A., RAEISI, D., OSGOOEI, E. ve GHOUSHJI, M. J. (2020), **Integrated Decision-Making Approach Based on SWARA and GRA Methods for the Prioritization of Failures in Solar Panel Systems Under Z-Information**, Symmetry, 12 (2), 1-21.
- GULHAN, G. (2018), **Impact of Rail System Investments on Estate Taxes and Evaluation of Spatial Change Potential: Example of Kazlıcesme-Sogutluceme Metro Route**, Journal of Human Sciences, 15 (4), 2029-2046.
- GRAHAM, D. J., COUTO, A., ADENEY, W. E. ve GLAISTER, S. (2003), **Economies of Scale and Density in Urban Rail Transport: Effects on Productivity**, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 39 (6), 443-458.

- HAN, Z., TAN, J., GRIMMOND, C. S. B., MA, B., YANG, T. ve WENG, C. (2020), **An Integrated Wind Risk Warning Model for Urban Rail Transport in Shanghai, China**, Atmosphere, 11 (1), 1-15.
- JING, C. (2012), **Analysis on Convenience of Beijing Urban Subway Transfer Stations Based on GIS**, Advanced Materials Research, 403-408, 1471-1474.
- KERŠULIENĖ, V., ZAVADSKAS, E. K. ve TURSKIS, Z. (2010), **Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Swara)**, Journal of Business Economics and Management, 11 (2), 243-258.
- KERŠULIENE, V. ve TURSKIS, Z. (2014), **A Hybrid Linguistic Fuzzy Multiple Criteria Group Selection of a Chief Accounting Officer**, Journal of Business Economics and Management, 15 (2), 232-252.
- KUTLU, H., ULVİ, H. ve AKDEMİR, F. (2019), **Gelişmekte Olan Ülkelerde Raylı Sistem Yatırım Kararlarını Etkileyen Öçütlerin Belirlenmesi: AB ve Türkiye Özelinde Bir Araştırma**, Demiryolu Mühendisliği, (9), 61-78.
- KWAN, S. C., SUTAN, R. ve HASHIM, J. H. (2018), **Trip Characteristics as the Determinants of Intention to Shift to Rail Transport Among Private Motor Vehicle Users in Kuala Lumpur, Malaysia**, Sustainable Cities and Society, 36 (October), 319-326.
- LI, J., HUANG, Y. ve HAO, C. (2008), **A Treatment Method for Urban Rail Transport Project Benefit Information to Ensure the Multiple Benefit Factors Based on Rough Set**, Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics and Informatics, 2, 1547-1552.
- LIN, T. G., XIA, J. C., ROBINSON, T. P., OLARU, D., SMITH, B., TAPLIN, J. ve CAO, B. (2016), **Enhanced Huff Model for Estimating Park and Ride (Pnr) Catchment Areas in Perth, WA**, Journal of Transport Geography, 54, 336-348.
- LIU, L. F. ve WANG, W. (2016), **Analysis of Urban Rail Transit Seamless Transfer Standard**, MATEC Web of Conferences, 81, 1-5.
- MASOUMI, M. ve ÖCALIR-AKÜNAL, E. V. (2018), **Türkiye'deki Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Performanslarının Veri Zarflama Analizi ile Karşılaştırılması**, Politeknik Dergisi, 21 (4), 971-975.
- MAYER, T. ve TREVIEN, C. (2017), **The Impact of Urban Public Transportation Evidence from the Paris Region**, Journal of Urban Economics, 102, 1-21.
- MIN, G., QINGREN, J. ve WEIDONG, C. (2018), **Analysis of the Harmonics Influence of Urban Rail Transport Load on Nanning Power Grid Based on ETAP**, Proceedings of the 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2018, 594-599.
- MORISON, C., WANG, A. ve BEWES, O. (2005), **Methods for Measuring the Dynamic Stiffness of Resilient Rail Fastenings for Low Frequency Vibration Isolation of Railways, Their Problems and Possible Solutions**, Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control, 24 (2), 107-116.
- MOTTEE, L. K., ARTS, J., VANCLAY, F., MILLER, F. ve HOWITT, R. (2020), **Reflecting on How Social Impacts are Considered in Transport Infrastructure Project Planning: Looking beyond the Claimed Success of Sydney's South West Rail Link**, Urban Policy and Research, 1-14.
- OCAK, İ. ve MANİSALI, E. (2006), **Kentsel Raylı Taşıma Üzerine Bir İnceleme (İstanbul Örneği) - An Overview About Urban Rail Transport (Istanbul Model)**, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (2), 51-59.
- ÖNDER, H. G. ve AKDEMİR, F. (2019), **Türkiye'deki Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinin Ulaşım Ana Planları Bağlamında Değerlendirilmesi**, Demiryolu Mühendisliği, 10, 23-37.
- STATISTA. (2021), <https://www.statista.com/statistics/270860/urbanization-by-continent/>, (Erişim tarihi: 16.06.2021).
- SU, J. F., KUANG, F. H. ve XU, B. G. (2013), **Operating System Choice of the ISCS Server in Urban Rail Transit**, Applied Mechanics and Materials, 321-324, 2698-2703.
- ŞİMİT, K. O., RİZELİOĞLU, M. ve ARSLAN, T. (2017), **Türkiye'nin İlk Yerli Tramvayı İpekböceği Hattı Üzerine Bir Analiz**, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 21 (2), 489-498.
- ŞEREMET, O., DURMUŞ, M. S. ve ÜSTOĞLU, İ. (2018), **Sabit-Blok Sinyalizasyon Sistemlerinde Makas Enerji Tasarruf ve Eş-Yaşlandırma Kriterlerine Göre Güzergâh Seçimi**, Journal of Natural & Applied Sciences, 22 (Özel Sayı), 243-256.
- TÜİK, (2020), <http://www.tuik.gov.tr/HbGetirHTML.do?id=33705>, (Erişim tarihi: 12.05.2020).
- TÜİK, (2021), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210#:~:text=T%C3%BCrkiye%27de%202019%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20%92,den%20%257%27ye%20d%C3%BC-C5%9Ft%C3%BC,> (Erişim tarihi: 16.06.2021).

- TÜRKOĞLU S. P (2019), **ARAS Yöntemiyle Avrupa Ülkelerinin Bilim ve Teknoloji Performanslarının Sıralanması**, Verimlilik Dergisi, 1, 69-81.
- TZENG, G. H., LIN, C. W. ve OPRICOVIC, S. (2005), **Multi-Criteria Analysis of Alternative-Fuel Buses for Public Transportation**, Energy Policy, 33 (11), 1373-1383.
- UNITED NATIONS, (2014), **World Urbanization Prospects the 2014 Revision. 1- 517**, <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf> (Erişim Tarihi: 16.06.2021).
- VUCHIC, V. R. ve ENGINEERING, S. (1987), **Urban Public Transportation Systems and Technology**, Tunnelling and Underground Space Technology, 2 (3), 1-20.
- WANG, B. ve ZACHARIAS, J. (2020), **Noise, Odor and Passenger Density in Perceived Crowding in Public Transport**, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 135 (February), 215-223.
- WEN, Z., LIAO, H., REN, R., BAI, C., ZAVADSKAS, E. K., ANTUCHEVICIENE, J. ve AL-BARAKATI, A. (2019), **Cold Chain Logistics Management of Medicine with an Integrated Multi-Criteria Decision-Making Method**, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16 (23), 1-21.
- XIAO, H., WANG, J. B. ve ZHANG, Y. R. (2017), **The Fractures of e-Type Fastening Clips used in the Subway: Theory and Experiment**, Engineering Failure Analysis, 81 (November), 57-68.
- YILDIRIM, B. F. (2015), **Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde ARAS Yöntemi**, Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6 (9), 285-296.
- YILDIRIM, B. I., UYSAL, F. ve ILGAZ, A. (2019), **Havayolu İşletmelerinde Personel Seçimi: ARAS Yöntemi ile Bir Uygulama**, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2 (33), 219-231.
- ZHANG, H., FENG, X., LIU, Y. ve WANG, Q. (2014), **Research on Traction Energy Cost Intensity and Passenger Transport Efficiency of a Metro Train**, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 138, 722-728.
- ZAVADSKAS, E. K. ve TURSKIS, Z. (2010), **A New Additive Ratio Assessment (ARAS) Method in Multicriteria Decision-Making**, Technological and Economic Development of Economy, 16 (2), 159-172.
- ZHAO, P. ve LI, P. (2019), **Travel Satisfaction Inequality and the Role of the Urban Metro System**, Transport Policy, 79 (February), 66-81.
- ZOLFANI, S. H., SALIMI, J., MAKNOON, R. ve KILDIENE, S. (2015), **Technology Foresight about R&D Projects Selection; Application of SWARA Method at the Policy Making Level**, Engineering Economics, 26 (5), 571-580.

EK 1. KRİTERLERİN ÖNEM SIRASINI ve PUANINI BELİRLEME ANKETİ

Kent içi raylı ulaşımın teknik performansını belirlemeye yönelik yapılacak olan araştırma için literatür ve uzman görüşleri ile aşağıdaki kriterler belirlenmiştir. Söz konusu araştırma için aşağıdaki kriterleri önem derecesine göre size en uygun şekilde sıralamanız ve puanlandırmanız istenmektedir.

Sıralama, 1= En çok önemli-5= En az önemli olacak şekilde, 1'den 5'e kadar olmalıdır. Puanlandırma ise ikinci kriterden başlayarak birinci kriterin ikinci kriterden, ikinci kriterin üçüncü kriterden, üçüncü kriterin dördüncü kriterden ve dördüncü kriterin beşinci kriterden ne derece önemli olduğunu belirtecek şekilde 0-1 aralığında 5'in katları şeklinde olmalıdır.

Sıra No	Kriterler (Teknik Özellikler)	Sıralama (1-5)	Puanlandırma (0-1)
1	Toplam Hat Uzunluğu (Metre)		
2	Araç Filosu (Araç)		
3	Ortalama İstasyon Aralığı (Metre)		
4	İstasyon Sayısı (Adet)		
5	Maksimum Yolcu Kapasitesi (Yolcu/ Saat/Yön)		